

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ "Криворізький національний університет"

ГІРНИЧИЙ ВІСНИК

Науково-технічний збірник

Заснований у 1966 році

Випуск 97

Кривий Ріг, 2014

Редакційна колегія: **Вілкул Ю.Г.**, д-р техн. наук, проф.; (відповідальний редактор); **Азарян А.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Андрєєв Б.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Бережний М.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Блізнюков В.Г.**, д-р техн. наук, проф.; **Губін Г.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Гурін А.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Євтехов В.Д.**, д-р геол.-минерал. наук; **Жуков С.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Моркун В.С.**, д-р техн. наук, проф.; **Ковальчук В.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Перебудов В.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Рудь Ю.С.**, д-р техн. наук, проф.; **Ступнік М.І.**, д-р техн. наук, проф. (заступник відповідального редактора); **Сидоренко В.Д.**, д-р техн. наук, проф. (заступник відповідального редактора); **Сінчук О.М.** д-р техн. наук, проф.; **Толмачов С.Т.**, д-р техн. наук, **Учитель О.Д.**, д-р техн. наук, проф., проф.; **Федоренко П.Й.**, д-р техн. наук, проф.

Науково-технічний збірник внесений до Переліку фахових видань, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук (наказ Міністерства освіти і науки України № 455 від 15.04.2014 р.). Збірник надсилається до Національної бібліотеки України імені В.Л. Вернадського та провідних наукових бібліотек України. Збірник індексується у міжнародній наукометричній базі даних наукової електронної бібліотеки "eLIBRARY.ru".

У збірнику викладено результати досліджень у галузі технічних та економічних наук. Розглянуті шляхи підвищення ефективності промислових виробництв, автоматизації, контролю та керування технологічними процесами. Важливе місце займають питання енергозбереження, економіки, надійності, охорони праці, техніки безпеки, захисту довкілля.

Збірник розраховано на наукових й інженерно-технічних працівників, а також може бути використаний студентами вищих навчальних закладів.

Адреса редакції: 50002, Кривий Ріг, вул. Пушкіна, 44.
ДВНЗ «Криворізький національний університет». Тел. 262 407.

<i>Письменный С.В.</i> Отработка сложноструктурных залежей богатых руд камерными системами разработки.....	3
<i>Мец Ю.С., Антонов А.Ю.</i> Эффективный комплекс буровзрывных работ при отработке уступов увеличенной высоты	7
<i>Шатурін О.В., Швець Є.М., Скачков А.А.</i> Диференційоване енергонасичення під час підривання уступів гірських порід	11
<i>Швагер Н.Ю.</i> Форми та методи організації самостійної роботи студентів при викладанні технічних дисциплін.....	15
<i>Тищенко С.В., Еременко Г.И., Малых Д.Ю.</i> Эффективность использования энергии взрыва при взрывании скважинного заряда взрывчатыми веществами	19
<i>Бровко Д.В.</i> Безопасная эксплуатация объектов поверхности шахт на основе анализа риска возникновения дефектов конструкций сооружений	21
<i>Шолох Н.В., Топчий А.И.</i> Формирование качества полезного ископаемого и рудного сырья горнорудных предприятий.....	26
<i>Хворост В.В.</i> Вплив динамічних навантажень на міцність і стійкість конструктивних елементів, розташованих на поверхні шахт гірничо-металургійного комплексу Кривбасу	30
<i>Сидоренко В.Д., Шолох М.В., Намінат О.С., Сергеева М.П., Ковтун В.Я., Серебрянный Ю.Л., Волчко Є.П.</i> Сучасні методи визначення просторового положення об'єктів гірничого відводу.....	34
<i>Стрїха В.А., Мороз О.С., Мороз А.О., Жуков С.О., Астахов В.И.</i> Еколого-урбаністичне використання торфодернових килимів	39
<i>Харченко С.А., Жуков С.А., Паришин А.В., Паливода А.А.</i> Графическая интерпретация результатов исследования упрочнения бетонного ядра трубобетонных элементов.....	43
<i>Ревенко А.В., Ревенко О.А.</i> Математическое моделирование влияния сырья на расход кокса и производительность в доменной плавке.....	49
<i>Коренко М.Г., Сотсков В.С., Присяжный А.Г.</i> Підвищення ступеня використання проектної потужності дресировальних станів цехів холодної прокатки	54
<i>Ткач В.В., Бабошко Д.Ю.</i> Получение гранулированного чугуна и шлака из титаномагнетитового концентрата на кольцевой печи с вращающимся подом.....	58
<i>Малиновский Ю.А., Малиновская С.И., Малиновская А.Ю., Баранова О.И.</i> К использованию двухкамерных мельниц для измельчения рудного сырья	61
<i>Повар С.В.</i> Ентропія, хаос і порядок (сучасне розуміння)	65
<i>Батраков Д.В., Горбачов Ю.Г.</i> Характеристики одномасной вібраційної транспортувальної машини з інерційним приводом.....	69
<i>Хоцькіна В.Б.</i> Використання можливостей пакету Matlab для побудови імітаційних моделей.....	75
<i>Харин С.А.</i> Использование ЭВМ для исследования влияния производительности бурового оборудования на темпы строительства стволов	82
<i>Кассим Д.А.</i> Влияние качества алгомерата на технико-экономические показатели доменной плавки	86
<i>Лялюк В.П., Журавлев Ф.М., Кассим Д.А., Соколова В.П., Оторвин П.И., Захарченко В.Н.</i> Оценка колеблемости качества агломерата аглощехов АМКР.....	90
<i>Громадский А.С., Афанасьев В.Д., Кузьменко Д.И.</i> Закономерности распределения напряжения в буровом инструменте	94
<i>Паламар А.Ю., Маланчук М.С.</i> Особливості визначення нормативної грошової оцінки в межах населених пунктів розташованих в зоні впливу гірничо-металургійних підприємств	97
<i>Перегудов Ю.В.</i> Расчет технологических параметров процесса заполнения пустот закладочным материалом	100
<i>Долгих О.В., Подойницина Т.О.</i> Проблеми інтерпретації маркшейдерської інформації та її передбачення.....	104
<i>Мережко Д.О.</i> Сучасні технології знімальних робіт у системах управління технологічними процесами.....	108
<i>Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницина Т.А.</i> Геометризация показателей качества и планирование добычи железорудных месторождений	111
<i>Шолох Н.В., Сергеева М.П.</i> Направления развития системы обработки маркшейдерско-геологической информации	115
<i>Куліковська О.Є., Стеценко В.В.</i> Математична модель розвитку деформаційних процесів газорозподільного пункту № 1 ДП «Криворізька теплоцентраль»	118
<i>Валовой О.И., Валовой М.О., Ерьоменко О.Ю.</i> Нове обладнання і технології для виготовлення, транспортування і подачі бетону.....	125
<i>Тімченко Р.О., Попов С.О., Крішко Д.А., Богатинський А.В., Шевчук О.В., Петрова Л.В.</i> Використання цифрової моделі рельєфу для раціонального застосування території.....	129
<i>Тімченко Р.О., Попов С.О., Крішко Д.А., Кравченко М.О., Чугай Ю.В., Шевчук О.В., Петрова Л.В.</i> Геоінформаційні системи у системі територіального планування та управління територією.....	134
<i>Арутюнян А.Р., Афанасьев В.Д.</i> Ударный шум при гравитационном транспортировании руды и средства его снижения	140
<i>Афанасьев В.Д., Раченко Н.А., Страсбургер А.М.</i> О формировании звукового поля вокруг вентиляционной установки главного проветривания шахт	144
<i>Синчук И.О., Антоненко А.О.</i> Особенности организации мероприятий по повышению качества электроэнергии на железорудных шахтах	149
<i>Синчук О.Н., Пересунько И.И.</i> Показатели качества электроэнергии в распределительных сетях шахт и влияние отклонений напряжения на технико-экономические показатели электроснабжения	152
<i>Моркун В.С., Синчук И.О., Харитонов А.А.</i> К вопросу анализа и оценки причин электротравматизма в условиях железорудных производств	157
<i>Попов С.О., Попрожек О.О.</i> Проблема ресурсного планування проектів ремонтів і модернізації складного технологічного обладнання	161
<i>Купин А.И., Кумченко Ю.А.</i> Перспективы применения мультимодальных информационных технологий в задачах биометрического распознавания объектов	165
<i>Зеленский А.С., Лысенко В.С.</i> Обучающая система использования библиотеки OPENCL в 3D-графике.....	168
<i>Розен В.П., Гузов Э.С., Пархоменко Р.А.</i> Моделирование энергетических режимов энергоемких потребителей железорудных шахт	176
<i>Радионых В.М.</i> Система управления гидроциклоном с идентификацией параметров и выбором оптимальной модели	181
<i>Четверик М.С.</i> Смена во времени энергетических систем мира и ее влияние на экономику и экологию	184

<i>Гненна О.В.</i> Аналіз методів щодо оцінки ризику з охорони і безпеки праці на гірничодобувних підприємствах Кривбасу ..	187
<i>Харламенко В.Ю., Рубан С.А.</i> Адаптивне керування реверсивною прокатною кліткою на блюмінгу	194
<i>Момот В.Е., Ткачук О.Р.</i> Повышение энергетической эффективности центробежных механизмов котельных установок	198
<i>Бережная Е.В., Чепель Ю.А., Цывинда Н.И.</i> Математическое моделирование энергосиловых параметров процесса восстановления деталей землеройных машин методом электроконтактной наплавки	201
<i>Олійник Т.А., Муляк В.І., Міхно С.В., Олійник М.О.</i> Розробка моделі електричної сепарації ільменіту з урахуванням особливостей поведінки частинок мінералів в полі між електродами	205
<i>Олійник М.О., Макачова А.І.</i> Удосконалення технології збагачення графітової сировини Заваллівського родовища	210
<i>Скляр Л.В., Самойлюк О.А.</i> Аналітичний огляд технології збагачення бурозалізнякавих руд у вітчизняній і зарубіжній практиці	215
<i>Ніколаско К.В., Череди́ченко Н.Ф.</i> Розробка технології переробки відходів рудозбагачувальної фабрики Магнітогорського металургійного комбінату, заскладованих у шламосховищах	220
<i>Кушнірук Н.В., Половінкіна М.Б.</i> Аналіз методів підвищення якості залізородних концентратів ПАТ «ПівніГЗК»	223
<i>Булах О.В., Хміль І.В., Костючик О.Л.</i> Виробництво залізородного концентрату в умовах РЗФ-1 ПАТ «ПівніГЗК» з впровадженням у технологію збагачення операції тонкого грохочення	226
<i>Ніколаско К.В., Ляхович К.В.</i> Технологія збагачення гематитових кварцитів підземного видобутку	231
<i>Близнюков В.Г., Баранов І.В., Луценко С.А.</i> Комбинированное размещение вскрышных пород при разработке крутопадающих железородных месторождений	234
<i>Олійник Т.А., Васи́лишина А.В.</i> Вивчення можливості переробки «червоних» шламів на предмет отримання залізоокисних пігментів	239
<i>Семирягин С.В., Пилипенко Б.Н.</i> Использование отходов угледобычи при производстве огнеупоров	244
<i>Кривенко Ю.Ю., Кушнерев І.П.</i> Обоснование параметров системы разработки месторождений стройматериалов при дальнейшем использовании выработанных пространств	247
<i>Білецький В.С., Сергєєв П.В.</i> Дослідження спалювання вугілля та вуглемазутних комплексів	252
<i>Плешков П.Г., Зінзура В.В.</i> Математичне моделювання роботи системи автоматичного управління пристроєм рпн силового трансформатора зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зірка з нулем»	256
<i>Громадський Вик. А., Серебренников Э.В.</i> Теоретическое определение амплитуд вынужденных поперечных колебаний буровых штанг станков шарошечного бурения	260
<i>Григор'єв Ю.І.</i> Визначення основних методичних принципів ціленаправленого формування техногенних родовищ при комплексному освоєнні надр	267
<i>Часова Е.В., Івчук В.В.</i> Застосування та перспективи біосенсорів у хімічному та біохімічному аналізі	271
<i>Кондратец В.А., Мацуї А.М.</i> Исследование динамики пульпы в улитковом питателе при измельчении песков механического двухспирального классификатора	276
<i>Жосан А.А.</i> Непараметрическая дуальная модель динамического объекта	281
<i>Лялюк В.П., Соколова В.П., Шмельцер Е.О., Тимофеева Д.Ю., Береза В.В.</i> Разработка модели прогноза качества доменного кокса на основе химического состава золы угольной шихты	285
<i>Жураковский П.Н., Бурлаченко Т.И., Полоцкая Н.Н., Горон Н.Н., Стебельская О.В.</i> Обустройство насосных станций оборотного водоснабжения декоративных фонтанов	293
<i>Бондарь В.А., Роцуктани З.П.</i> Анализ долговечности и надежности покрытия зданий и сооружений	297
<i>Мануйленко Р.И., Турбор И.А.</i> Расчет напряженно-деформированного состояния и газонасыщенности массива при выемке угольного пласта	301
<i>Власенко В.А., Ільченко О.В.</i> Вплив взаємодії фаз вентиляльно-індукторного двигуна на його характеристики	305
<i>Анотації</i>	309

ОТРАБОТКА СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ БОГАТЫХ РУД КАМЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ РАЗРАБОТКИ

Разработана классификация сложноструктурных залежей и методика расчета определения параметров целиков состоящих из безрудных включений при отработке блоков системами с открытым очистным пространством.

Проблема и ее связь с научной и практической задачей. Криворожский железорудный бассейн обрабатывает залежи богатых и бедных железных руд преимущественно системами разработки с открытым очистным пространством (55%) и с массовым обрушением (45%). Разработка природно-богатых руд осуществляется на глубинах 1135-1315 м, природно-бедных - не превышает 600 м. С понижением горных работ при отработке природно-богатых руд снижаются объемы добычи (1,5-2,5 млн т/год), а также эффективность применяемых систем разработки. Основными показателями эффективности систем разработки являются себестоимость добычи, уровень потерь и засорения руды, удельным объемом проведения нарезных выработок. При отработке железных руд уровень потерь и засорения составляет: при системах разработки с открытым очистным пространством соответственно 5-25% и 9-16%; при системах с обрушением - 14-18,0% и 16,5-18,0%. Качество добытой рудной массы с применением системы разработки с массовым обрушением снижается на 2-3% [1,2].

Анализ исследований и публикаций. Залежи природно-богатых железных руд представлены рудными телами Пятого и Шестого железистыми горизонтами площадью от 50 до 500 м² и мощностью от 20 до 150 м и более. Удельный вес крупных залежей составляет 80% от всей рудной площади в бассейне. Рудные тела месторождений вытянуты в северо-восточном направлении и залегают под углом от 20 до 80 град. с содержанием железа общего в массиве от 36 до 64%. Физико-механические свойства железных руд изменяются в широких пределах. Шахтные поля в основном сложены одной или двумя параллельными залежами, содержащими около 70% запасов всего шахтного поля, другие - более 20 отдельных рудных тел, имеют длину по простиранию от 150 до 500 м с содержанием полезного компонента в массиве от 58 до 64% [2].

Залежи железных руд по залеганию подразделяются на однородные и неоднородные [2,3]. В неоднородных залежах встречаются включения пустых безрудных участков или руды с более низким содержанием качества полезного компонента ($Fe_{общ.} = 6-25\%$). Мощность безрудных участков изменяется от 2-3 м до 6 м, на отдельных участках - 6-10 м. Удельная площадь безрудных участков в пределах этажа (подэтажа) составляет 10...15-18%. Залежи в которых встречаются безрудные участки, как правило, обрабатываются с валовой выемкой.

Постановка задачи. Валовая выемка природно-богатых руд приводит к снижению качества добываемой рудной массы на 3-10 %, что существенно сказывается на отпускной цене товарной продукции, увеличивает затраты на добычу, доставку, подъем добытой рудной массы и ее обогащение.

Таким образом, разработка технологии позволяющей увеличить качество добываемой рудной массы, при отработке залежей с включениями безрудных участков, является важной научно-технической задачей для горнорудных предприятий с подземным способом добычи.

Изложение материала и результаты. Рудные залежи в контексте их структурного строения можно подразделить на 5 классов: I - без включения безрудных участков; II, III и IV - рудный массив содержит наличие соответственно одиночных, двоянных и строенных участков безрудных включений; 5 - рудный массив имеет комбинированные включения безрудных участков, рис. 1.

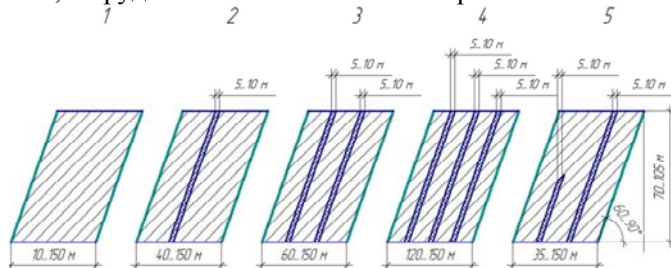


Рис. 1. Структура рудных залежей Криворожского железорудного бассейна

К I классу относятся все одиночные и параллельно-сближенные залежи, которые не содержат включений безрудных участков или мощность безрудных включений между рудными залежами более 15 м. При этом следует учесть,

что параллельно-сближенные залежи обрабатываются обособленно. Ко II классу относятся залежи, имеющие в рудном массиве одно выдержанное безрудное включение мощностью не более 10 м. В III и IV - рудные залежи содержат два и более безрудных включений, при этом расстояние между включениями безрудных участков изменяются от 15 до 35 м и более. V - рудные залежи содержат безрудные включения невыдержанной формы.

На основании выполненных исследований, предложена классификация рудных залежей для Криворожского железорудного бассейна, подлежащих отработке системами с открытым очистным пространством, табл. 1.

Таблица 1

Классификация сложноструктурных залежей Криворожского железорудного бассейна

Наименование	Без включения	Одиночные включения		Сдвоенные включения		Строенные включения	Комбинированные включения	
Класс залежи	I	II		III		IV	V	
Угол падения рудной залежи, град.	45-90	45-60	60-90	45-60	60-90	60-90	45-60	60-90
Мощность рудной залежи, м	10-150	60-150	40-150	80-150	60-150	120-150	35-150	35-150
Угол падения безрудных включений, град.	—	45-90	60-90	45-60	60-90	60-90	45-70	60-90
Мощность безрудных включений, м	—	5-8	5-10	5-8	5-10	5-10	5-8	5-10
Устойчивость рудного массива	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Устойчивость пород висячего бока	+	+	+/-	+	+	+	+	+/-
Устойчивость пород лежащего бока	+	+/-	+	+/-	+	+	+/-	+
Устойчивость породных включений	—	+	+/-	+	+	+	+	+/-

Примечание: + устойчивые руды или породы; - неустойчивые руды или породы

Отработку железорудных месторождений содержащих включения безрудных участков (2-5 класс) целесообразно применять селективную выемку с оставлением в выработанном пространстве безрудных включений [3]. Это достигается применением камерных систем разработки. Их применение имеет ряд граничных условий, к которым относятся: минимально допустимая мощность безрудных участков и рудной залежи, количество выемочных панелей, толщина наклонного безрудного включения [4].

Минимальная допустимая мощность рудного тела, ограниченного безрудным включением, зависит от технологии подземных горных работ, высоты этажа (подэтажа) и определяется из неравенства

$$m_p \geq (0,1 \dots 0,3) \cdot h \geq 1,5 \cdot W, \quad (1)$$

где m_p - минимально-допустимая мощность рудного тела, расположенного вблизи безрудного включения, м; h - высота этажа, м.

Количество выемочных панелей в очистном блоке, ограниченных вкрест простириания включениями пустых пород, определяется по выражению

$$N = M/n + 1, \quad (2)$$

где N - количество выемочных участков очистного блока, ограниченных вкрест простириания включениями пустых пород; M - горизонтальная мощность рудной залежи, м; n - количество безрудных включений мощностью от 5 до 8...10 м.

Минимально допустимая мощность безрудного включения обуславливается обеспечением целостности наклонного целика, нормальных условий дробления рудного массива и определяется по формуле

$$m_n \geq (1,5 \dots 2,5) \cdot W, \quad (3)$$

где m_n - минимально-допустимая мощность безрудного включения, м; W - линия наименьшего сопротивления при скважинной отбойке, м.

Толщина наклонного безрудного включения, которая обеспечит его устойчивость на пери-

од отработки панели, определяется из условия действия продольных сжимающих усилий P_{np} , при которых не происходит нарушение его сплошности. Боковые усилия P_{δ} , направлены в сторону ранее отработанной камеры, заполненной обрушенными породами [4]. Расчетная формула для определения ширины наклонного междупанельного целика имеет вид

$$b = \frac{P_{i\delta} \cdot \hat{E}_a \cdot \xi \cdot \sqrt{\sigma_{\delta} \cdot h}}{n_{\delta} \cdot \sigma_{\text{нж}} \cdot \sqrt{\hat{E}_{\text{сдв}} \cdot \gamma}} \geq m_n, \quad (4)$$

где P_{np} - продольные сжимающие усилия действующие вдоль плоскости наклонного целика; K_{δ} - коэффициент зависящий от растягивающих напряжений и деформации горных пород; ξ - коэффициент ползучести горных пород; σ_p - предел прочности горных пород на разрыв, кПа; n_{δ} - количество продольных целиков, приходящихся на одну камеру; $\sigma_{сж}$ - предел прочности горных пород на сжатие; $K_{зан}$ - коэффициент запаса устойчивости наклонного целика; γ - объемная масса пород, слагающих наклонный целик, кг/м³.

В случае, когда в целике отсутствуют растягивающие напряжения и деформации то $K_{\delta} = 1,15 \dots 1,41$, если наклонный целик подвержен максимальным деформациям без нарушения его целостности то $K_{\delta} = 1,41 \dots 1,73$, при слоистом трещиноватом массиве с возможным или частичным обвалом целика $K_{\delta} = 1,63 \dots 2,0$, а при возникновении трещин с последующим обрушением $K_{\delta} = 2,0 \dots 2,44$ [5].

Ширина наклонного безрудного целика, определяемая по выражению (4), должна быть в 1,5-2,5 раза больше чем мощность включения безрудного участка. В результате выполненных исследований разработан вариант этажно-камерной системы разработки с обрушением целиков и потолочины.

Отличительной особенностью предлагаемого варианта камерной системы разработки, приведенной на рис.2, от традиционной заключается в следующем. Выемочный блок делится по мощности на выемочные панели. Первый блок ограничен породами висячего бока и висячим боком безрудного включения, последний - висячим боком безрудного включения и лежащим боком. Оработка блока производится выемочными панелями от висячего к лежащему боку.

Панели обрабатываются обособленно этажно-камерной системой разработки с формированием обособленного компенсационного пространства, буровых и приемных горизонтов. Между выемочными панелями оставляется наклонный целик, состоящий из безрудного включения. Наклонные междупанельные целики (безрудные включения) не обрабатываются, а остаются нетронутыми между обрабатываемыми панелями. Оработка рудных целиков и потолочин, производится по традиционной технологии. Результаты расчетов применения усовершенствованной системы разработки по сравнению с традиционными технологиями, приведены в табл.2.

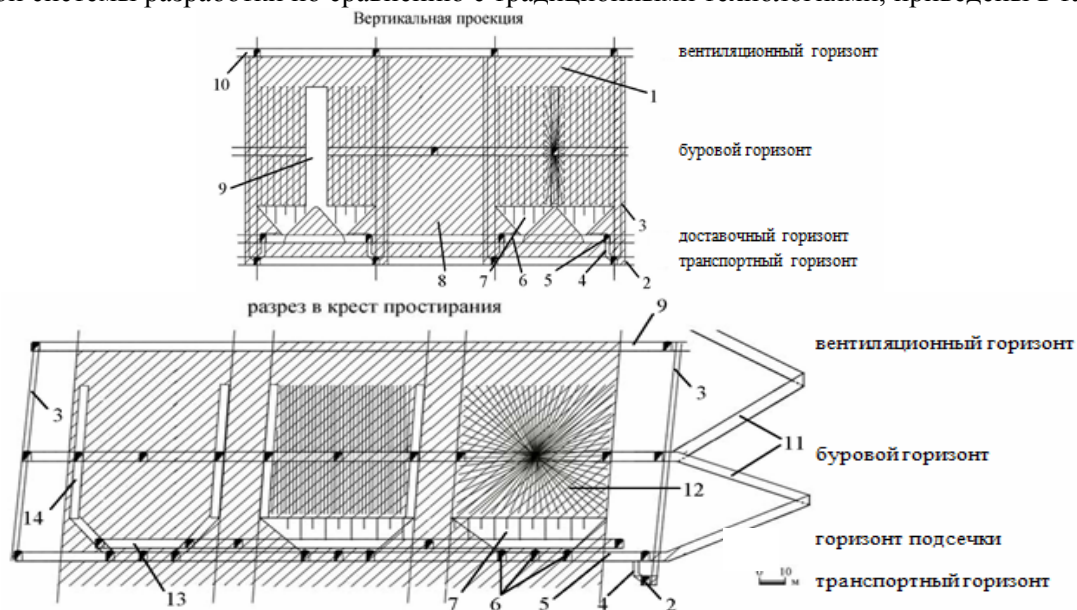


Рис.2. Этажно-камерная система разработки с оставлением безрудных включений в блоке

Этажно-камерная система разработки с оставлением безрудных включений в блоке: 1 - очистной блок I-й очереди (камера); 2 - откаточный штрек; 3,4 - восстающий, соответственно, вентиляционно-ходовой, рудоперепускной; 5,10 - доставочный штрек; 6 - погрузочные камеры; 7 - траншейная подсечка; 8 - очистной блок II -й очереди (междукамерный рудный целик); 9 – вертикальная компенсационная камера; 11 спиральный съезд; 12 веера глубоких скважин массового обрушения массива; 13 - отрезной траншейный орт; 14 - отрезной восстающий.

Таблица 2

Технико-экономические показатели систем разработки при отработке месторождений с включениями безрудных участков

Наименование показателей	Камерная система разработки без обрушения целиков	Система с обрушением руды и налегающих пород	Предлагаемый вариант камерной системы разработки
Запас рудной массы в блоке, тыс т	1206	1206	1008
- запас руды в блоке, тыс т	1008	1008	1008
- запас безрудных включений в блоке, тыс т	198	198	-
Количество безрудных включений, шт.	2	2	-
Количество обрабатываемых блоков (панелей), шт.	1	1	3
Содержание полезного компонента, %:			
- в руде	46,0	46,0	46,0
- в породе	24,0	24,0	24,0
- в включениях безрудных участков	16,0	16,0	-
- в выемочном блоке (панели), %	40,0	40,0	46,0
- в добытой рудной массе, %	38,9	37,6	44,5
Удельный расход подготовительно-нарезных работ, м/тыс т	2,8	3,6	3,8
Выход руды с 1 п м скважины, т/м	21	20	25
Производительность труда рабочего по системе, т/смену	136,2	154,8	155,72
Потери руды, %	10,0	16,0	10,0
Засорение руды, %	7,0	15,0	7,0
Количество добытой рудной массы, тыс т	1084,5	1191,8	975,5

Из табл.2 видно, что при отработке блока камерной системой разработки с отдельной выемкой качество добытой рудной массы повышается от 37,6-38,9 до 44,5%, при этом коэффициент извлечения составляет 0,97, что на 0,07 выше, чем при применении традиционных систем разработки.

Выводы и направление дальнейших исследований. В результате исследований установлено, что формирование целиков состоящих из включений безрудных участков, позволяет повысить содержание железа в добытой рудной массе с 37,6...38,9% до 44,5%, уменьшить затраты на бурение, выпуск и переработку полезного ископаемого. При этом, объем добычи рудной массы уменьшается на 10-18%, что существенно снижает затраты на переработку и транспортирование горной массы.

Список литературы

1. Хивренко В.О. Технологическая классификация сложноструктурных залежей / В.О.Хивренко, В.А.Щелканов // Разраб. рудн. месторожд. Кривой Рог: КТУ. – 2001. – Вып. 76. – С. 26-29.
2. Розробка технологічних схем розкриття, підготовки та очисного виймання для складно-структурних покладів при подальшому відпрацюванні запасів на великих глибинах: Звіт з НДР (заключний) № ГР 0109U002336 / ДВНЗ "Криворізький національний університет. - № 30-84-11. – ДВНЗ "КНУ", 2012. – 306 с.
3. Бизов В.Ф. Патент № 37982А Е 21 С41/16 UA "Спосіб розробки крутоспадних рудних тіл, що містять включення пустих пород". Бизов В.Ф., Сторчак С.О., Сирічко В.О., Чередніченко О.Е., Гаркуша А.Ф., Вітряк В.О., Плотніков В.Ф., Репін О.Г., Хивренко О.Я., Щелканов В.О., Андреев Б.М., Хивренко В.О. Оpubл.

15.05.2001. Бюл. №4.

4. **Сторчак С.О.** Пат. 62168 UA, МКІ E21C41/06. Спосіб розробки крутоспадних родовищ корисних копалин/ **С.О.Сторчак, В.О.Щелканов, Ф.І.Караманіц, Б.М.Андрєєв, В.А.Корж, С.В.Письменний** (Україна); Заявл. 02.01.2003; Опубл. 15.12.2003; Бюл. № 12.

5. **Слесарев В.Д.** Механика горных пород и рудничное крепление. – М.: Углездат, 1948. – 45 с.

Рукопись поступила в редакцию 03.02.14

УДК 622.235

Ю.С. МЕЦ, А.Ю. АНТОНОВ, доктора техн. наук, проф.
Криворожский национальный университет

ЭФФЕКТИВНЫЙ КОМПЛЕКС БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ ОТРАБОТКЕ УСТУПОВ УВЕЛИЧЕННОЙ ВЫСОТЫ

Показана эффективность перехода карьеров с глубиной на применение уступов увеличенной высоты 30-60 м. Разработаны параметры буровзрывных работ для существующего бурового оборудования. На основе созданной математической модели определены значения оптимальных диаметров скважин, удельных расходов ВВ для различных горнотехнических условий. Предложена оригинальная конструкция скважинного заряда.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Разработка железистых кварцитов карьерами Кривбасса в настоящее время ведется на глубине до 300-400 м. В то же время по мере увеличения глубины ведения горных работ происходит уменьшение забойного пространства, в результате чего мощное выемочно-погрузочное оборудование, при заниженных параметрах элементов систем разработки не реализует свои потенциальные технические возможности. Кроме того, относительно малая высота разрабатываемых уступов не позволяет повысить угол откоса рабочего борта карьера, что требует выполнения неоправданно завышенных объемов вскрышных работ. На ряде карьеров ширина рабочих площадок приведена близкой к минимальной (25-35 м), в результате чего резерв повышения угла откоса борта за счет данного фактора также практически исчерпан. Остается наиболее приемлемое решение - переход к ведению горных работ уступами увеличенной высоты.

Анализ исследований и публикаций. В начальный период строительства и эксплуатации карьеров до глубин 100-200 м получило широкое распространение взрывание двоярных и строенных уступов на неподобранный забой [1-7]. На карьерах ЮГОКа, НКГОКа, ЦГОКа, ИнГОКа таким способом отбито и отгружено десятки миллионов м³ горной массы. При этом сократился объем буровых работ, улучшилось качество дробления пород не только за счет оптимизации параметров буровзрывных работ, способов и средств взрывания, но и за счет исключения части массива уступа, где находится забойка, т.е. его «незаявляемая» часть, являющаяся основным источником выхода негабарита.

При переходе на взрывание высоких уступов успешно решаются проблемы интенсификации выемки полезных ископаемых и создаются условия увеличения крутизны рабочего борта. Установлено также, что резервом повышения эффективности отбойки может служить переход на скважины оптимального диаметра со специальной конструкцией забоечного пространства скважины.

Выбор оптимального диаметра скважин всегда считался крайне важным и в научном, и, особенно, в практическом аспекте, так как с ним связаны задачи выбора оборудования при проектировании горных предприятий, направления конструкторских разработок новой буровой техники. На открытых работах прослеживается тенденция применения скважинных зарядов все больших диаметров - от 100 до 320 мм. На карьерах США и Канады используют скважинные заряды диаметром до 450 мм [8,9].

На карьере ЮГОКа в термобурильных породах бурили скважины термическим способом до 500 мм. Разнообразие применяемых диаметров зарядов чаще всего объясняется наличием оптимального диаметра заряда для конкретных условий, определяемого соответствующими минимальными денежными удельными затратами на разработку данной породы.

Постановка задачи. Переход к ведению горных работ уступами увеличенной высоты, а также изыскание и обоснование новых технических и технологических решений, которые обеспечивали бы повышение концентрации производства и уменьшение объемов вспомогательных работ, а также сокращение текущих объемов вскрыши за счет оптимизации комплекса буровзрывных работ является актуальной задачей исследований.

Изложение материала и результаты. После анализа результатов взрывов и средств их осуществления, проведения дополнительных экспериментальных взрывов в различных горно-технологических условиях был разработан паспорт буровзрывных работ для взрывания уступов увеличенной высоты (табл.1).

Таблица 1

Паспорт буровзрывных работ при взрывании уступов увеличенной высоты

Крепость пород, <i>f</i>	8-14	14-16	16-18	18	4-8	8-14	14-16	16-18	18	4-8	8-14	14-16	16-18	
Высота уступа, м	22 м						30 м							
Тип станка	СБШ-320					СБШ-250				СБШ-250				
Кат. взрываемости	III	IV	V	VI	II	III	IV	V	VI	II	III	IV	V	
Диаметр скв., мм	328	328	328	328	256	256	256	256	256	256	256	256	256	
ЛСПП, м	15-16	15-16	15-16	15-16	15-16	15-16	15-16	15-16	15-16	18-20	18-20	18-20	18-20	
РМР, м	7	6	5	5	5	5	4	4	3,5	6	5	5	4	
Число одно-вр. взр. скважин в гр.1 р.	1	2	2	3	2	2	3	3	4	3	3	4	4	
РМГС 1 р., м	5	8	7	10	12	10	10	10	10	12	10	10	8	
Перебур, м	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	
<i>L</i> забойки, м	1 ряд	5/7	5/7	5/7	5/7	6/8	5/7	5/7	5/7	5/7	6/10	5/10	5/10	5/10
	посл.ряды	5	5	5	5	6	5	5	5	5	6	5	5	5
	посл.ряда	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
РМС посл.рядов	6	6	6	5	6	5	5	5	5	5	4	4	4	
РМС посл.ряда	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	
Вмест.скв., кг/ м ³	78	78	78	78	46	46	46	46	46	46	46	46	46	
Дл.зар., м	1 ряд	19/17	19/17	19/17	19/17	19/17	20/18	20/18	20/18	20/18	26/22	27/22	27/22	27/22
	посл.рядов	19	19	19	19	19	20	20	20	20	26	27	27	27
	посл.ряда	17	17	17	17	17	18	18	18	18	24	24	24	24
Вес. зар., кг	1 ряд	1480/1320	1480/1320	1480/1320	1480/1320	880/750	920/830	920/830	920/830	920/830	1240/1000	1240/1000	1240/1000	1240/1000
	посл.рядов	1480	1480	1480	1480	880	920	920	920	920	1240	1240	1240	1240
	посл.ряда	1320	1320	1320	1320	750	800	800	800	800	1100	1100	1100	1100
Уд.расх.ВВ, кг/ м ³	1 ряд	1,0	1,2	1,4	1,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	1,2	1,5	1,6	1,8
	посл.рядов	1,2	1,5	1,6	2,0	1,4	1,4	1,6	1,8	2,2	1,4	1,8	2,2	2,5
	посл.ряда	1,5	2,0	2,0	2,01	1,6	2,0	2,0	2,2	2,0	2,0	2,2	2,0	2,5
Ожидаемая ширина развала, м	40	50	50	60	40	40	45	45	50	60	70	70	75	
Ожидаемая высота вспучивания, +м	+13	+11	+10	+10	+13	+11	+11	+10	+10	+15	+15	+12	+12	

Резервом повышения эффективности комплекса буровзрывных работ при работе карьера на больших глубинах уступами высотой 30-60 м может служить, по нашему мнению, переход на применение скважин оптимального диаметра.

Для этой цели разработана математическая модель, которая базируется на самых общих, но общепризнанных и хорошо изученных аспектах взрывного дела.

В основу модели положено: качество дробления на расстоянии *R* от заряда прямо пропорционального потоку энергии, проходящему через единичную площадь поверхности; коэффициент отдачи энергии заряда породе не зависит (или слабо зависит) от размера заряда; энергия заряда в первом приближении определяется теплотой взрыва и мало зависит от детонационных характеристик ВВ; среда, по которой передается энергия заряда, поглощает энергию на неупругую деформацию, нагрев, диффузное рассеивание, не связанные с дроблением. При таких допущениях поток энергии E_R через единичную площадку на расстоянии от заряда будет равен

$$E_R = \frac{Q}{R^n} e^{\alpha R}, \quad (1)$$

где Q - энергия заряда ВВ, ккал.; R - расстояние от центра заряда, м; n - показатель степени, определяющий геометрическую расходимость энергии, для сосредоточенных зарядов $n=2$, для

удлиненных $n=1$; α - коэффициент поглощения энергии, обратно пропорционален скорости звука в породе и длине волны $\lambda = \frac{1}{f} - \frac{1}{\mu}$.

Если порода идеально упругая, т.е. $\alpha=0$, тогда

$$E_R = Q/R^n$$

Чтобы исследовать зависимость ее необходимо преобразовать, выразив однозначно через радиус заряда r .

Для сосредоточенного и удлиненного заряда формула (1) будет выглядеть

$$E_R = \frac{E_0 r^3}{\bar{r}^2 r^2} e^{-a\bar{r}r} = \frac{E_0 r}{\bar{r}^2} e^{-a\bar{r}r}; \quad E_r = \frac{E_0 r^2}{\bar{r}^2 r} e^{-a\bar{r}r} = \frac{E_0 r}{\bar{r}^2} e^{-a\bar{r}r};$$

или в общем виде

$$E_r = E_0 r / \bar{r}^n \quad (2)$$

где r - радиус заряда, м; E_0 - плотность заряжания, кг/м³; \bar{r} - относительное расстояние от заряда.

Зависимость (2) имеет экстремум, определяемый условием $d \cdot E_r / d \cdot r = 0$

Решение этого уравнения дает значение

$$r_{opt} = \frac{1}{\alpha \bar{r}} m \quad (3)$$

Значению r_{opt} соответствует максимальное значение плотности потока энергии E_R или $E_{r\bar{r}}$ то есть для определения r_{opt} достаточно замерить скорости V_1 и V_2 в точках на расстоянии R_1 и R_2 от заряда и определить по формуле

$$\alpha = \ln \frac{V_1 R_1}{V_2 R_2} / (R_2 - R_1) \quad (4)$$

По данным [10] для Криворожских руд на карьерах при изменении $f=10 \div 20$ и скорости продольных волн $V=2000 \div 6000$ м/с коэффициент поглощения колеблется от 0,025 до 0,4. Причем, установлена корреляционная обратно пропорциональная зависимость α от скорости звука в породах. Но эта зависимость не жесткая и возможны случаи, когда α различаются в несколько раз при равных скоростях звука для этих пород. Поэтому определение α по скорости звука в породе может быть лишь ориентировочным. Для получения численных значений r_{opt} рассмотрим примеры.

1. Пусть взрывание производится в гидрогематитовой руде крепостью $f=10$, $C=2000$ м/с, $\alpha=0,4$ с удельным расходом ВВ 0,7 кг/м³. Определить оптимальный радиус через удельный расход по формуле

$$\bar{r} = 1,1 \sqrt{E_0 / q} \quad (5)$$

где q - удельный расход ВВ.

Эта формула справедлива для квадратной сетки скважин и отбойки скважинными зарядами при коэффициенте заполнения скважины 0,7. Для нашего примера $\bar{r} = 1,1 \sqrt{900/0,7} = 40$, тогда $r_{opt} = 1/(0,4 \cdot 40) = 0,06$ м или $d_{opt} = 0,12$ м.

Оптимальный диаметр скважин, обеспечивающий наилучшее дробление этой руды при заданном удельном расходе равен 0,12 м.

2. Руда-кварцит $f=10$; $C=5000$ м/с; $\alpha=0,15$; $g=0,8$ кг/м³, тогда $\bar{r} = 1,1 \sqrt{900/0,8} = 36$, $r_{opt} = 1/(0,05 \cdot 0,36) = 0,185$ м или $d_{opt} = 0,370$ м.

3. Руда-роговик $f \geq 20$, $C=6500$ м/с, $\alpha=0,05$, $g=1,2$ кг/м³.

$$\bar{r} = 1,1 \sqrt{900/1,2} = 30, \quad r_{opt} = 1/(0,05 \cdot 0,30) = 0,65 \text{ м или } d_{opt} = 1,3 \text{ м.}$$

Подставив в формулу (3) реальные значения удельного расхода ВВ и коэффициента поглощения α , получим для крепких криворожских руд значения оптимального диаметра скважин 1300 мм. В то же время в крепких породах (с малым α) и высокой скоростью звука применение скважин \varnothing 320 мм вместо 250 мм, что меньше оптимального (1300 мм), приведет к улучшению качества дробления.

Таким образом, величина оптимального диаметра с ростом удельного расхода ВВ для слабых (с большим α) пород, растет медленно. Это значит, что для пород (с большим α) примене-

ние того или иного диаметра скважины не оказывает столь существенного влияния. При этом для крепких пород (с малым α) выбор диаметра заряда имеет важное значение для дробления.

Для повышения коэффициента полезного действия скважинного заряда увеличенного диаметра, снижения выброса газообразных продуктов взрыва и уменьшения разброса кусков породы разработан способ запираания устья скважины созданием конусообразного расширения оригинальной конструкции [11]. При взрыве материал торца забойки, продвинувшись вверх, уплотняется до значения, близкого к плотности монолита, при этом надежно запирает газы в скважине, что позволит повысить КПД взрыва и снизить загазованность окружающего пространства.

Для определения эффективности технологического метода в части запираания в скважине газов были проведены экспериментальные массовые взрывы с целью измерения высоты выброса пылегазового облака (рис. 1) с оценкой известными методами [12-14].

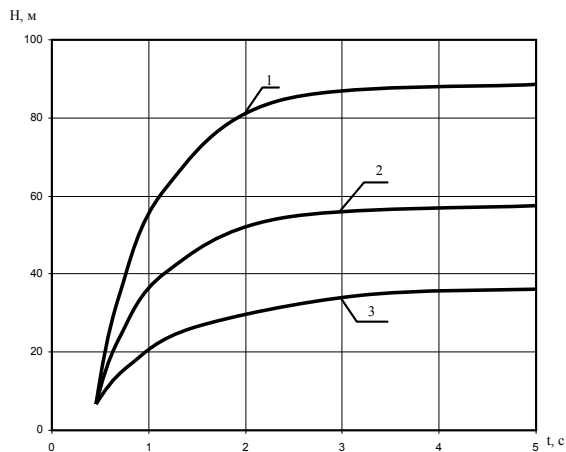


Рис. 1 Изменение высоты пылегазового облака во времени при использовании сплошной (1), активной (2) и предложенной (3) конструкции забоечной полости

Из рисунка следует, что высота пылегазового облака после взрыва заряда предложенной конструкции значительно ниже, чем при взрыве зарядов со сплошной забойкой или же зарядов с «активной» забойкой, представленной в виде мини зарядов в забоечном материале. Эффективность использования энергии скважинного заряда на дробление пород была проверена при производстве массового взрыва в блоке №36 гор. -240-255 м карьера «ИнГОК».

О высокой степени дробления взорванной горной массы свидетельствуют следующие значения выхода фракций размером: 0-100 мм - 48,1 %; 100-300 мм - 32,0 %; 200-300 мм - 11,4 %; 300-400 мм - 79,0 %; свыше 400 мм - 0,59 %.

Близкие значения результатов качества дробления взорванной горной массы были зафиксированы в блоке № 40 гор. -210 м этого же карьера.

Здесь выход фракции 0-100 мм составил 37,2%, 100-300 мм - 37,1%, 200-300 мм - 18,1% и 300-400 мм - 6,95%.

Выход фракции более 400мм составил всего 0,65 %.

В то же время в аналогичных горно-геологических условиях были произведены два контрольных взрыва в блоке №74 гор. -22 м и в блоке №86 гор. -135 м.

В этих блоках выход фракции более 400 мм составил соответственно 1,2 и 1,5 %.

Полученные показатели свидетельствуют о том, что в предложенном методе более полно используется энергия взрыва, что позволило рекомендовать его к широкому применению.

Выводы и направления дальнейших исследований. Обоснована техническая и экономическая целесообразность перехода на отработку карьеров уступами увеличенной высоты, что позволит обеспечить качественное дробление горной массы и устойчивость бортов и уступов с увеличенными углами откосов в ухудшающихся горно-технологических условиях разработки с ростом глубин карьеров.

Разработана математическая модель выбора оптимального диаметра скважин при взрывании уступов высотой 30-60 м, что даст возможность рекомендовать новое прогрессивное буровое оборудование.

Использование предложенной конструкции забоечной части скважины позволит повысить КПД взрыва и, как показали замеры, снизить пылегазовые выбросы.

Список литературы

1. **Алексеев Ф.К.** Опыт работы ИнГОКа по взрыванию в зажатой среде высоких уступов. Сб. Взрывное дело, №62/19. М: Недра, 1967. - С. 244-248.

2. **Потапов А.И., Усик И.Н.** Взрывание в зажатой среде уступов различной высоты на карьере ЮГОКа. Сб. Взрывное дело, №62/19. М: Недра, 1967. - С. 248-256.
3. **Ефремов Э.И.** К вопросу рациональной длины колонки заряда. Сб. Взрывное дело, №57/14. М: Недра, 1967. - С. 61-66.
4. **Ефремов Э.И., Бурлака А.В., Терещенко А.А., Сухаревский Б.Н.** Дальнейшее совершенствование буровзрывных работ при высоких уступах на карьере ЦГОКа. Сб. Взрывное дело, №57/14. М: Недра, 1967. - С. 162-167.
5. **Чеймберс.** История развития карьеров фирмы Old Radnor, Cement, Lime and Gravel, 1959, 34, №1.
6. **Corge Н.** Массовые взрывы на карьере Union Furnace(США), Mining Congr. J. 1961, 47, №10.
7. **Малюта Д.Н., Волынец М.А. и др.** Опыт взрывания крепких руд глубокими скважинами на карьере НКГОКа, Сб. Взрывное дело, №57/14. М: Недра, 1965. - С. 145-151.
8. **Штумпр.** Взрывание зарядов ВВ в скважинах большого диаметра в США. Ind., Steine und Erden, 1959, №10.
9. **Аш, Пирс.** Влияние скорости детонации ВВ и глубины скважины на результат взрыва. Mining Engineering, 1962, №9
10. **Казакон Н.Н.** Взрывная отбойка руд скважинными зарядами.- М: Недра, 1975
11. Пат. 13515 Украина МПК E21C30/00 Свердловинний заряд /**Антонов А.Ю., Мец Ю.С.** // №u200506125; заявл. 21.06.2005; опубл. 17.04.2006, Бюл. №4, 2006.
12. Руководство по защите рудничной атмосферы от загрязнения / **А.П. Янов, П.В. Бересневич, А.А. Глушкин** и др. – Кривой Рог: УНИИБГТ, 1988 – 177с.
13. **Теннов Н.П. Жариков И.Ф.** Об эффективности применения активной забойки // Сб. Взрывное дело, №71/28.-М: Недра, 1972. - С. 134-139.
14. **Ефремов Э.И. Борисов В.И.** Способ пылегазоподавления при массовых взрывах на железорудных карьерах Украины // Сб. докладов Международной конференции по открытым горным, земляным и дорожным работам, 19-23 апреля 1994 г. – М: Россия,- С.58-61.

Рукопись поступила в редакцию 24.03.14

УДК 622.235

О.В. ШАПУРИН, д-р техн. наук, проф., С.М. ШВЕЦЬ канд. техн. наук,
Криворізький національний університет
А.А. СКАЧКОВ зав. відділом технології «МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ»

ДИФЕРЕНЦІЙОВАНЕ ЕНЕРГОНАСИЧЕННЯ ПІД ЧАС ПІДРИВАННЯ УСТУПІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Для руйнування гірських порід з метою видобутку мінеральної сировини застосовують заряди вибухової речовини (ВР), які розрізняються багатьма особливостями, а саме: потужністю, формою, конструкцією, характером дії. Багатогранність особливостей пояснюється різноманітністю завдань, які ставлять на виробництві перед вибухом, хоча основними є два завдання: якісне виконання робіт і економна витрата ВР. Треба зауважити, що під час вибуху спостерігається значне поглинання енергії вибухової хвилі при надмірному стисканні гірської породи, частка енергії втрачається за рахунок нагрівання гірської породи, частка залишається у вибухових газах, що розсіюються у атмосфері, значна доля енергії витрачається на переміщення гірських порід при формуванні розвалу. Накопичений науковий і виробничий досвід утримує рекомендації з економної витрати енергії ВР, але резерви ще існують і не всі вони вичерпані.

Аналіз досліджень і публікацій. Академік М.В. Мельніков запропонував використовувати повітряні проміжки в зарядах ВР для більш ефективного використання енергії ВР, зменшення її витрат, за рахунок зменшення початкових високих напруг під час вибуху, більш рівномірного розподілення вибухових напруг у руйнівному середовищі. Чисельні експерименти виконані у нас в Україні, також в Росії і в дальньому зарубіжжі свідчать про високу ефективність запропонованого методу керування дією вибуху [1-5].

Основні висновки зводяться до того, що метод досягає високої ефективності у породах невисокої і середньої міцності. Із збільшенням труднодробимості порід ефективність зменшується.

ся, і в міцних гранітах складає 5-6 %. Довгий час основною проблемою методу була складність формування стабільного повітряного проміжку [7-9].

Останні роки підприємством «Інтервибухпром» отримано Патент на застосування повітряного мішка у свердловині для формування в ній на будь-якому рівні повітряного корка, за рахунок газу (CO_2), який утворюється у мішку, після його опускання у свердловину, в результаті хімічної реакції питної соди із оцтом, що розташовані у середині ізолюваного мішка.

На Лебединському ГЗК групою виробників і науковців застосовувався метод створення комбінованих проміжків у частково заводнених свердловинах, із води (1,5-2,5 м), що розташована над нижньою частиною водостійкої ВР і плавучого корка із тирси, або будь-якого іншого підручного матеріалу, з подальшим розташуванням неводостійкої ВР над корком.

Окрім економії дорогої водостійкої ВР отримували покращення якості подрібнення гірських порід.

Основною ідеєю, як і в попередньому випадку, є зменшення початкового надмірного тиску вибухових газів і більш рівномірне розподілення енергій у середовищі, що підлягає руйнуванню вибухом [10].

Постановка завдання. Метою запропонованого для розгляду науковою громадськістю дослідження є створення методу економної витрати ВР під час підривання гірських порід, за рахунок часткового уникнення взаємодії хвиль напруг від близько розташованих зарядів. Знову таки, як і в попередніх випадках, ставимо завдання уникнути надмірних тисків, що виникають під час взаємодії хвиль напруг від близько розташованих зарядів і, за рахунок цього досягти економної витрати ВР на підривання гірських порід, зменшити ширину вибухового розвалу, і, як наслідок, зменшити обсяги отруйних газів, які попадають в атмосферу кар'єру під час вибухових робіт.

Викладення матеріалу та результати. Аналізуючи розповсюдження хвиль розрідження в уступі порід, необхідно згадати, що вони з'являються, як факт існування хвилі стискаючої від реального заряду, наприклад, зображеного на рис. 1.

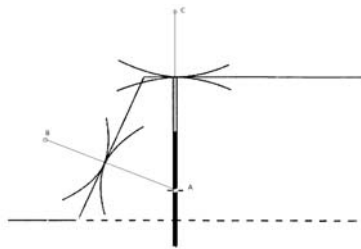


Рис. 1. Видовжений заряд в уступі порід, умовно представлений точковим, зосередженим – А, і два фіктивних заряди, розташованих відносно вільних поверхонь: укосу уступу-В, покрівлі уступу – С

Тому, перш за все, необхідно розглянути суперпозицію кожної із відбитих хвиль (від укосу уступу і його поверхні) із стискаючою хвилею від заряду ВР.

У той час, коли стискаюча хвиля рухається в тілі уступу, гірська порода чинить їй супротив із таким же зусиллям, з яким

хвиля стискає породу.

В результаті такого стискання виникає хвиля деформацій, яка прилягає до стискаючої хвилі, тобто рухається дещо з меншою швидкістю і несе за собою руйнування, в основному у вигляді радіальних тріщин, що проростають у всі боки від заряду ВР. Але ось стискаюча хвиля дісталась вільної поверхні, наприклад, укосу уступу, і в точці виходу, супротив гірської породи змінюється супротивом повітря, який можна вважати таким, що дорівнює нулю.

Тому, часточки породи зміщуються у бік вільної поверхні, і за принципом суцільності гірської породи, втягують у рухомість часточки глибше розташовані. Формується відбита хвиля.

На кадрах кінозйомок цього процесу добре видно, що вільна поверхня вигинається дугою, а гірська порода, від такого вигинання, лускається із утворенням тріщин перпендикулярних поверхні вигинання. Формується руйнування відбитою хвилею проростанням тріщин углиб уступу.

Початок цього процесу добре описаний в підручниках і повторення вважаємо необхідним, щоб заглянути в його кінець. Завершення цього процесу добре ілюструється аналізом руйнування об'ємних піщано-цементних моделей уступу, виконаних у масштабі 1:100, підривання яких здійснювалось відрізком ДШЕ-12. В моделях формували прошарки товщиною 1 см, що в натурі відповідало між тріщинами розшарування 1 м. Матеріал моделей не відповідав принципам еквівалентності масштабу моделювання - він був більш міцним. Відстань від вертикального заряду ДШ до задньої стінки моделі і бокових стінок була в 4 рази більшою ніж до укосу уступу.

Кінцевий результат такий, що практично всі моделі розбивало по хресту двома магістральними тріщинами, при цьому площа однієї із них з'єднувала реальне джерело і два фіктивних, одне - перед укосом уступу, друге за задньою стінкою моделі; площа ж другої з'єднувала реальне джерело і два фіктивних за боковими стінками моделей. Обидві магістральні тріщини перпендикулярні вільним поверхням. При цьому, маса крупних кусків була більшою ніж середніх і дрібних. На двох великих кусках, які до руйнування формували укіс уступу, збереглися зачатки тріщин, перпендикулярних укосу уступу, які не реалізувались в повній мірі, бо реалізацію отримала одна тріщина - перша магістральна.

Зрозуміло, що ця перша магістральна тріщина сформувалась раніше інших, бо відстань від заряду до укосу уступу була найменшою із інших розглянутих відстаней. Розвиток цієї тріщини є єднанням двох тріщин: радіальної - найближчої до укосу від реального джерела, і найближчої до неї, сформованої відбитою хвилею від укосу уступу. Формування першої магістральної тріщини, а слідом, через дуже короткий проміжок часу - другої магістральної тріщини, призвело до значного розвантаження матеріалу моделей, як від стискаючих, так і від розтягуючих напруг і припинило розвиток деяких інших тріщин, зачатки яких спостерігались на кусках, які до вибуху являли собою укіс уступу.

Слід описати ще одну деталь руйнацій. В районі підшви уступу моделей руйнування виконувалось згідно двом криволінійним поверхням, як це зображено на рис. 2 від заряду ВР.

Ці дві криволінійні поверхні (6) розмежувались магістральною тріщиною, перпендикулярною укосу уступу, бо вона (тріщина) утворилась на мить рабніше, а криволінійні поверхні є наслідком дії хвиль від реального джерела енергії і фіктивного джерела одночасно. Виходить так, що після утворення магістральної тріщини, відбита хвиля у тілі уступу трансформувалась у дві самостійні на півхвилі, які сформували дві криволінійні поверхні в районі підшви уступу.

Отже, об'ємне тріщино утворення і руйнування гірських порід тріщинами, під впливом хвильової фази руйнувань, а не просто однією тріщиною, в основному має місце в той короткий проміжок часу, поки не встигла сформуватись магістральна тріщина, як результат взаємодії прямої і відбитої хвиль.

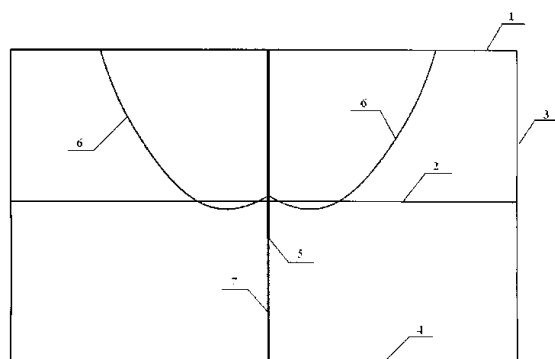


Рис. 2. Передня частина піщано-цементної моделі: 1 - покрівля уступу; 2 - підшва уступу; 3 - бокова поверхня; 4 - нижня поверхня моделі; 5 - місце торця заряду; 6 - лінії перетинання площини укосу уступу і криволінійних поверхонь; 7 - магістральна тріщина

Якщо ж згадати кадри прискореної кінозйомки уступу під час вибуху, за якими процес спостерігається як сповільнений, то перше враження, це вигинання його дугою під впливом могутньої сили утвореної джерелом енергії, із формуванням багато чисельної кількості фрагментів, які розлітаються радіально по відно-

шенню до реального джерела енергії.

Слід сказати декілька слів про тріщиноватість гірських порід. Наявність мережі тріщин, які початково виключають поняття про масив, як абсолютно єдине ціле, тому сприяють утворенню мікроруйнувань в межах окремих прошарків, які прилягають з одного боку до заряду ВР реального, з іншого, біля вільної поверхні, до заряду фіктивного. Ці мікроруйнування допомагають реалізації руйнаціям від інших тріщин, які за напрямком складають кути від 0 до 45° з магістральною.

Слід пам'ятати, що фаза хвильового тріщино утворення має своє продовження за рахунок квазістатичної фази дії вибуху під впливом тиску продуктів детонації в зарядній порожнині.

Занотована вище трансформація однієї відбитої хвилі на дві відокремлені на півхвилі була наслідком залишкового тиску продуктів детонації, які продовжували штовхати породу (матеріал моделей) навколо себе. У напрямку укосу уступу це відштовхування стосувалось практично двох шматків цієї моделі, розмежованих магістральною тріщиною, після її утворення. При цьому, криволінійна поверхня руйнування в зоні підшви уступу нагадувала таку, яка утворюється на схилі під час зсуву порід під впливом сил тяжіння. У випадку руйнування гірської породи видовженим, , напрямком сил які діють на породу з боку заряду ВР залежить від декількох факторів: точки початку ініціації заряду ВР (знизу, або ж зверху); швидкості детонації заряду ВР, а

також швидкості повздовжньої хвилі в гірській породі. Під впливом всіх цих сил формуватиметься криволінійна поверхня на рівні подошви уступу, що нагадує зсувні прояви.

Загальний же час руйнування в значній мірі залежить від часу формування магістральної тріщини, бо вона своїм розкриттям сприяє пришвидшенню падіння тиску продуктів детонації у зарядній порожнині. Саме тому не можна просто нарощувати питому витрату ВР з метою покращення якості подрібнення гірських порід, бо це скорочує термін об'ємного руйнування масиву. Необхідно шукати шлях збільшення цього терміну.

У магістральних тріщин, також є своє призначення. Їх існування часто ініціюють від ослаблених зарядів, що в мінімальному обсязі порушують (майже не порушують) оточуючі гірські породи, але, самі магістральні тріщини, при цьому, є досить потужними, щоб сформувати площину кінцевого контуру уступу, тобто використовують їх існування, як позитивний момент, під час контурного підривання зарядів ВР невеликої потужності. Тут мова йдеться саме про взаємодію хвиль стискання і магістральна тріщина співпадає з лінією, що з'єднує джерела енергії.

Детальний аналіз суперпозиції двох хвиль розрідження між собою, сформованих відображенням від вільних поверхонь покривлі і укусу уступу прямої хвилі, що випромінювалася свердловинним зарядом ВР, дає цікаві висновки, щодо результатів цієї суперпозиції. Якщо провести промені від фіктивних джерел розповсюдження хвиль розрідження перпендикулярно поверхням відображення, то ці промені перетнуться, утворюючи кут такий, як в основі укусу уступу, наприклад, 60-75°, а криволінійні хвилі розрідження будуть спілкуватись в тілі уступу, в районі реального заряду, під кутами близькими до вказаного, десь від 70 до 50°.

У випадку, коли будь які хвилі, чи то стискання чи то розрідження під кутом 45° стикаються, утворюється відома ізотропна зона всебічного врівноваження напружень, яка не сприяє тріщинно утворенню.

Всі інші варіанти взаємодії хвиль напруження будуть наближатися, за результатом суперпозиції до того (магістральна тріщина), чи іншого (врівноваження без руйнацій) з крайніх розглянутих нами варіантів, залежно від місця формування суперпозиції.

Наведений аналіз приводить до висновку, що суперпозиція працюватиме на користь, коли з близько розташованих джерел енергії у простір (гірську породу), будуть послідовно випромінюватись хвилі напруження, які наздоганятимуть одна одну, утворюючи багато чисельні удари по масиву в одному напрямку, сприяючи продовженню і розгалуженню тріщин, утворених попередніми хвилями. В інших випадках бажано уникати суперпозиції, якщо це можливо, або ж ослаблювати її, змінюючи відстань між спрацюванням зарядів включених схемою монтажу вибухової мережі в одну серію, а також регламентуючи інтервали сповільнення між спрацюванням окремих зарядів ВР.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Суперпозиція хвиль напруження у вибуховому блоці від спрацювання близько розташованих зарядів ВР, є явище складне і неоднозначне, яке проявляє себе по різному в різних місцях масиву, який оточує заряди ВР.

Процес керування суперпозицією у вибуховому блоці складається із віддалення у просторі і часі спрацювання зарядів, включених схемою монтажу в одну серію, за рахунок змінення порядку їх підривання і правильного розрахунку інтервалів сповільнення між ними.

Список літератури

1. **Марченко Л.Н.** Увеличение эффективности взрыва при добычании полезных ископаемых. – М.: Наука, 1965. – 222 с.
2. **Мельников Н.В., Марченко Л.Н.** К вопросу о работе и механизме действия взрыва в твердых телах // Взрывное дело. –Сб. 45/2. – М.: Госгор-техиздат, 1960 – с. 5-9.
3. **Мельников Н.В., Марченко Л.Н.** Энергия взрыва и конструкция заряда – М.: Наука, 1964. – 138 с.
4. **A.K Chakraborty, J.L Jethwa,** 1996"Feasibility of air-deck blasting in various rock mass conditions-A case study", Rock Fragmentation by blasting, Mohanty (ed.) Balkema, Rotterdam, pp.343-349. «Выполнение взрывных работ с воздушными подушками в различных горных условиях и массивах».
5. **Liqing Liu, P D Katsabanis,** 1996, "Numerical modeling of the effects of air decking/decoupling in production and controlled blasting", Rock Fragmentation by blasting, Mohanty (ed.) Balkema, Rotterdam, pp.319-330, «Многочисленное моделирование воздушных пробок в производстве и контроле взрывов»
6. **Ищенко Н.И., Воротеяк Г.А.** Рациональное использование энергии взрыва скважинных зарядов на основе запирающих устройств и воздушных промежутков // Проблемы научного обеспечения горнопромышленного комплекса Украины на пороге XXI века – Сб. научн. тр. – Кривой Рог: ГНИГРИ, 2001. – с. 86-89.

7. Комплексное исследование действия взрыва в горных породах / Э.О. Миндели, Н.Ф. Кусов, А.А. Корнеев, Г.И. Марцинкевич. – М.: Недра, 1978.-253 с.
8. Maxon N.T., Mead D. and Richardson M., 1993, «Air-decked blasting techniques: some collaborative experiments», Trans. Inst Min. Metall. (Sec. A: Min. Industry), 102, Jan-Apr., pp. 25-30. «Технологические методы ведения взрывных работ с воздушными пробками»
9. Xiaoning Yang, Brian W. Stump and John D, Smith, 1999, “Ground Vibration from Singlehole Cast Blasts, The journal of Explosives Engineering, Match/April, pp. 36-41. «Вибрация грунта от взрывов одиночных скважин»
10. Падуков В.А., Антоненко В.А. Влияние напряженного состояния массива и граничных условий на характер действия взрыва // Механика разрушения горных пород . – М.: Недра, 1969.-Вып. 1. – с. 89-102.

Рукопис подано до редакції 05.03.14

УДК 378.147

Н.Ю. ШВАГЕР, д-р техн. наук, проф., Криворізький національний університет

ФОРМИ ТА МЕТОДИ ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ ПРИ ВИКЛАДАННІ ТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН

У статті розглядається проблема організації самостійної роботи студентів, аналізуються форми та методи самостійної роботи студентів; визначено роль самостійної роботи в професійному становленні майбутнього фахівця.

Вступ. Багато українських підприємств сьогодні відчувають гостру нестачу кваліфікованих практико-орієнтованих кадрів. Довгі роки основу професійної освіти в нашій країні становили фундаментальні знання. І це було правильно в умовах, коли кафедри вищих і середніх професійних навчальних закладів мали тісний зв'язок з підприємствами свого напрямку, а студенти вирушали туди для проходження виробничої практики. З переходом до ринку ці зв'язки багато в чому були загублені, однак потреба в придбанні практичних навичок при отриманні професії не тільки не відпала, а й зросла. Сьогодні всі розуміють, що оволодіти знаннями з професії неможливо без набуття досвіду відповідної діяльності. Іншими словами, не спробувавши - не навчишся.

Метою даної роботи є аналіз форм та методів самостійної роботи студентів.

Викладення матеріалу. На теоретико-методологічному рівні проблема організації самостійної роботи студентів (СРС) знайшла своє висвітлення в працях багатьох педагогів: А. Алексюка, С. Архангельського, Ю. Бабанського, В. Безпалька, П. Підкасистого, психологів: А. Петровського, О. Леонтєва, К. Платонова, С. Рубінштейна.

Аналіз літератури з проблем організації самостійної роботи студентів дозволив виявити основні напрями рішення цієї проблеми:

- раціональне розподілення часу студентів при вивченні дисципліни;
- повне методичне забезпечення дисципліни;
- постійний контроль за якістю роботи студентів.

Згідно з положенням про організацію навчального процесу у вищих навчальних закладах, самостійна робота студента є основним засобом оволодіння навчальним матеріалом у час, що вільний від обов'язкових навчальних занять.

Самостійна робота, перш за все, завершує задачі всіх інших видів навчальної роботи. Знання, які не стали об'єктом власної діяльності, не можуть визнаватися справжнім надбанням людини. Крім практичної важливості, самостійна робота має велике виховне значення: вона формує самостійність не тільки як сукупність певних умінь і навичок, але і як рису характеру, яка відіграє суттєву роль у структурі особистості сучасного спеціаліста.

Самостійна робота студентів є одним з компонентів навчального процесу, а тому, як і всі складові його, являє собою систему організаційних і дидактичних заходів, спрямованих на підготовку за напрямками і спеціальностями фахівців відповідних освітніх та освітньо-кваліфікаційних рівнів. Традиційно самостійна робота студентів проводиться за такими формами [1]:

- індивідуальні (реферативні повідомлення, курсове, дипломне проектування, самостійна науково-дослідницька робота, індивідуальні консультації, олімпіади тощо);
- групові (проектне та проблемне навчання, навчання у співпраці, ігрове проектування, групові консультації, факультативні заняття, заняття в гуртках);

масові (проектне навчання, програмоване навчання).

У сучасній педагогічній практиці серед найефективніших методів самостійної роботи студентів, що сприяють індивідуалізації та інтенсифікації навчального процесу, слід виділити [2]:

проблемно-пошукові методи;

метод проектного навчання;

методи колективної розумової діяльності;

метод застосування новітніх інформаційно-комунікаційних технологій у навчанні.

Сьогодні завдання не тільки в тому, щоб дати молодому спеціалісту знання, а в тому, щоб сформувати потребу в них. Виховати прагнення до їх постійного оновлення, власного вдосконалення.

Отже, метою самостійної роботи студентів є розвиток творчих здібностей та активізація розумової діяльності; формування потреби безперервного самостійного поповнення знань; здобуття глибокої системи знань як ознаки їх міцності; самостійна робота студентів як результат їх морально-вольових зусиль.

З метою вивчення рівня організації самостійної роботи студентів та забезпечення належних умов щодо її навчально-методичного забезпечення та контролю, було проведено опитування студентів 3, 4 та 5 курсів гірничого факультету. Це дозволило проаналізувати організацію СРС старших курсів. Респонденти дали такі відповіді: у 19% студентів від загальної кількості опитаних не виникає проблем під час самостійного вивчення матеріалу. У 25,0 % опитуваних студентів вони виникають досить часто а у 65,0 % – інколи. Це свідчить про невміння самостійно опрацьовувати літературні джерела й одержувати необхідну інформацію, що для студентів 4 курсу є негативною тенденцією.

При цьому респонденти відзначають що самостійно вони працюють лише час від часу, особливо перед практичними заняттями або у разі, коли є потреба, або ближче до сесії. Студенти, котрі навчаються самостійно щоденно склали 10,0 %. Отже, студенти працюють переважно для того щоб бути готовими до занять чи під час підготовки до сесії.

Причинами, що заважають студентам навчатися самостійно є: недостатня кількість часу, недостатня забезпеченість навчально-методичною літературою, що свідчить про небажання студентів самостійно займатись пошуком літератури і використовувати сучасні інформаційні технології небажання самостійно навчатись і невміння самостійно організувати свій час, що в свою чергу може виступати реальним джерелом нестачі часу, про який говорять студенти і який, на їхню думку виступає основним фактором обмеження самостійної роботи. Так вважають 80,0 % опитуваних.

Найбільш ефективною і найбільш прийнятною формою самостійної роботи студенти вважають насамперед роботу з навчальною літературою (більше половини), на другому місці – робота з конспектом (половина опитаних), на третьому місці – підготовка і виконання тестових завдань і розв'язування задач, а також підготовка рефератів, доповідей (35,0 % опитуваних), і зовсім незначні позиції займають такі форми, як заповнення та створення таблиць (15,0 %) і робота в мережі Інтернет (1,0 % опитуваних).

Таким чином, студенти більшою мірою орієнтуються на такі традиційні форми самостійної роботи, як робота з літературою, що є в бібліотеці та з конспектом лекцій, тобто вже на опрацьований матеріал, який складає мінімум необхідних знань. Це також свідчить про небажання займатися самостійним пошуком нової літератури і використовувати інноваційні форми самостійної роботи.

Найбільш ефективними формами контролю самостійної роботи опитувані студенти назвали: тестування (80,0 %); співбесіду (46,0 %); опитування (35,3%), колоквіуми (30,5 %); контрольні роботи (18,0 %); перевірка конспектів (16,5%). Також студенти більш орієнтовані на тестові форми контролю і на безпосереднє спілкування.

Більше половини респондентів (70,0 %) вважають, що на кафедрах повинні бути стенди з інформацією про організацію самостійної роботи; 21,0 % респондентів вважають, що такі стенди потрібні не з усіх дисциплін, а лише з тих, що складають екзамени, що вкотре підтверджує той факт, що студенти займаються самостійною поза аудиторною роботою в сесійний період, а не протягом семестру. 17 % опитуваних вважають, що такі стенди не потрібні взагалі. На думку тих студентів, що користуються інформацією, вона повинна містити перелік навчально-методичної літератури: підручники, посібники, методичні рекомендації тощо; тематичні плани

лекцій та занять, перелік питань та завдань для самостійної роботи та питання для контролю СРС, рекомендації щодо підготовки до заліку чи іспиту.

Досвід роботи показує, що для раціонального розподілу часу студентів під час вивчення технічних дисциплін велике значення має допомога викладачів. Ця допомога здійснюється у вигляді методичних розробок, які містять потижневий розгорнутий план лекційних, практичних занять, список питань і літератури, що рекомендується, для підготовки до кожного заняття, наведено форму контролю знань. Крім того, в методичних вказівках наведено варіанти індивідуальних завдань із дисципліни та перелік питань для підготовки до заліку чи іспиту.

Для рішення проблеми організації самостійної роботи необхідно взяти певних заходів:
створити комплекти методичних посібників для самостійної роботи;

забезпечити проведення індивідуальних і групових консультацій із самостійних робіт, узгодити їх графік проведення;

скласти зведений графік виконання самостійних робіт з усіх предметів для забезпечення рівномірного завантаження студентів протягом семестру.

Організація такої роботи студентів означає створення умов для розвитку вмінь планувати, реалізувати та вносити корективи у свою діяльність. Вона складається з двох головних аспектів: один з них - розробка форм і методів організації контролю за самостійною роботою і другий - навчально-методичне забезпечення самостійної роботи. Пропонуємо такі форми самостійної роботи студентів:

опрацювання лекцій.

конспектування навчального матеріалу (теми або окремих питань теми).

написання рефератів.

розв'язання задач.

виконання розрахунків (у тому числі на ЕОМ).

виконання графічних вправ і завдань.

виконання індивідуальних завдань.

Наведені вище форми організації самостійної роботи студентів виявились дійовими. Завдання викладача полягає у тому, щоб відібрати з них найбільш результативні в кожній конкретній ситуації, тобто такі, які б відповідали індивідуальним можливостям студента з урахуванням бюджету часу, а також відповідали специфіці навчального матеріалу курсу.

На нашу думку, організацію самостійної роботи студентів доцільно проводити у два етапи:

I *етап* - період початкової організації, що вимагає від викладача безпосередньої участі в діяльності осіб, які навчаються, з виявленням і вказування причин появи помилок;

II *етап* - період самоорганізації, коли не вимагається безпосередня участь викладача в процесі самостійного формування знань студентів.

В організації самостійної роботи студентів особливо важливо правильно визначити обсяг і структуру змісту навчального матеріалу, який виноситься на самостійне опрацювання, а також необхідне методичне забезпечення. До методичного забезпечення входить, як правило, програма робіт, завдання для студентів та інструментарій для їх виконання.

Не менш важливе місце займає організація практичних занять. Раціональна організація практикуму дозволяє надбати студентами навички проведення досліджень та розрахунків. Індивідуальний характер роботи допомагає досягненню цієї мети. Мала кількість часу на аудиторні заняття вимагає максимально зменшити непродуктивні його затрати, для цього створені й успішно використовуються «Робочі зошити для практичних робіт». Ціль видання цих методичних розробок – більш чітка організація робіт, зручність і комфорт під час заповнення для студентів і перевірки для викладачів. Це дозволяє більше часу приділяти індивідуальній роботі зі студентами. Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт відображають хід виконання роботи та дають зразок правильного її оформлення, а також включають умови завдань, ситуацій, вправ, конкретних задач.

Важлива частина самостійної роботи з технічних дисциплін – це виконання різноманітних вправ та рішення завдань. Для досягнення цієї мети розробляють «Збірники матеріалів та завдань для самостійного вивчення курсу». Наявність прикладів рішення типових задач і вправ поряд задачами і вправами без рішень значно розширює можливості самостійної роботи студентів як відстаючих, так і тих, хто не відчуває значних утруднень у навчальному процесі.

Домашні завдання з конкретних тем, контрольована самостійна робота, індивідуальні завдання можуть видаватися за збірником як у потоці (групі), так і індивідуально.

Навчальний процес не може здійснюватися без ефективного зворотного зв'язку, який реалізується через контроль за його результатами. Якість контролю знань студентів і його достовірність дуже важливі для прийняття правильних рішень щодо вдосконалення навчального процесу та організації самостійної роботи студентів.

Ефективність самостійної роботи забезпечується постійним контролем. Перевагою контролю є значна можливість індивідуального підходу залежно від рівня знань, здібностей і навіть характеру студента. Коли одного треба весь час контролювати, оцінювати виконання завдань з кожної теми або її частини, то для іншого достатньо проміжного контролю, що включає декілька тем. При цьому такий студент може виконувати завдання підвищення рівня складності. Треба відмітити, що основна задача контролю – спонукати студента активно працювати позааудиторно протягом всього семестру.

Контроль самостійної роботи студентів включає: відповідь на контрольні або тестові питання; перевірка конспекту; перевірка рефератів; перевірка розв'язаних задач; перевірка розрахунків; перевірка виконаних графічних вправ і завдань; перевірка виконаних індивідуальних завдань.

Для її досягнення використовуємо різноманітні форми контролю самостійної роботи, які висвітлені вище - усне опитування, контрольні роботи, тести, колоквиуми і підсумковий контроль - екзамен.

Заслугує на увагу і такий аспект самостійної роботи, як оволодіння студентами технологією пізнавальної діяльності, однією з важливих задач якого є формування в них вміння самостійно контролювати і оцінювати результати своєї навчальної роботи. І на цій основі управляти процесом пізнання.

Організаційними ознаками самостійної роботи є:

- наявність завдань для самостійної роботи;
- надання спеціального часу для їх виконання; планування методів, засобів і форм самостійної роботи;
- здійснення студентами навчальної діяльності (колективної чи індивідуальної), їхня активність при цьому;
- самоконтроль і поточний контроль;
- управління цією роботою з боку викладача; - наявність очікуваних результатів.

Отже, самостійна робота студентів – це основна форма організації навчання, яка включає різноманітні види індивідуальної й колективної навчальної діяльності, яка здійснюється на аудиторних та позааудиторних заняттях з урахуванням індивідуальних особливостей і пізнавальних можливостей студентів під керівництвом викладача або без його безпосередньої участі. У контексті нашого дослідження самостійна робота визначається як вид навчальної діяльності, спрямований на формування пізнавальних здібностей студента, їх спрямованість на безперервну самоосвіту.

Самостійна робота студентів є важливою складовою у підготовці кваліфікованого фахівця, конкурентоспроможного на ринку праці, здатного до компетентної професійної діяльності на рівні світових стандартів.

Висновки. Отже, головним завданням організації самостійної роботи студентів є використання традиційних та інноваційних форм і методів навчання, які б, доповнюючи один одного, становили єдину систему, яку можна адаптувати до особливостей навчального процесу в конкретному вищому навчальному закладі з метою оптимізації навчання та підготовки висококваліфікованих фахівців.

Список літератури

1. Дичківська І. М. Інноваційні педагогічні технології / І. М. Дичківська. – К. : Академвидав, 2004. – 351 с.
 2. Смолкин А. Методи активного обучения / А. Смолкин. – М. : Высш. шк., 1991. – 290 с.
 3. Авдєєнко А.П., Деметій Л.В. Організація самостійної роботи студентів // Проблеми освіти. Науково – методичний збірник – 2002 – № 27 – с. 246.
 4. Пащенко Т.М. Проблеми організації самостійної роботи студентів // Проблеми освіти. Науково-методичний збірник - 2003 – № 33 – с. 308.
- Рукопис подано до редакції 28.11.13

С.В. ТИЩЕНКО, д-р техн. наук, Г.И. ЕРЕМЕНКО, канд. техн. наук,
Криворожский национальный университет
Д.Ю. МАЛЫХ, главный инженер, ПАО «ИнГок»

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЗРЫВА ПРИ ВЗРЫВАНИИ СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА ВЗРЫВЧАТЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

При взрыве скважинного заряда для продуктов детонации справедлив изоэнтропийный закон расширения, связывающий давление P и плотность ρ [1,2]

$$P = a \cdot \rho^n,$$

где n - константа данного ВВ.

При истечении продуктов детонации в какую-либо среду в последней всегда образуется ударная волна, скорость которой, согласно работе [1], определяется из выражения

$$U_{y0} = \frac{D}{n+1} \left(1 + \frac{2n}{n-1} \left(1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{2n}} \right) \right),$$

где D - скорость детонации ВВ; P_1 - давление во фронте детонационной волны; P_2 - начальное давление во фронте ударной волны, образующейся в среде.

Очевидно, что структура и параметры волны разрушения зависят от импульсной нагрузки, в нашем случае ударной волны и физико-механических свойств разрушаемой среды.

Рассмотрим разрушающее действие скважинного (цилиндрического) заряда ВВ в плоскости, перпендикулярной к оси заряда, т.е. рассмотрим плоскую картину течения разрушения. Закон сохранения энергии на фронте волны разрушения имеет вид

$$\omega_2 - \omega_1 = \frac{1}{2}(P_1 + P_2)(\rho_1^{-1} - \rho_2^{-1}), \quad (1)$$

где ω_1, ω_2 - внутренняя энергия среды на поверхности, на которой начинается разрушение, и соответственно на поверхности, где дальнейшего разрушения не происходит; P_1, P_2 - напряжения, нормальные к поверхностям, где происходит и не происходит разрушение; ρ_1, ρ_2 - плотность среды соответственно на указанных поверхностях.

Согласно [3], если внутреннюю энергию единицы массы неразрушенного материала обозначить через ω_0 , то для неразрушенного материала $\omega = P^2 / 2k\rho_1 + \Sigma^2 / 2\mu\rho_1 + \omega_0(T_1)$.

$$\begin{aligned} 3P &= \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z, \\ 6\Sigma^2 &= (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2, \quad \omega_0(T_1) = C \cdot T_1 \cdot \rho_1^{-1}, \\ \omega_0(T_1) &= c \cdot T_1 \cdot \rho_1^{-1}, \end{aligned} \quad (2)$$

где k - модуль векторного сжатия; μ - модуль сдвига; c - теплоемкость.

За фронтом волны разрушения для разрушенного материала

$$\omega_2 = \sigma_x^2 (2E\rho_2)^{-1} + \omega_0(T_2) + \omega_s,$$

где ω_s - поверхностная энергия.

Поскольку в данном случае рассматривается задача на плоскости, то с учетом соотношений $\sigma_y = \sigma_s$; $\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y)$ получаем уравнение теплового баланса

$$\omega_2 + C(T_2 - T_1) = \sigma_*^2 (2E)^{-1} (1 - \nu(\rho_2 - \rho_1)(1 - \nu)^{-1} \sigma_*) \quad \text{при } \sigma_* = E\varepsilon^*, \quad (3)$$

где ε^* - предельная деформация растяжения.

Согласно уравнению (3), тепловые потери при разрушении равны

$$\Delta Q = \sigma_*^2 / 2E_1 - \omega_s. \quad (4)$$

С учетом осевой симметрии рассмотрения процесса разрушения окончательно имеем

$$\Delta Q = (\sigma_*^2 / 2E_1) \left[(1 - \nu^2 - \rho\nu^2(\varepsilon^* \sigma_*)^{-1}) \right]. \quad (5)$$

Отсюда следует важный вывод, что чем интенсивнее происходит дробление, тем больше тепловые потери. Следовательно, изменяя величину взрывного воздействия на разрушаемую среду, можно влиять на КПД взрыва. Как видно из последнего уравнения, потери энергии на нагревание породы тем больше, чем больше раздроблена среда. Это приводит к быстрому затуханию волны разрушения.

Как уже отмечалось, внутренняя структура волны разрушения состоит из двух поверхностей: L_1 - поверхность, на которой начинается разрушение, и L_2 - поверхность, за которой дальнейшего разрушения не происходит. Очевидно, что перед поверхностью L_1 среда подвергается растяжению, а за поверхностью L_2 растягивающие напряжения полностью сняты.

На образование трещины, очевидно, затрачивается энергия W , включающая в себя энергию разрыва внутренних связей, работу пластической деформации и другие виды энергии [5]. Если длина трещины изменяется на величину dl , то производную $\partial W/dl$ можно рассматривать как обобщенную силу. Обозначив через f удельную поверхностную энергию, получим: $\partial W/dl = df$. Тогда согласно исследованиям [1], закон сокращения импульса на поверхностях L_1 и L_2 примет вид

$$P_2 S_2 - P_1 S_1 = j(v_2 - v_1) + 2f,$$

где j - поток вещества; v_1 и v_2 - массовая скорость на поверхности L_1 и L_2 ; S_1 - сечение фрагмента в неразрушенной среде; S_2 - сечение фрагмента в разрушенном материале.

Закон сохранения потоков вещества с учетом наших обозначений запишется в виде

$$P_2^1 - P_1^1 = j^2(\rho_1^1)^{-1} - (\rho_2^1)^{-1} + 2f, \quad (6)$$

$$P^1 = PS; \quad \rho^1 = \rho S, \quad (7)$$

где ρ_1 и ρ_2 - плотность соответственно на каждой из поверхностей; P_1 и P_2 - нормальные напряжения.

Для случая, когда $P_1^1 = P_2^1$ с учетом формул (6) и (7), получаем

$$\rho_1 S_1 (\rho_1 S_1 / \rho_2 S_2 - 1) = 2f / (C_r - v_1)^2, \quad (8)$$

где c_r - скорость волны разрушения.

Из предположения, что среда является упругопластической, имеем

$$S_1 = S_0(1 + \varepsilon^*), \quad S_2 = S_0(1 + \varepsilon'), \quad (9)$$

где S_0 - размер рассматриваемого фрагмента в ненапряженном состоянии; ε' - остаточная деформация.

Подставляя значения S_1 и S_2 из формул (9) в выражение (8), получим

$$S_2 = 2f / \rho(c_r - v_1)^2 (\varepsilon^* - \varepsilon'), \quad (10)$$

поскольку $\varepsilon^* - \varepsilon' = \sigma^* / E$, то окончательно формула по определению размера осколка, если известна окончательная скорость C_r волны разрушения, может быть записана в виде

$$S_2 = 2fE(\rho\sigma^*(c_r - v_1)^2)^{-1}. \quad (11)$$

Очевидно, что скорость распространения волны разрушения зависит от геометрии и кинематики движения.

Для случая радиального движения с осевой симметрией скорость фронта разрушения равна

$$dR/dt = v / 2\varepsilon^*, \quad (12)$$

где R - радиус фронта разрушения; t - время или

$$dR/dt = c_r - v_1. \quad (13)$$

Тогда с учетом формул (11-13) получим

$$S_2 = 8fE\varepsilon_*^2(\rho\sigma^* \cdot v^2)^{-1}. \quad (14)$$

Формула (14) дает возможность определить поперечный размер куса разрушенного материала в зависимости от величины массовой скорости V . Если поперечный размер осколка обозначить через $\langle x \rangle$, а величину массовой скорости для цилиндрического заряда принять в виде

$$v = A(\sqrt{Q} \cdot R_*^{-1})^2, \quad (15)$$

где Q - вес заряда ВВ, приходящийся на единицу длины; R_* - расстояние от центра заряда; A , α - эмпирические коэффициенты, то формула (18) примет окончательный вид

$$\langle x \rangle = (8fE\varepsilon_*^2 A^2 \sigma^*)(R/Q^{1/2})^\alpha. \quad (16)$$

Формула (15) определяет характерный размер осколков в зависимости от веса заряда и расстояния от центра заряда. В общем виде это может быть записано как

$$\langle x \rangle = X(Q, R). \quad (17)$$

Ранее отмечалось, что формула (5) дает зависимость между тепловыми потерями и интенсивностью дробления, то есть величиной $\langle x \rangle$. Эта зависимость может с большой точностью быть выражена соотношением

$$\Delta Q = \langle x \rangle^{-2}. \quad (18)$$

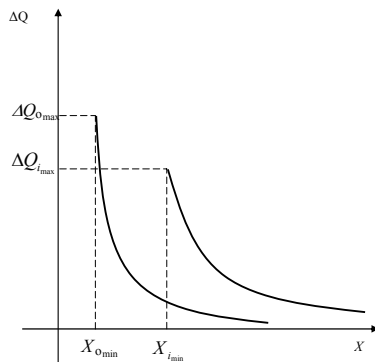
На рис. 1 показана общая закономерность соотношения между этими двумя параметрами.

Если обозначить через r границу разрушения, а через r_0 радиус цилиндрического заряда, то средний размер куска грансостава взорванной горной массы может быть определен соотношением

$$\langle x \rangle = B \int_{r_0}^r R dr, \quad (19)$$

$$B = 2\pi^2 S_2 (r_2 - r_0^2)^{-1}, \quad (20)$$

Рис. 1. Зависимость между потерями энергии на нагрев породы и интенсивностью разрушения среды



Для области разрушения $r_0 \leq r$, согласно формуле (15), имеем

$$\langle x \rangle = 8 f E \varepsilon_*^2 / \rho A^2 (\alpha + 1) \sigma_* r^{2\alpha} / Q^\alpha. \quad (21)$$

Если ввести замену $V = \pi r^2$, то окончательно получим

$$\langle x \rangle = K (E \varepsilon_*^2 / \sigma_*) (V / Q)^\alpha, \quad (22)$$

где K - числовой коэффициент, зависящий от свойств разрушаемой среды.

При условии $\sigma = E \varepsilon_*$ (хрупкое разрушение) формула (22) примет вид

$$\langle x \rangle = K (\sigma_* / E) (V / Q)^\alpha, \quad (23)$$

теоретически оптимальный случай для процесса взрывного разрушения, если $\Delta Q = 0$, тогда согласно [4]

$$\langle x \rangle_{opt} = \sigma_*^2 / 2 E f. \quad (24)$$

Выражение (23) нужно рассматривать как теоретический предел эффективности использования энергии взрыва, к которому необходимо стремиться в реальных условиях при проведении взрывных работ.

Список литературы

1. Детонационные волны в конденсированных средах / А.Н. Дремин, С.Д. Савров, В.С. Трофимов, К.К. Шведов. - М.: Наука, 1971. - 162 с.
2. Кузнецов В.М. О плоской волне разрушения // ФГВ. - 1974. - № 1. - С. 124-127.
3. Действие взрыва в горных породах / Друкованый М.Ф., Комир В.М., Кузнецов В.М. - К.: Наукова думка, 1973. - 184 с.
4. Родионов В.Н. О подобии процесса дробления при взрывах рудного масштаба // В кн. Механизм разрушения горных пород взрывом. - К.: Наукова думка, 1971. - С. 107-112.
5. Власов О.Е., Смирнов С.А. Основы расчета дробления горных пород взрывом. - М.: АН СССР, 1962. - 101 с.

Рукопись поступила в редакцию 04.01.14

УДК 622.062:622.281

Д.В. БРОВКО, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет

БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ ШАХТ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ КОНСТРУКЦИЙ СООРУЖЕНИЙ

На основе руководств по формальной оценке безопасности выполнен анализ риска возникновения аварийных ситуаций в зданиях и сооружениях, на примере обрушения конструкций сооружения поверхности горнодобывающего предприятия.

Проблема и ее связь с другими практическими задачами. Высокий уровень травматизма и особенно аварий, сопровождающихся смертельными травмами в Украине, остро ставит проблему совершенствования методов их профилактики. В последние годы в мировой практике безопасность производства оценивается на основе риска нежелательных событий. Международные организации ИСО, ИМО и др. разработали теоретические основы и методики оценки риска и принятия на их основе технических решений по предупреждению аварий и травматизма на производстве [1, 2].

Специалисты различных отраслей промышленности в своих сообщениях и докладах постоянно оперируют не только определением "опасность", но и таким термином, как "риск".

В научной литературе встречается весьма различная трактовка термина "риск" и в него иногда вкладываются отличающиеся друг от друга содержания. Например, риск в терминологии страхования используется для обозначения предмета страхования (промышленного предприятия или фирмы), страхового случая (наводнения, пожара, взрыва и пр.), страховой суммы (опасности в денежном выражении) или же как собирательный термин для обозначения нежелательных или неопределенных событий. Экономисты и статисты, сталкивающиеся с этими вопросами, понимают риск как меру возможных последствий, которые проявятся в определенный момент в будущем. В психологическом словаре риск трактуется как действие, направленное на привлекательную цель, достижение которой сопряжено с элементами опасности, угрозой потери, неуспеха, либо как ситуативная характеристика деятельности, состоящая в неопределенности ее исхода и возможных неблагоприятных последствиях в случае неуспеха, либо как мера неблагоприятия при неуспехе в деятельности, определяемая сочетанием вероятности и величины неблагоприятных последствий в этом случае. Ряд трактовок раскрывает риск как вероятность возникновения несчастного случая, опасности, аварии или катастрофы при определенных условиях (состоянии) производства или окружающей человека среды. Приведенные определения подчеркивают как значение активной деятельности субъекта, так и объективные свойства окружающей среды.

Общим во всех приведенных представлениях является то, что риск включает неуверенность, произойдет ли нежелательное событие и возникнет ли неблагоприятное состояние. Заметим, что в соответствии с современными взглядами риск обычно интерпретируется как вероятностная мера возникновения техногенных или природных явлений, сопровождающихся возникновением, формированием и действием опасностей, и нанесенного при этом социального, экономического, экологического и других видов ущерба и вреда.

Под риском следует понимать ожидаемую частоту или вероятность возникновения опасностей определенного класса, или же размер возможного ущерба (потерь, вреда) от нежелательного события, или же некоторую комбинацию этих величин.

Постановка задачи. Применение понятия риск, таким образом, позволяет переводить опасность в разряд измеряемых категорий. Риск, фактически, есть мера опасности. Часто используют понятие "степень риска" (Level of risk), по сути не отличающееся от понятия риск, но лишь подчеркивающее, что речь идет об измеряемой величине.

Изложение материала и результатов. Все названные (или подобные) интерпретации термина "риск" используются в настоящее время при анализе опасностей и управлении безопасностью (риском) технологических процессов и производств в целом.

Риск возникает при следующих необходимых и достаточных условиях:
существование фактора риска (источника опасности);

присутствие данного фактора риска в определенной, опасной (или вредной) для объектов воздействия дозе;

подверженность (чувствительность) объектов воздействия к факторам опасностей

Между авариями в самых разных отраслях можно заметить явное сходство. Обычно аварии предшествует накопление дефектов в оборудовании или отклонения от нормального хода процессов. Эта фаза может длиться минуты, сутки или даже годы. Сами по себе дефекты или отклонения еще не приводят к аварии, но готовят почву для нее. Операторы, как правило, не замечают этой фазы из-за невнимания к регламенту или недостатка информации о работе объекта, так что у них не возникает чувства опасности. На следующей фазе происходит неожиданное или редкое событие, которое существенно меняет ситуацию. Операторы пытаются восстановить нормальный ход технологического процесса, но, не обладая полной информацией, зачас-

тую только усугубляют развитие аварии. Наконец, на последней фазе еще одно неожиданное событие - иногда совсем незначительное - играет роль толчка, после которого техническая система перестает подчиняться людям, и происходит катастрофа.

Риск является неизбежным, сопутствующим фактором промышленной деятельности. Риск объективен, для него характерны неожиданность, внезапность наступления, что предполагает прогноз риска, его анализ, оценку и управление - ряд действий по недопущению факторов риска или ослаблению воздействия опасности.

Строительство, реконструкция и эксплуатация зданий и сооружений на поверхности шахт относится к высоким классам риска, что обусловлено как спецификой выполнения работ (отсутствие постоянных рабочих мест и повышенная опасность процессов производства), так и организационными факторами. Это требует совершенствования профилактической работы по повышению безопасности строительного производства на основе существующих методов оценки риска.

В данной работе ставится задача использовать известную методику для анализа потенциальных опасностей аварии сооружения (обрушения конструкций), трансформировав ее для условий строительства.

Безопасность человека и защита окружающей среды - две взаимосвязанные проблемы безопасности жизнедеятельности. Международная организация стандартизации (ИСО) трактует безопасность как отсутствие недопустимого риска, связанного с возможностью нанесения ущерба [1].

На основе анализа и обобщения результатов исследований в области техногенной безопасности было разработано Руководство по формальной оценке безопасности - Formal Safety Assessment (FSA) [2]. FSA - структурированная и систематизированная методология, направленная на повышение безопасности, включая защиту жизни и здоровья человека, окружающей среды и собственности на основе оценки риска с учетом требуемых затрат и получаемых выгод.

Чаще всего риск определяют как частоту реализации нежелательного события - количественную оценку опасности [3].

FSA рассматривает термин "риск" как произведение частоты на ущерб от аварии, то есть величина риска может быть рассчитана исходя из следующего выражения:

$$R = \lambda \cdot Y ; \quad (1)$$

где R - расчетная величина риска, 1/год или грн./год.; λ - частота аварий рассматриваемого типа, 1/год; Y - ущерб от аварии, без размерности или в грн.

Размерность 1/год применяется в том случае, если оценивается риск гибели человека (индивидуальный риск), а размерность грн./год - при оценке риска потери материальных ценностей или экологического риска.

В соответствии с FSA [2] шкала риска имеет три области. В первую входит пренебрежимо малый риск, во вторую - риск столь большой, что он считается чрезмерным или неприемлемым. Между этими двумя областями располагается область приемлемого риска, т.е. такого риска, который не настолько мал, чтобы с ним не считаться, но и не так велик, чтобы считать его чрезмерным.

В общем случае приемлемым является уровень риска техногенной деятельности, который общество готово принять ради получаемых экономических и социальных выгод.

В соответствии с критериями, принятыми в мировой практике [2], недопустимым считается индивидуальный риск, превышающий $1 \cdot 10^{-4}$ 1/грн., т.е. когда в течение года от данного типа нежелательных событий гибнет 1 человек из 10000.

Приемлемым (допустимым) считается индивидуальный риск, если его уровень лежит в диапазоне $1 \cdot 10^{-4}$ - $1 \cdot 10^{-6}$ 1/год. Эта область риска требует принятия специальных мер по управлению им.

Значение риска $1 \cdot 10^{-6}$ 1/год в экономически развитых странах принимается за границу допустимого уровня риска. Область риска меньше этого значения предполагает, что меры безопасности, принятые в данной сфере техногенной деятельности, находятся на уровне, не требующем специального вмешательства для их дальнейшего совершенствования.

При оценке степени риска следует учитывать суммарный ущерб, вызванный как гибелью людей, так и материальными потерями и ущербом окружающей среде. С этой целью необходи-

мо рассматривать соответствие материального ущерба в денежном выражении ущербу от гибели человека.

Используемая методика основана на концепции приемлемого риска и имеет целью выявление опасностей до того, как они приведут к аварии. При этом учитываются технические, человеческие и организационные факторы, а также стоимость работ, связанных с повышением безопасности.

Выполним оценку риска аварии сооружения (с обрушением конструкций). Реализация методики предусматривает ряд этапов.

На первом этапе осуществляется оценка степени риска аварии и идентификация опасности ее возникновения.

Для оценки величины риска используем предложенный метод определения индексов частоты и ущерба для аварий с применением логарифмической шкалы, трансформировав его для условий нашей задачи.

Согласно методике: $\text{риск} = \text{частота} \times \text{ущерб}$ или

$$\lg R = \lg \lambda + \lg Y; \quad (2)$$

тогда

$$R = 10^{[\lg \lambda + \lg Y]} = \lg \lambda \cdot \lg Y. \quad (3)$$

Вводя обозначения $\lg \lambda = (FI-6)$ и $\lg Y = (SI-3)$, получаем выражение для оценки величины риска

$$R = 10^{[FI-6]} \cdot 10^{[SI-3]} = 10^{[RI-9]}, \quad (4)$$

где FI - индекс частоты аварии (*Frequency Index*); число 6, вычитаемое из индекса частоты, соответствует значению частоты 1,0 1/год (табл.1); SI - индекс ущерба от аварии (*Severity Index*); число 3, вычитаемое из индекса ущерба, соответствует относительному ущербу 1,0 (табл.2); RI - индекс риска аварии (*Risk Index*), значения которого приведены в табл.3.

Как видно, величина (-9) в степенном выражении ($RI-9$) формулы (4), соответствующая частоте аварий 1 в год, с относительным ущербом 1,0 принята за базовую при определении риска R . Величина риска при других сочетаниях FI и SI определяется на основе статистических данных или экспертным методом с помощью табл.1-3. В табл.3 индексы риска аварии (RI) находятся суммированием значений индексов ущерба (SI) и частоты аварий (FI). Определив при помощи таблиц индекс риска по формуле (4), можно установить ориентировочное числовое значение риска аварии, сравнить его с допустимыми значениями и сделать вывод об уровне рассматриваемой опасности.

Таблица 1

Индексы частоты аварийных ситуаций

FI	Частота аварии	Способ определения	λ (на одно сооружения в год)
1	Чрезвычайно редко	1 раз за 100 лет на одном из 1000 сооружений	10^{-5}
2		1 раз в 10 лет на одном из 1000 сооружений	10^{-4}
3	Редко	1 раз в год на одном из 1000 сооружений	10^{-3}
4		1 раз в год на одном из 100 сооружений	10^{-2}
5	Умеренно	1 раз в год на одном из 10 сооружений	10^{-1}
6		1 раз в год на одном сооружении	1,0
7	Часто	1 раз в месяц на одном сооружении	10

Таблица 2

Индексы ущерба от аварии

SI	Ущерб от аварии	Воздействие на человека	Воздействие на сооружение	Относительный ущерб
1	Низкий	Отдельные или незначительные травмы	Местное повреждение оборудования	10^{-2}
2	Существенный	Многочисленные или серьезные травмы	Незначительное повреждение сооружения	10^{-1}
3	Серьезный	Единичная гибель людей или многочисленные травмы	Сильное повреждение сооружения	1,0
4	Катастрофический	Многочисленная гибель людей	Полное разрушение сооружения	10

Таблица 3

Индексы риска аварии RI

FI	Частота аварии	Тяжесть (ущерб) аварии (SI)			
		1 низкая	2 существенная	3 серьезная	4 катастрофическая
1	Чрезвычайно редко	2	3	4	5
2		3	4	5	6
3	Редко	4	5	6	7
4		5	6	7	8
5	Умеренно	6	7	8	9
6		7	8	9	10
7	Часто	8	9	10	11

В данном случае на основании статистических данных примем, что подобного рода авария (полное обрушение) может происходить один раз в год на одном из 100 сооружений, т.е. $FI=4$. Такая авария обычно сопровождается многочисленной гибелью людей и вызывает серьезные повреждения конструкций, т.е. относится к серьезным $SI=4$. Тогда, на основании полученных данных по табл. 3, определяем индекс риска аварии $RI=7$.

Подставляя найденное значение RI в формулу (4), определим величину риска аварии

$$R = 10^{[RI-9]} = 10^{[7-9]} = 10^{-2} \text{ 1/год,} \quad (5)$$

Сравнивая полученную величину риска с его допустимыми границами, делаем вывод о том, что риск аварии сооружения (обрушения конструкций) является неприемлемым (10^{-2} 1/год $> R_{\text{доп}} < 10^{-4}$ 1/год) и требует принятия дополнительных мер по снижению риска.

Для этого проведем идентификацию опасности аварии с выявлением и оценкой факторов, оказывающих влияние на величину риска. Указанная цель может быть достигнута при помощи построения дерева распределения риска (дерева событий и опасностей).

Цель следующего этапа - выбор мероприятий по снижению риска аварии на основании проведенной идентификации опасности.

Третий этап предусматривает оценку затрат и выгод от реализации мероприятий, предложенных на предыдущем этапе.

На заключительном этапе вырабатываются окончательные рекомендации по управлению безопасной эксплуатацией сооружения с использованием существующей нормативной базы по охране труда.

Выводы и направление дальнейших исследований. Таким образом, системный анализ риска возникновения возможных дефектов конструкций сооружения и организационных причин, которые могут привести к аварии, позволяет управлять безопасностью при его эксплуатации.

В этом направлении ведется множество исследований и разработок. Надеемся, что после более детальных исследований проведенных нами и данная методика может быть применена при анализе риска любого процесса при строительстве, ремонте и эксплуатации зданий и сооружений на поверхности горнодобывающих предприятий.

Список литературы

1. Безопасность труда, санитария и гигиена. Терминология: Справочное пособие. - М.: Изд-во стандартов, 1990. - 173 с.
2. Formal Safety Assessment Including Environmental Indexing of Ships. MEPS 45/13, 2000.
3. **Коржик Б.М.** Теоретичні основи безпеки життєдіяльності. - К., 1995. - 107 с.

Рукопись поступила в редакцию 18.09.13

ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО И РУДНОГО СЫРЬЯ ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассмотрены вопросы формирования качества рудного сырья горнорудных предприятий, а также всей совокупности факторов, которые влияют на процесс формирования качества рудного сырья и определяющий ее уровень. Приведенная схема трансформации качества рудного сырья на горно-обогатительном комбинате.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Выпуск высококачественной железорудной продукции в перерабатывающей области в значительной мере зависит от качества рудного сырья, которое потребляется. Чем выше качество рудного сырья, тем меньшая величина бесповоротно - общественной работы, которая затрачивается, и наоборот. При использовании рудного сырья низкого качества, при равных затратах работы, одной и той же технике, технологии и квалификации работников, железорудная готовая продукция, которая выпускается, имеет более низкое качество, технико-экономические показатели производства и потребление, чем железорудная готовая продукция, которая изготовлена из более качественного рудного сырья. Поэтому одним из основных вопросов проблемы повышения качества железорудной готовой продукции есть изучения факторов, которые формируют качество, и взаимодействие между ними. Оценить степень влияния на качество железорудной готовой продукции каждого фактора отдельно не всегда возможно или довольно тяжело, что предопределяет необходимость изучения влияния группы факторов, а не каждого фактора отдельно.

Всю совокупность факторов, которые влияют на процесс формирования качества рудного сырья и определяющий ее уровень, можно подразделить исходя из того, к какому моменту основных условий производства (предмет работы, средства работы, работа) они принадлежат, на следующие группы: естественные (предмет работы), технические (орудие работы), технологические, экономические, социально-экономические.

Анализ исследований и публикаций. Исследование по перечисленным вопросам для отдельных видов полезных ископаемых, стадий освоения месторождений, уровней и периодов управления рассмотренные в работах Б. И. Беляева, В. А. Букринского, В. М. Гудкова, А. Б. Каждана, А. М. Марголина, П. О. Рыжова, И. Д. Савинского, В. И. Смирнова, И. Н. Ушакова, И. И. Финаревского, А. В. Назаренка, а также зарубежных ученых М. Давида, У. Крамбейна, Д. Криге, А. Марешаля, Ж. Матерона, В. Немеца, Ж.-М. Ренду и др. При наличии эффективных разработок отдельных вопросов до сих пор, однако, отсутствуют комплексные исследования, которые направлены на создания теории, методов и технологии информационного маркшейдерско-геологического обеспечения управления качеством рудного сырья, которые добывают.

Постановка задачи. Названная проблема есть довольно актуальной для горнодобывающей промышленности. Ее успешное решение возможно только на основе глубокого изучения и обоснование функций и объектов маркшейдерско-геологического обеспечения, анализа факторов, которые влияют на формирование и сложность управления качеством руд, выбора рационального комплекса математических методов решения задач и построения эффективной системы обработки массивов информации с использованием компьютерных технологий.

Изложение материала и результаты. Обычно руды балансовых запасов полезных ископаемых представляют собой сложные минеральные агрегаты, которые состоят из смеси рудных и нерудных минералов - кремнезема, глинозема, извести, магнезии и др. Кроме того, руды содержат в разных количествах как полезные (железо, марганец, никель, ванадий, медь, титан и др.), так и вредные (сера, фосфор, цинк, свинец и др.) примеси. Полезные примеси влияют на качество металла, который выплавляется. Они могут иметь ценность для самостоятельного использования. Характер действия вредных примесей диаметрально противоположный действию полезных, поэтому они должны быть изъяты полностью или их содержимое должен быть доведено к допустимым границам.

Система управления качеством, как и любая система управления должна содержать вход и выход, которые связаны между собой прямыми и обратными связями. Механизм действия системы управления качеством должен быть подобный механизму действия кибернетической системы. Возникающие в системе противоречия через обратные связи, влияя на вход системы, восстанавливают ее затронутое равновесие. Так, при изменении требований потребителя к качеству рудного сырья необходимая изменчивость ее качества при добыче, которая в свою очередь вызывает необходимость влияния на факторы, которые определяют ее уровень, в результате чего, изготавливается продукция нового качества. На основе информации о результатах потребления данного рудного сырья снова выполняется технологическое регулирование качества готовой продукции, которая изготавливается. Данный процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнуто необходимый потребителю уровень качества рудного сырья.

Таким образом, основой и условием эффективного действия системы управления качеством рудного сырья есть наличие эффективной оперативной обратной связи между качеством, которое потребляется и добывается благодаря которому возможное обеспечение корректирующего влияния на ход технологического процесса с целью изготовления продукции необходимого качества.

Необходимым условием нормального функционирования системы управления качеством является наличие своевременной и достоверной информации о качестве рудного сырья, которое добывается и потребляется, так как между информацией и управлением качеством рудного сырья существует взаимообусловленная связь – при отсутствии достаточной информации невозможное эффективное осуществление процесса управления, а при отсутствии управления теряет смысл и информация. При управлении качеством рудного сырья необходимо использовать как внешнюю, так и внутреннюю информацию.

Внешняя информация представляет собой данные о потребностях в рудном сырье определенного уровня качества, о фактическом уровне качества рудного сырья, которое проявляется в условиях ее потребления с данным показателем производственного качества, а также данные об экономическом эффекте потребления рудного сырья.

Внутренняя информация представляет собой данные о качестве исходного рудного сырья, отклонениях условий производства при изготовлении продукции, отклонениях показателей качества рудного сырья от заданного уровня, которые возникают в процессе ее добычи, а также данные о затратах, которые связаны с ликвидацией отклонений от заданного уровня качества.

Поскольку в данной системе взаимодействие ее составных частей не может быть точно определенной, постольку система управления качеством есть вероятностной а не детерминированной. Для данной системы можно с большей или меньшей степенью вероятности установить ее поведение в любых заданных условиях.

Особое внимание при создании системы управления следует обращать на то, чтобы деятельностью по управлению качеством были охваченные все звенья предприятия, которое обеспечит концентрирование усилий всего коллектива предприятия на улучшение качества добываемого рудного сырья. При этом непосредственное привлечение руководства предприятия к решению проблемы качества рудного сырья обеспечит руководителям службы качества большую поддержку с их стороны.

Представляется целесообразным вести работы по управлению качеством, которые направлены на непосредственное обеспечение высокого качества рудного сырья, и работы, которые направлены на усовершенствования структуры управления предприятием и приведение ее в соответствие с системой управления качеством рудного сырья.

Особое место в управлении качеством рудного сырья, а значит, и в ее формировании занимает контроль качества. Существующая система контроля качества практически только констатирует факт соответствия или несоответствия качества уже готовой продукции (концентрат, агломерат, окатыши) необходимому уровню качества. Контроль качества рудного сырья эффективный только тогда, когда он основывается на предупреждении выпуска недоброкачественной готовой продукции, а не на устранение недостатков изготавливаемой продукции. Учитывая особенности горного производства, организация контролирующей службы на горных предприятиях, соответственно вышеприведенному положению, очень эффективная потому, что устранение недостатка связано со значительными трудностями и затратами. Итак, существует необходимость организации контроля качества изготовления продукции в ходе производства.

Рядом с осуществлением контроля хода производства специальным управляющим аппаратом необходимо внедрять самоконтроль качества, т.е. в ходе изготовления рабочий выполняет контроль качества продукции и на основе анализа полученных данных устанавливает решение, относительно, необходимых действий по поддержке характеристик производственного качества на определенном уровне или в заданных границах.

Повышая качество производственного процесса с точки зрения его технологического и организационного содержания, нельзя не учитывать экономическую сторону процесса, так как, обеспечивая высокий уровень указанных свойств (технологических и организационных), можно превзойти экономически обоснованные размеры капитальных вложений и текущих затрат, которые послужат причиной значительного роста себестоимости и снижения рентабельности работы предприятия. Итак, повышение качества рудного сырья имеет смысл до определенного, экономически целесообразного уровня, так как, процесс формирования качества рудного сырья подвергается влиянию экономических факторов, к которым принадлежат себестоимость добычи и переработка рудного сырья, себестоимость конечной продукции ГОКа, затраты на потребление рудного сырья данного уровня качества, цены на рудное сырье, которые существуют, и т.п.

Основными задачами, решение которых обеспечивает формирование необходимого качества рудного сырья и эффективное управление им на разных этапах добычи и переработки, есть: разработка научно обоснованных требований к качеству рудного сырья; определение экономически обоснованных уровней качества, в том числе содержания полезного компонента в рудном сырье и допустимые границы его колебания; совершенствование цен на продукцию горнообогатительных предприятий, которые стимулируют повышение качества рудного сырья и уменьшение колебания содержания полезного компонента в рудном сырье; совершенствование методов, техники и технологии оперативного апробирования и контроля качества рудного сырья в буровых скважинах, добычных забоях, шахтах, карьерах, на составах и в технологических цепях и аппаратах обогатительных фабрик; создание качественно-технологических карт месторождений полезных ископаемых, которые являются информационной базой планирования развития горных работ; разработка методов планирования и управление качеством рудного сырья при добыче, транспортировании, складировании и переработке на основе применения современных достижений науки об управлении с использованием технических средств получения, передачи информации и компьютерных технологий; совершенствование техники и технологии буровзрывных работ, которые обеспечивают за счет повышения интенсивности измельчения улучшения качества и стабилизацию гранулометрической составляющей рудного сырья; совершенствование технологии и организации усреднения рудного сырья на этапах добычи, транспортирование, складирование и переработка; создание техники для формирования и разгрузки усреднительных складов, которые обеспечивают эффективное усреднение рудного сырья с необходимыми качественно-технологическими показателями; разработка методов, алгоритмов и создание надежных и эффективных технических средств оперативного управления технологическими процессами горно-обогатительных предприятий на основе использования компьютерных технологий; создание на горно-добывающих предприятиях служб контролирования и управления качеством рудного сырья, наделенных административными полномочиями для осуществления управления роботами по обеспечению необходимого качества рудного сырья, решение оперативных задач контролирования и управление качеством.

Выводы и направление дальнейших исследований. Решение большинства из перечисленных задач возможно только с применением компьютерных технологий, которое позволяет решать как организационные задачи, так и основные задачи управления технологическими процессами. Иначе говоря, внедрение на горных предприятиях автоматизированных систем управления, является, наряду с усовершенствованием техники и технологии на шахтах, карьерах и обогатительных фабриках, основой для обеспечения высокого качества рудного сырья и эффективности производства.

Рукопись поступила в редакцию 18.09.13

ВПЛИВ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА МІЦНІСТЬ І СТІЙКІСТЬ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ, РОЗТАШОВАНИХ НА ПОВЕРХНІ ШАХТ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ КРИВБАСУ

Проаналізовано загальні вимоги до динамічного розрахунку будівель і споруд поверхні шахт.

Існуюча нормативна база з управління безпекою будівельних об'єктів не повною мірою справляється з покладеними на неї завданнями, а норм, що регламентують ризик аварії будівель, немає взагалі. Використання в будівництві методики нормування, заснованої на коефіцієнтах надійності, теоретично забезпечує безпеку будівельних конструкцій. Однак, досвід експлуатації конструкцій показує, що надійність є необхідним, але не достатньою умовою безпеки.

Встановлено, що в 80% випадків причиною будівельних аварій є грубі людські помилки, що допускаються при проектуванні, виготовленні та монтажі несучих конструкцій, які при невигідному сполученні з непередбачуваними факторами природно-кліматичного і техногенного характеру стають причинами обвалень споруджуваних і вже побудованих будівель і споруд.

Сучасний рівень розвитку техніки характеризується широкою механізацією і автоматизацією виробничих процесів, оснащенням промислових підприємств новітніми верстатами і машинами, а також точної вимірювальної апаратурою для контролю технологічних операцій. Все це підвищує значення динамічного розрахунку як основи заходів по боротьбі з коливаннями проєктованих будівельних конструкцій.

Зменшення коливань конструкцій при роботі машин часто необхідно не тільки для забезпечення довговічності самих конструкцій, а й для ліквідації шкідливої дії коливань на людей, обслуговують виробництво, а також на технологічні операції, нерідко відрізняються високою точністю. Сучасний динамічний розрахунок несучих конструкцій будівель переслідує саме ці цілі. Його першочерговим завданням є оцінка інтенсивності очікуваних коливань ще до зведення споруди та перевірка допустимості цих коливань з точки зору їх впливу на людей, виробничі процеси та будівельні конструкції. Можна вважати, що завдання динамічного розрахунку виконані, якщо очікувані коливання виявляються допустимими з усіх зазначених точок зору. В іншому випадку необхідно зменшити коливання способом, найбільш доцільним і економічним при даних конкретних умовах.

Ця остання завдання вирішується на основі аналізу результатів динамічного розрахунку, що дозволяють виявити причини коливань підвищеної інтенсивності. Ефективність заходів щодо зменшення коливань повинна бути перевірена динамічним розрахунком і в подальшому використана для оцінки ризику надійності будівельного об'єкта в цілому.

Основні цілі динамічного розрахунку конструкції полягають у забезпеченні, по-перше, її несучої здатності і, по-друге, допустимих величин амплітуд її коливань.

У відповідності з цими цілями в завдання динамічного розрахунку конструкції входить визначення внутрішніх динамічних зусиль в її елементах і переміщень, зумовлених динамічними деформаціями її елементів. З огляду цього основного завдання, визначення частот власних коливань конструкції виступає як завдання, їй підпорядкована, проте надзвичайно важлива: не знаючи частот власних коливань, неможливо більш-менш надійно оцінити величини амплітуд внутрішніх зусиль і переміщень. Крім цього, знання частот власних коливань конструкції має й самостійне значення, дозволяючи усвідомити причини виникнення порівняно великих коливань і відповідно з цим вказати ефективні заходи, які ведуть до їх зменшення [2].

Якщо в результаті динамічного розрахунку конструкції з'ясується, що несуча здатність її забезпечена, а розрахункові значення амплітуд коливань конструкції не перевищують допустимих, то мета динамічного розрахунку досягнута. Якщо в результаті динамічного розрахунку виявляється, що несуча здатність конструкції перевершена внаслідок появи в ній динамічних зусиль або що розрахункові значення амплітуд динамічних переміщень перевищують

допустимі значення, тоді виникає завдання вибрати ефективний та економічний спосіб зменшення коливань конструкції.

Із зазначеного випливає, що динамічний розрахунок будівельних конструкцій не тільки не протиставляється проектуванню заходів щодо зменшення коливань, але сам покликаний служити цій меті. Необхідність і доцільність здійснення тих чи інших способів зменшення коливань може бути встановлено в результаті динамічного розрахунку конструкції, а ефективність цих заходів може бути перевірена повторним динамічним розрахунком конструкції. Проте найчастіше до заходів щодо зменшення коливань звертаються зазвичай тоді, коли їх нагальна необхідність виявлялася в процесі тривалої експлуатації споруди та виникнення дефектів в конструктивних елементах.

Стан конструкції, при досягненні якого подальша її експлуатація не є можливою з тих чи інших міркувань, прийнято називати граничним. У даний час розрізняють три основних граничних стани будівельних конструкцій.

Перше - граничний стан характеризується досягненням конструкцією межі її несучої здатності, тобто або межі міцності, або плинності, або межі витривалості, або межі стійкості, в результаті чого конструкція втрачає здатність чинити опір зовнішнім (статичним і динамічним) впливів або отримує такі великі залишкові зміни форми, при яких її подальша експлуатація неможлива.

Друге - граничний стан характеризується такими величинами пружних деформацій або переміщень від статичних і динамічних навантажень, при яких конструкція, що не досягла першого граничного стану, все ж перестає відповідати своєму призначенню, і її експлуатація повинна бути припинена або перервана надалі до виправлення конструкції.

Третє - граничний стан характеризується появою в конструкції тріщин такого розкриття або розвитку, при якому подальша експлуатація конструкції, яка ще не досягла першого граничного стану, стає неможливою внаслідок втрати необхідних від неї спеціальних властивостей.

У ці загальні характеристики граничних станів укладаються, як ми бачимо, і характеристики граничних станів конструкцій, що піддаються впливу, крім статичних, також динамічних навантажень, або, інакше кажучи, хто вагається конструкцій. Однак перший і другий граничні стани коливних конструкцій вимагають більш конкретного визначення. Оскільки межа витривалості менше межі статичної міцності і нерідко може бути менше межі текучості, а втрата динамічної стійкості може наступити раніше втрати статичної стійкості, динамічна несуча здатність (витривалість і динамічна стійкість) може нерідко мати вирішальне значення при визначенні характеру першого граничного стану коливних конструкцій.

Однак питання про те, яка з меж - статичної чи динамічної міцності - є домінуючою при визначенні несучої здатності конструкції, вирішується залежно від співвідношення між величинами статичного й динамічного навантажень, що діють на конструкцію, а також від співвідношення між межами статичної та динамічної міцності матеріалу конструкції.

Конструкції, в яких забезпечена несуча здатність на статичні навантаження, мають зазвичай і достатньою статичною жорсткістю. Випадки, коли статичні деформації конструкції, що не представляють небезпеки відносно її міцності, є причиною порушення нормальних умов виробництва або його припинення, є порівняно рідкісними.

Інакше йде справа з другим граничним станом для коливних конструкцій, яке має бути визначено як такий стан, коли амплітуди коливань (переміщень) конструкції досягають величин, при яких виключається можливість подальшої експлуатації або для виробничого процесу створюються ненормальні умови.

Відомі два види другого граничного стану коливних конструкцій:

граничний стан, при якому коливання конструкції роблять шкідливий вплив на людей;

граничний стан, при якому коливання конструкції роблять шкідливий вплив на виробничий процес.

Друге граничний стан може часто обмежувати можливість експлуатації коливається конструкції, на якій працюють люди або розташовані чутливі до коливань установки, хоча в конструкції ще далеко не досягнуто перших граничний стан.

Вимоги, спрямовані до забезпечення несучої здатності конструкцій, що знаходяться під впливом тільки статичних навантажень, виражаються, як відомо, нерівностями виду [2]

$$M_{cm} \leq M; Q_{cm} \leq Q; N_{cm} \leq N. \} \quad (1)$$

де $M_{ст}, Q_{ст}, N_{ст}$ - відповідно розрахункові вигинає момент, поперечна і нормальна сила в перерізі елемента конструкції від розрахункової статичного навантаження (тобто з урахуванням коефіцієнтів перевантаження); M, Q, N - граничні значення відповідних зусиль, що визначаються за розрахункового опору матеріалу (тобто з урахуванням коефіцієнта однорідності) та з урахуванням коефіцієнтів умов роботи конструкції. При цьому для бетону і кам'яної кладки за розрахункової опору приймається розрахунковий межа міцності, а для сталей і дерева - розрахунковий межа плинності.

Запас міцності забезпечується коефіцієнтами перевантаження, великими одиниці (у лівій частині), і коефіцієнтами однорідності матеріалу і умов роботи конструкції, меншими одиниці (у правій частині).

Якщо ж конструкція буде перебувати під впливом динамічних навантажень, в її елементах будуть діяти одночасно як постійні (статичні), так і змінні (динамічні) внутрішні зусилля. Розрахункові значення динамічних зусиль можна написати в наступному вигляді

$$M_{дин} = M_0 f_1(t); Q_{дин} = Q_0 f_2(t); N_{дин} = N_0 f_3(t). \} \quad (2)$$

де $M_{дин}, Q_{дин}, N_{дин}$ - амплітуди розрахункових динамічних зусиль; $f_1(t), f_2(t), f_3(t)$ - періодичні функції часу t , максимума яких дорівнює ± 1 .

Найбільше загальне зусилля буде представлятися сумою статичного зусилля і максимуму відповідного динамічного зусилля, взятого зі знаком статичного зусилля і рівного за абсолютною величиною його амплітуди.

Очевидно, що для тих, хто вагається конструкції, у всякому разі, необхідне виконання наступних умов

$$M_{cm} + M_0 \leq M; Q_{cm} + Q_0 \leq Q; N_{cm} + Q_0 \leq N. \} \quad (3)$$

Для пластичних матеріалів (сталь) при по дуже великих динамічних навантаженнях межа плинності виявляється менше межі витривалості, і умови (3) будуть достатніми.

Для крихких же матеріалів, а також для пластичних матеріалів при досить великих динамічних навантаженнях несуча здатність буде визначатися витривалістю матеріалу. У такому випадку необхідно є також виконання умов, щоб сумарні внутрішні зусилля в елементах конструкції не перевершували граничних зусиль, певних по розрахунковому межі витривалості.

Ці умови можна записати так

$$M_{cm} + M_0 \leq M_{вын}; Q_{cm} + Q_0 \leq Q_{вын}; N_{cm} + Q_0 \leq N_{вын}. \} \quad (4)$$

Умови (3) і (4), розглянуті спільно, є необхідними і достатніми для забезпечення несучої здатності коливних конструкцій. При цьому саме собою зрозуміло, що при складних напружених станах, яким відповідають комбінації зусиль у лівих частинах нерівностей (3) і (4) (наприклад, комбінації зусиль M і N - для стиснуто-зігнутих елементів), у правих частинах цих нерівностей повинні також стояти відповідні цим комбінаціям граничні зусилля.

Будівельні конструкції, наприклад несучі конструкції будівель, повинні розглядатися як системи з нескінченно великим числом ступенів свободи. Тому конструкція має велику кількість частот власних коливань (теоретично нескінченна). Сукупність частот власних коливань конструкції, розташованих в зростаючій послідовності називають спектром частот власних коливань конструкції. Частоту, що має на цьому спектрі порядковий номер k , називають k -й частотою або частотою i -го тону власних коливань. Першу частоту іноді називають основною частотою або частотою основного тону

$$0 \leq n_1 \leq n_2 \leq n_3 \leq \dots \leq n_n \leq \dots, \quad (5)$$

Для наочності спектр частот корисно зображувати графічно числовою віссю, на якій положення частот власних коливань конструкції відзначені перпендикулярними осі відрізками (рис. 1). При цьому першу частоту зручно приймати за одиницю, інакше кажучи, відкладати на числовій осі відносини n_k/n_1 .

Спектр частот власних коливань (5) є важливою динамічною характеристикою конструкції. Маючи в своєму розпорядженні їм, можна відповісти на питання про те, за яких значеннях частоти динамічного навантаження можливі великі коливання конструкції. Як показано вище, це будуть значення, що збігаються з частотами власних коливань конструкції. Такі значення частот динамічного навантаження називаються критичними для даної конструкції.

Отже, спектр частот власних коливань конструкції є разом з тим спектром критичних значень частоти динамічного навантаження.

Практичний інтерес представляє також взаємне розташування частот власних коливань на спектрі, або структура частотного спектра конструкції. Залежно від виду конструкції структура її частотного спектра може бути різною. З цієї точки зору корисна наступна класифікація несучих конструкцій будівель.

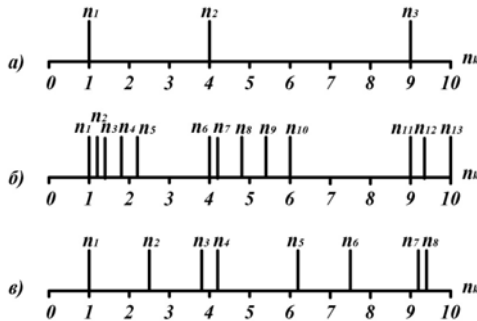


Рис. 1. Спектр частот власних коливань конструкції з нерухомими вузлами а - однопрогонових; б - нерозрізних рівнопрогонових; в - нерозрізних нерівнопрогонових.

Найважливішим наслідком неврахування властивостей конструкції при визначенні динамічного впливу машини за способом динамічного коефіцієнта було ігнорування явища резонансу. Тим часом теорія коливань в застосуванні до інженерної справи, особливо до кораблебудування і машинобудуванню, розглядала резонанс як безумовно небезпечне явище в роботі конструкції на динамічне навантаження.

Відображенням цього погляду і стало вимога про виключення можливості резонансу в спорудах [3]. Згідно цій вимозі, частота власних коливань конструкції n_1 повинна бути нижче або вище частоти динамічного навантаження n_0 не менше ніж на 20%

$$0.8n_1 \leq n_0 \leq 1.2n_1 \quad (6)$$

Запас в 20% призначений з міркувань, що розрахункове значення частоти власних коливань конструкції внаслідок невизначеності вихідних даних може відрізнятись від фактичного значення на $\pm 20\%$. Ця вимога була першим кроком у напрямку обліку динамічних властивостей конструкції при оцінці впливу на неї динамічного навантаження.

Область відносин частот, обмежена межами 0,8 і 1,2, звана резонансною зоною, представляє, таким чином, заборонену зону ($\beta = \infty$).

Задовольнити вимогу виключення можливості резонансу практично буває важко, а часто і неможливо, наприклад, коли мова йде про міжповерхових перекриттях, на яких поряд розташовуються машини з різними числами оборотів. У цьому випадку при зміщенні резонансної зони вліво або вправо (шляхом зменшення або збільшення частоти власних коливань перекриття) з метою виведення з неї числа обертів будь якої однієї машини в цю зону може потрапити число обертів іншої машини.

Ці труднощі поглиблюються внаслідок того, що перекриття володіють не однією частотою власних коливань, з якою слід практично вважатися, а цілим спектром таких частот, розташованих близько один до одного. Якщо n_1 - найнижча, а n_n - найвища із зазначених частот, то вимога виключення можливості резонансу накладення на частоту машини n_0 за аналогією з (6) умова

$$0.8n_1 \leq n_0 \leq 1.2n_n \quad (7)$$

Отже, послідовний розвиток вимоги виключення можливості резонансу машини з перекриттям призвів до заперечення можливості в багатьох випадках його практичного здійснення.

Загальні підстави динамічного розрахунок будівельних конструкцій сформулювати так.

Динамічні навантаження при визначенні амплітуд вимушених коливань конструкції повинні розглядатися незалежно від статичних навантажень.

Резонансні умови роботи конструкції можна розглядати як допустимі, якщо тільки перевірючий розрахунок конструкції на резонанс показує, що в цих умовах задовольняються вимоги щодо несучої здатності і амплітуд коливань конструкції.

Ступінь ймовірності появи резонансу між динамічним навантаженням і конструкцією встановлюється шляхом визначення частот власних коливань конструкцій і порівняння їх з частотами динамічного навантаження.

При цьому має враховуватися важлива обставина, що розрахункове визначення частоти власних коливань конструкції не може дати фактичного значення частоти, але лише нижній і верхній межі деякого діапазону, в якому вона укладена.

Якщо встановлено, що частота динамічного навантаження потрапляє в резонансну зону, конструкція перевіряється на резонанс.

При цьому для забезпечення надійності визначення амплітуд резонансних коливань конструкції застосовується метод їх оцінки.

На закінчення необхідно відмітити, що обґрунтування принципової можливості допущення резонансу в будівельних конструкціях було б неправильно тлумачити як заперечення бажаності його виключення там, де це можливо. Навпаки, у всіх випадках, коли є можливість виключення резонансу, а її здійснення не зустрічає утруднень і виправдовується економічно, слід нею скористатися.

Список літератури

1. Сорокин Е.С. Динамический расчет несущих конструкций зданий / Е.С. Сорокин. М.: Госстройиздат, 1958. - 120 с.
2. Сорокин Е.С. Динамический расчет несущих конструкций зданий / Е.С.Сорокин. – Москва: Госстройиздат, 1956. – 340 с.
3. Справочник инженера проектировщика промсооружений, т. II и IV. Госстройиздат, 1934.

Рукопис подано до редакції 12.01.14

УДК 528.8.042: 622.2

В.Д. СИДОРЕНКО, д-р техн.наук, проф., М.В. ШОЛОХ, канд.техн.наук, доц.,
О.С. НАМІНАТ, М.П. СЕРГЄЄВА, Криворізький національний університет
В.Я. КОВТУН, керівник НВП «УКРКОВІД», головний інженер ДП «УКРГЕОДЕЗМАРК»
ПАТ «КІЇВМЕТРОБУД», корпорація «УКРМЕТРОТУНЕЛЬБУД»,
Ю.Л. СЕРЕБРЯННИЙ, генеральний директор,
Є.П. ВОЛЧКО, канд.техн.наук, землевпорядник НВФ «ДОКА»

СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВОГО ПОЛОЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ГІРНИЧОГО ВІДВОДУ

Розглянуто методику виконання просторового зображення автодороги «Техбаза - кладовище «Західне» методом лазерного 3D-сканування в рішенні задач геоінформаційного забезпечення інфраструктури гірничо-видобувного підприємства.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Застосування сучасних технологій, що базуються на використанні передових програмних розробок і обладнання, вимагає детального вивчення в області дослідження параметрів і їх точності. Насамперед, це пов'язане з тим, що не всі сучасні засоби вимірювання включені в діючі інструкції із проведення маркшейдерських і геодезичних робіт [1]. Розробка технологій польових вимірювань і камеральна обробка даних на об'єктах гірничо-видобувної промисловості залишаються актуальними. Зокрема, маркшейдерські зйомки є трудоємним завданням, що обумовлене високою навантаженістю технологічними елементами виробничих цехів, значною кількістю інженерно-технічних споруд на об'єктах гірничої промисловості, а також необхідністю оперативного проведення маркшейдерського забезпечення гірничих робіт.

Аналіз досліджень та публікацій. Теоретичні основи технології лазерного сканування викладені в роботах [2], де розглядається впровадження технології наземного лазерного сканування в рішенні задач геоінформаційного забезпечення інфраструктури гірничо-видобувного підприємства.

У нормативних документах застосування технології наземного лазерного сканування як методу отримання маркшейдерсько-геодезичних вимірів згадується тільки в [1]. Насправді технологія наземного лазерного сканування може бути використана для рішення багатьох завдань маркшейдерсько-геодезичного забезпечення на об'єктах гірничої промисловості, відповідаючи при цьому по точністним параметрам необхідним нормам і правилам, а по продуктивності перевершуючи раніше існуючі методи маркшейдерської зйомки.

Постановка завдання. Оцінка відповідності точності технології тривимірного наземного лазерного сканування діючим нормативним документам при рішенні завдань маркшейдерсько-

го забезпечення на об'єктах гірничо-видобувної промисловості (при контролі над полотном автодороги «Техбаза - кладовище «Західне»).

Розробка технології топографічної зйомки методом тривимірного наземного лазерного сканування. Камеральне опрацювання польових результатів досліджень для оцінки точності тривимірного лазерного сканування базується на використанні: теорії помилок вимірів, методів математичної статистики і методу найменших квадратів. У якості експериментального методу використовувати аналіз застосування технології тривимірного лазерного сканування на гірничо-видобувному підприємстві.

Викладення матеріалу та результати. Об'єкт виконання робіт знаходиться на території гірничого відводу шахтоуправління по підземному видобуванню руди (на правах шахт) ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Досліджується відрізок полотна автодороги з твердим покриттям (асфальт), довжиною 1080 м, шириною 10-12 м на ділянці «Техбаза - кладовище «Західне» і проходить над виробленим простором шахти «Родіна» ПАТ «Криворіжзалізрудком».

Розміри виробленого простору: довжина в площині пласта -360 м; глибина від 900 до 1140м; потужність по нормалі -75 м, по вертикалі - 100 м. Для виявлення можливих (прогнозованих) вертикальних і планових деформацій полотна автодороги в досліджуваній зоні вибрано метод наземного лазерного 3D-сканування.

Наземне лазерне сканування об'єкту виконувалось приладом «Leica ScanStation 2» s/n 1251517.

За підсумками проведеного рекогнозціювання району робіт прийняті рішення:

Збільшити кількість точок тимчасової знімальної мережі, на яких встановлюються марки-рефлектори, для поліпшення точності «зшивання» окремих сканів в загальну хмарину координованих точок;

На станціях сканування і пунктах полігонометрії встановлювати по дві марки-рефлектори на вертикальній металевій штанзі;

Визначити координати точок тимчасової знімальної мережі: *St3, St4, St9, St10* відносно *St1* автономними супутниковими методами в режимі статички для контролю точності «зшивання» окремих сканів в загальну хмарину координованих точок;

Включити в мережу точок тимчасової знімальної мережі доступні для сканування пункти полігонометрії: *ПП3 – ПП15* для подальшого порівняльного аналізу приростів координат і перевищень за матеріалами сканування і лінійно-кутових спостережень.

Збільшити кількість станцій сканування до 13 для поліпшення густини координованих точок на ділянці автодороги між станціями сканування 11 і 12;

Порівняльний аналіз для виявлення можливих деформацій проводити виключно накладанням TIN-моделей нерегулярної поверхні проїжджої частини ділянки автодороги «Техбаза – кладовище «Західне» з результатів сканувань.

Схема точок тимчасової знімальної мережі на етапі робіт показана на рис. 1.

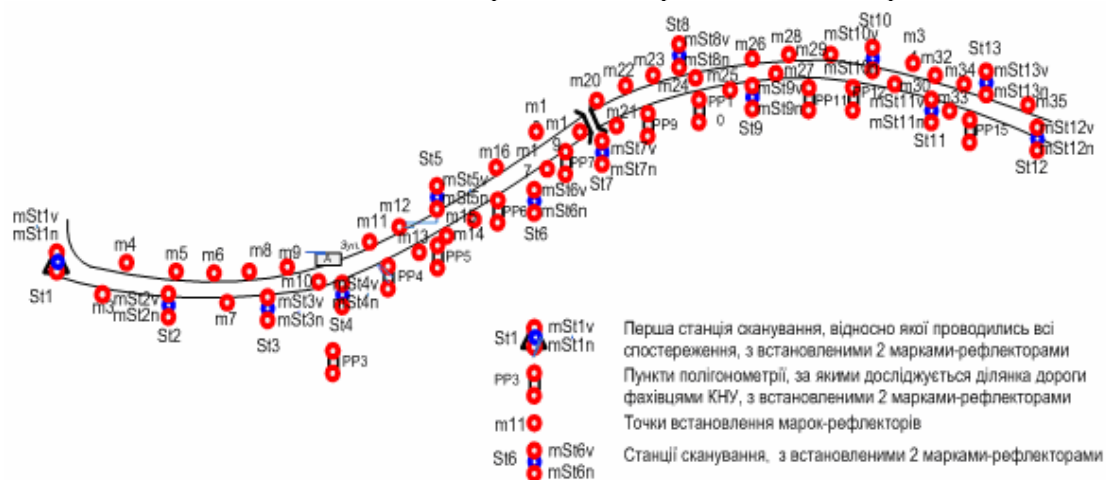


Рис. 1. Схема закладки точок тимчасової знімальної мережі етапу робіт

Рух автомобільного транспорту в районі робіт інтенсивний і потребує додаткових затрат в часі і кількості сканувань окремих секторів дороги «зашумлених» великовантажним транспортом (ТІР).

На етапі робіт координати точок тимчасової знімальної мережі для побудови TIN-моделі нерегулярної поверхні полотна проїжджої частини обстеженої ділянки автодороги визначені в березні 2013 року за результатами наземного 3D-сканування відносно $St1$ ($x=0, y=0, H=0$) з точністю не гірше $\pm 0,011$ м в плані і $\pm 0,010$ м по висоті. Урівнювання і оцінка точності координат в програмному забезпеченні «CycloneSCAN» наведені на рис. 2.

Координати точок тимчасової знімальної мережі етапу робіт: $St3, St4, St9, St10$, в системі координат 1963 р. визначено в березні 2013 року комплектом двохчастотних приймачів GNSS *Leica GX1230GG* і *ATX1230GG* в режимі статики від початкової точки знімальної мережі $St1$. Точність вимірювань відносно початкової точки знімальної мережі $St1$ $\pm 0,010$ м.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector
TargetID: m8	ScanWorld 2 (Leveled)	ScanWorld 4 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.000, 0.000, 0.003) m
TargetID: m12	ScanWorld 4 (Leveled)	ScanWorld 5 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.001, 0.002, 0.002) m
TargetID: m17	ScanWorld 5 (Leveled)	ScanWorld 7 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(-0.002, 0.002, 0.001) m
TargetID: m25	ScanWorld 8 (Leveled)	ScanWorld 9 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.001, 0.001, 0.002) m
TargetID: mst4v	ScanWorld 3 (Leveled)	ScanWorld 5 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(-0.001, -0.003, -0.001) m
TargetID: m34	ScanWorld 11 (Leveled)	ScanWorld 12 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(-0.001, 0.003, -0.001) m
TargetID: m34	ScanWorld 12 (Leveled)	ScanWorld 13 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.000, -0.001, 0.003) m
TargetID: m32	ScanWorld 10 (Leveled)	ScanWorld 11 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.003, 0.001, 0.003) m
TargetID: m2	ScanWorld 1 (Leveled)	ScanWorld 3 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.000, 0.001, -0.003) m
TargetID: mst5v	ScanWorld 5 (Leveled)	ScanWorld 7 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.003, -0.001, 0.000) m
TargetID: m4	ScanWorld 1 (Leveled)	ScanWorld 2 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(-0.002, -0.002, 0.002) m
TargetID: mst11n	ScanWorld 10 (Leveled)	ScanWorld 12 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.000, -0.003, 0.000) m
TargetID: m33	ScanWorld 11 (Leveled)	ScanWorld 12 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.002, 0.002, -0.001) m
TargetID: m11	ScanWorld 4 (Leveled)	ScanWorld 5 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.003, -0.001, -0.002) m
TargetID: m4	ScanWorld 3 (Leveled)	GPS_osnova/za 5 sk(1 2 3 4) (Le...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.003, 0.000, 0.000) m
TargetID: mst10n	ScanWorld 9 (Leveled)	ScanWorld 11 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.000, 0.001, 0.003) m
TargetID: m35	ScanWorld 11 (Leveled)	ScanWorld 13 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(-0.003, 0.001, 0.002) m
TargetID: m10	ScanWorld 9 (Leveled)	ScanWorld 11 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.000, 0.001, 0.003) m
TargetID: m34	ScanWorld 11 (Leveled)	ScanWorld 13 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(-0.001, 0.002, 0.002) m
TargetID: mst4v	ScanWorld 3 (Leveled)	GPS_osnova/za 5 sk(1 2 3 4) (Le...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.003, -0.001, 0.001) m
TargetID: mpp4n	ScanWorld 4 (Leveled)	ScanWorld 5 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.001, 0.003, 0.001) m
TargetID: m29	ScanWorld 9 (Leveled)	ScanWorld 11 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(-0.002, 0.000, 0.003) m
TargetID: m16	ScanWorld 5 (Leveled)	ScanWorld 6 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(-0.003, 0.002, -0.001) m
TargetID: mst2n	ScanWorld 1 (Leveled)	ScanWorld 3 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.000, 0.001, -0.004) m
TargetID: m13	ScanWorld 4 (Leveled)	ScanWorld 5 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.000, -0.002, 0.003) m
TargetID: mst7v	ScanWorld 6 (Leveled)	ScanWorld 8 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.003, 0.001, -0.002) m
TargetID: m35	ScanWorld 12 (Leveled)	ScanWorld 13 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.001, 0.001, 0.004) m
TargetID: mpp6v	ScanWorld 5 (Leveled)	ScanWorld 6 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.004, -0.001, -0.001) m
TargetID: mst10v	ScanWorld 9 (Leveled)	ScanWorld 11 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.002, -0.001, 0.003) m
TargetID: m35	ScanWorld 11 (Leveled)	ScanWorld 12 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(-0.003, 0.000, -0.002) m
TargetID: m29	ScanWorld 9 (Leveled)	ScanWorld 10 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(-0.003, -0.001, 0.002) m
TargetID: mpp11n	ScanWorld 9 (Leveled)	ScanWorld 10 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(-0.002, -0.001, -0.004) m
TargetID: m33	ScanWorld 11 (Leveled)	ScanWorld 13 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.000, 0.001, 0.004) m
TargetID: m30	ScanWorld 10 (Leveled)	ScanWorld 11 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.003, 0.003, 0.001) m

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector
TargetID: m30	ScanWorld 10 (Leveled)	ScanWorld 11 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.003, 0.003, 0.001) m
TargetID: m32	ScanWorld 10 (Leveled)	ScanWorld 12 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.003, 0.003, 0.000) m
TargetID: mst4v	ScanWorld 5 (Leveled)	GPS_osnova/za 5 sk(1 2 3 4) (Le...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.004, 0.001, 0.002) m
TargetID: m31	ScanWorld 10 (Leveled)	ScanWorld 11 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.003, 0.003, 0.001) m
TargetID: m32	ScanWorld 10 (Leveled)	ScanWorld 13 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.000, 0.001, 0.004) m
TargetID: m5	ScanWorld 1 (Leveled)	ScanWorld 2 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.000, 0.002, 0.004) m
TargetID: m11	ScanWorld 3 (Leveled)	ScanWorld 4 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(-0.004, 0.003, 0.001) m
TargetID: mst4n	ScanWorld 3 (Leveled)	GPS_osnova/za 5 sk(1 2 3 4) (Le...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.004, -0.001, -0.001) m
TargetID: mpp11v	ScanWorld 9 (Leveled)	ScanWorld 10 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(-0.001, -0.002, -0.004) m
TargetID: mst11v	ScanWorld 10 (Leveled)	ScanWorld 12 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(-0.001, -0.005, 0.001) m
TargetID: m14	ScanWorld 5 (Leveled)	ScanWorld 6 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(-0.003, 0.002, -0.003) m
TargetID: mpp4v	ScanWorld 4 (Leveled)	ScanWorld 5 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.004, 0.003, 0.001) m
TargetID: mst4n	ScanWorld 3 (Leveled)	ScanWorld 5 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.001, -0.004, -0.003) m
TargetID: mst12n	ScanWorld 11 (Leveled)	ScanWorld 13 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.000, 0.001, 0.005) m
TargetID: mst4n	ScanWorld 5 (Leveled)	GPS_osnova/za 5 sk(1 2 3 4) (Le...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.003, 0.003, 0.002) m
TargetID: m12	ScanWorld 11 (Leveled)	ScanWorld 13 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.000, 0.001, 0.005) m
TargetID: m3	ScanWorld 2 (Leveled)	GPS_osnova/za 5 sk(1 2 3 4) (Le...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(-0.004, -0.002, 0.001) m
TargetID: m8	ScanWorld 2 (Leveled)	ScanWorld 3 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.001, 0.000, 0.005) m
TargetID: mst2v	ScanWorld 1 (Leveled)	ScanWorld 3 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.001, -0.005, 0.001) m
TargetID: m32	ScanWorld 12 (Leveled)	ScanWorld 13 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(-0.003, -0.002, 0.004) m
TargetID: mst12v	ScanWorld 11 (Leveled)	ScanWorld 13 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.000, -0.004, -0.004) m
TargetID: mpp3n	ScanWorld 4 (Leveled)	ScanWorld 5 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(-0.003, 0.004, 0.000) m
TargetID: m32	ScanWorld 11 (Leveled)	ScanWorld 13 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(-0.003, 0.001, 0.004) m
TargetID: mst8v	ScanWorld 7 (Leveled)	ScanWorld 9 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.005, -0.003, -0.001) m
TargetID: m10	ScanWorld 3 (Leveled)	ScanWorld 4 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.001, 0.005, 0.002) m
TargetID: mst10v	ScanWorld 11 (Leveled)	GPS_osnova/za 5 sk(9 10 12) (L...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.005, 0.001, 0.001) m
TargetID: m26	ScanWorld 8 (Leveled)	ScanWorld 9 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.003, -0.001, 0.005) m
TargetID: mst5v	ScanWorld 8 (Leveled)	GPS_osnova/za 5 sk(9 10 12) (L...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.006, -0.001, -0.002) m
TargetID: m33	ScanWorld 12 (Leveled)	ScanWorld 13 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.002, -0.002, 0.005) m
TargetID: mst3n	ScanWorld 8 (Leveled)	GPS_osnova/za 5 sk(9 10 12) (L...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.005, -0.001, -0.002) m
TargetID: m26	ScanWorld 9 (Leveled)	ScanWorld 10 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.003, 0.002, -0.005) m
TargetID: m7	ScanWorld 2 (Leveled)	ScanWorld 3 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.003, 0.003, 0.004) m
TargetID: m9	ScanWorld 8 (Leveled)	GPS_osnova/za 5 sk(9 10 12) (L...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.005, -0.001, -0.003) m
TargetID: m23	ScanWorld 7 (Leveled)	ScanWorld 8 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.005, 0.002, 0.002) m

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Errr	Error Vector
TargetID: mst8v	ScanWorld 7 (Leveled)	ScanWorld 9 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.005, -0.003, -0.001) m
TargetID: m10	ScanWorld 3 (Leveled)	ScanWorld 4 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.001, 0.006, 0.002) m
TargetID: mst10v	ScanWorld 11 (Leveled)	GPS_osnova(za 5 sk(9 10 12)) (L...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.005, 0.001, 0.001) m
TargetID: m26	ScanWorld 8 (Leveled)	ScanWorld 9 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.003, -0.001, 0.005) m
TargetID: mst9v	ScanWorld 8 (Leveled)	GPS_osnova(za 5 sk(9 10 12)) (L...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.006, -0.001, -0.002) m
TargetID: m33	ScanWorld 12 (Leveled)	ScanWorld 13 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.002, -0.002, 0.005) m
TargetID: mst9n	ScanWorld 8 (Leveled)	GPS_osnova(za 5 sk(9 10 12)) (L...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.005, -0.001, -0.002) m
TargetID: m26	ScanWorld 9 (Leveled)	ScanWorld 10 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.003, 0.002, -0.005) m
TargetID: m7	ScanWorld 2 (Leveled)	ScanWorld 3 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.003, 0.003, 0.004) m
TargetID: at9	ScanWorld 8 (Leveled)	GPS_osnova(za 5 sk(9 10 12)) (L...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.005, -0.001, -0.003) m
TargetID: m5	ScanWorld 7 (Leveled)	ScanWorld 3 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.005, 0.002, 0.002) m
TargetID: mst10n	ScanWorld 11 (Leveled)	GPS_osnova(za 5 sk(9 10 12)) (L...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.006, 0.000, 0.000) m
TargetID: at10	ScanWorld 11 (Leveled)	GPS_osnova(za 5 sk(9 10 12)) (L...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.006, 0.000, 0.000) m
TargetID: mst5n	ScanWorld 4 (Leveled)	ScanWorld 5 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.007 m	(0.003, -0.006, 0.002) m
TargetID: m14	ScanWorld 4 (Leveled)	ScanWorld 5 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.007 m	(-0.002, -0.004, 0.005) m
TargetID: mpp3v	ScanWorld 4 (Leveled)	ScanWorld 5 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.007 m	(0.001, -0.001, -0.007) m
TargetID: mst3n	ScanWorld 4 (Leveled)	GPS_osnova(za 5 sk(1 2 3 4)) (Le...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.007 m	(-0.006, -0.001, -0.003) m
TargetID: mst10n	ScanWorld 9 (Leveled)	GPS_osnova(za 5 sk(9 10 12)) (L...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.007 m	(0.006, 0.002, 0.003) m
TargetID: at9	ScanWorld 10 (Leveled)	GPS_osnova(za 5 sk(9 10 12)) (L...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.007 m	(-0.007, -0.001, -0.001) m
TargetID: mst9n	ScanWorld 10 (Leveled)	GPS_osnova(za 5 sk(9 10 12)) (L...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.007 m	(-0.007, -0.001, -0.001) m
TargetID: at10	ScanWorld 9 (Leveled)	ScanWorld 3 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.007 m	(0.006, 0.002, 0.003) m
TargetID: m21	ScanWorld 7 (Leveled)	ScanWorld 3 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.008 m	(-0.005, -0.006, 0.000) m
TargetID: mst5v	ScanWorld 4 (Leveled)	ScanWorld 6 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.008 m	(0.006, -0.005, 0.002) m
TargetID: mst9v	ScanWorld 10 (Leveled)	GPS_osnova(za 5 sk(9 10 12)) (L...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.008 m	(-0.008, -0.001, -0.002) m
TargetID: mst3v	ScanWorld 4 (Leveled)	GPS_osnova(za 5 sk(1 2 3 4)) (Le...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.008 m	(-0.007, 0.002, -0.003) m
TargetID: mst10v	ScanWorld 9 (Leveled)	GPS_osnova(za 5 sk(9 10 12)) (L...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.008 m	(0.008, 0.000, 0.004) m
TargetID: at14	ScanWorld 4 (Leveled)	ScanWorld 6 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.009 m	(-0.005, 0.006, 0.002) m
TargetID: mst11v	ScanWorld 10 (Leveled)	ScanWorld 13 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.010 m	(0.002, -0.003, -0.009) m
TargetID: mst11v	ScanWorld 12 (Leveled)	ScanWorld 13 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.011 m	(0.003, 0.002, -0.010) m
TargetID: mst11n	ScanWorld 12 (Leveled)	ScanWorld 13 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.011 m	(0.004, 0.002, -0.010) m
TargetID: mst11n	ScanWorld 10 (Leveled)	ScanWorld 13 (Leveled)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.011 m	(0.004, -0.002, -0.010) m

Рис. 2. Урівнювання і оцінка точності координат точок знімальної мережі в програмному забезпеченні «CycloneSCAN»

Результати урівнювання і оцінки точності координат точок тимчасової знімальної мережі етапу робіт в програмному забезпеченні «LeicaGeoOffice» наведені на рис. 3.

Таблиця 1

П'ять сканування

Назва і №	Статус	Дата	Y, м	X, м	H, м	Δ, м пункту
M5st1	Control	07/18/2011 07:44:08	4364767.4980	5304676.4470	98.8870	0.0000
st3	Measured	03/22/2013 09:15:54	4364998.4237	5304667.5079	98.1378	0.0003
st4	Measured	03/22/2013 08:22:24	4365090.8787	5304678.3725	96.1711	0.0002
st9	Measured	03/21/2013 17:11:48	4365554.1779	5304887.7312	96.7029	0.0003
st10	Measured	03/21/2013 16:22:34	4365635.2047	5304898.4396	96.4815	0.0005

Урівнювання і оцінка точності координат точок знімальної мережі виконані в програмному забезпеченні «LeicaGeoOffice»

Точність визначення координат точок знімальної мережі відносно базової станції st1 не гірше $\pm 0,010$ м

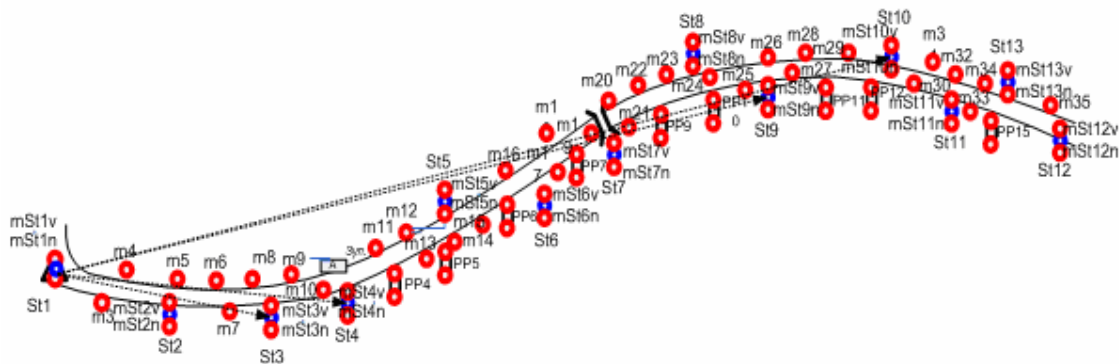


Рис. 3. Урівнювання і оцінка точності координат точок знімальної мережі в програмному забезпеченні «LeicaGeoOffice»

Абрис «зшитих» хмарин координованих точок з сканування проїжджої частини всієї ділянки автодороги на етапі робіт наведений на рис. 4.

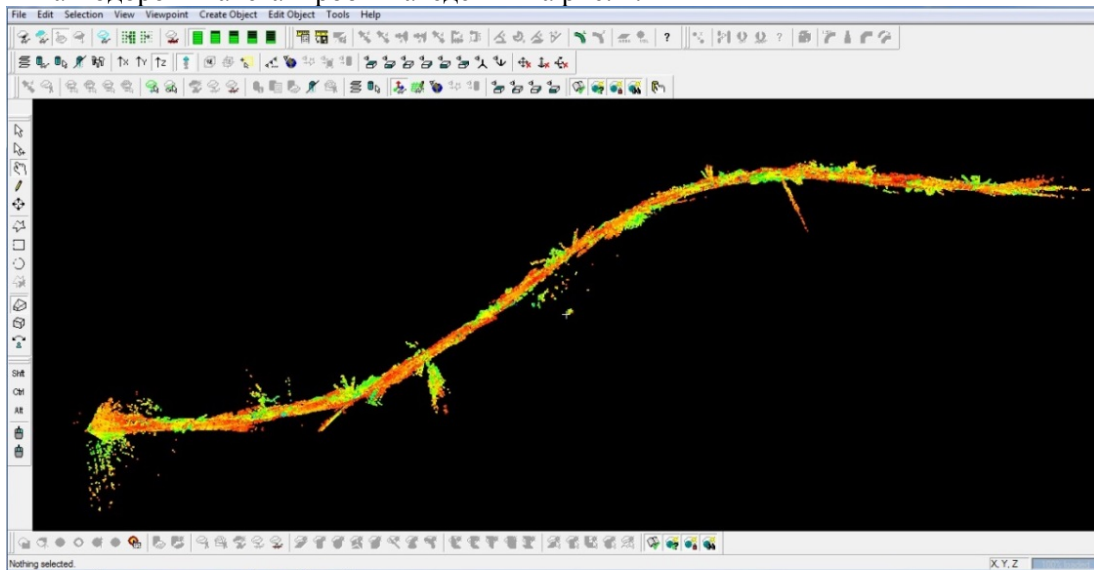


Рис. 4. Абрис хмарини координованих точок на проїжджу частину автодороги

TIN-модель нерегулярної поверхні відсканованої проїжджої частини ділянки автодороги побудована в програмному забезпеченні «CycloneSCAN». Тверде покриття дороги відтворене за фатичними розмірами і положенням в просторі. Часткові ушкодження асфальту, утворені внаслідок інтенсивного руху автотранспорту і не пов'язані з деформаціями полотна дороги, на TIN-моделях не показувались з метою зменшення графічного навантаження і обсягу інформації на магнітних носіях.

Для проведення порівняльного аналізу TIN-моделей нерегулярної поверхні проїжджої частини ділянки автодороги «Техбаза – кладовище «Західне» за результатами сканувань і побудови графіків розбіжностей по осях координат x , y і по висоті вибраний крок між суміжними точками вздовж всієї кривої ділянки автодороги «Техбаза - кладовище «Західне» - 3 м. Точки країв відрізків, за якими проводиться аналіз всієї ділянки автодороги «Техбаза - кладовище «Західне», пізнані на TIN-моделях нерегулярної поверхні проїжджої частини ділянки автодороги «Техбаза - кладовище «Західне» з сканування за елементами подібності і точками тимчасової знімальної мережі. На кожному відрізку ділянки автодороги «Техбаза - кладовище «Західне» аналізу підлягають лінії лівого (північного), правого (південного) країв твердого покриття і осьова лінія автодороги. Це полілінії побудовано й відображено на кожній з TIN-моделей нерегулярної поверхні із сканувань. З врахуванням пролягання досліджуваної ділянки автодороги із заходу на схід відрізки накладених одна на одну TIN-моделей нерегулярної поверхні з п'ятого і четвертого сканувань спроектовані на пряму лінію паралельну вісі y . Початок першого відрізка (0-180 м) віддалений від $st1$ на 14,473 м.

Абрис накладених одна на одну TIN-моделей нерегулярної поверхні проїжджої частини ділянки автодороги «Техбаза - кладовище «Західне» з результатів сканувань наведений на рис. 5.

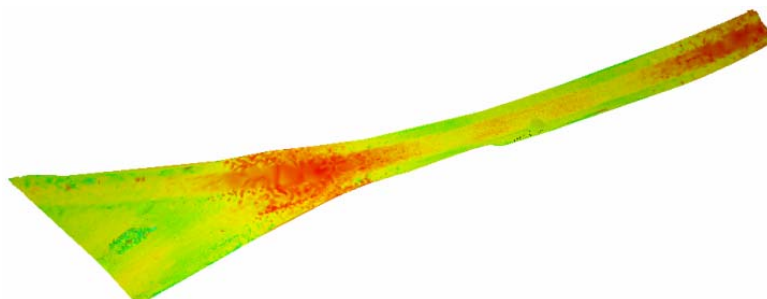


Рис. 5. Абрис накладених TIN-моделей нерегулярної поверхні автодороги «Техбаза – кладовище «Західне».

Графіки розбіжностей TIN-моделей нерегулярної поверхні проїжджої частини ділянки автодороги «Техбаза - кладовище «Західне» по осях координат x , y і по висоті H з результатів сканувань наведені на рис. 8.

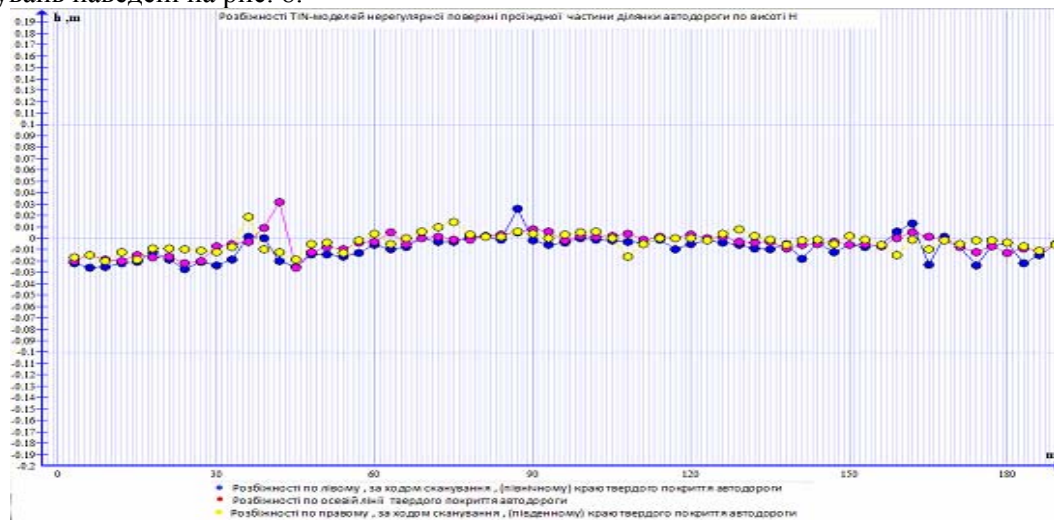


Рис. 8. Графіки розбіжностей TIN-моделей нерегулярної поверхні проїжджої частини ділянки автодороги «Техбаза – кладовище «Західне» по вісях координат x , y і по висоті H з результатів сканувань

Висновки та напрямок подальших досліджень. Метод наземного лазерного 3D-сканування за точністю кінцевих результатів і вартістю технологічного процесу доступний у застосуванні для досліджень (визначення площ, об’ємів, деформацій, конфігурацій і точних розмірів) не лише лінійних об’єктів шляхів сполучення, а і кар’єрів, підземних виробок будь-якої конфігурації і призначення.

Таким чином, наземні лазерні сканери є новим вимірювальним засобом, що дозволяють зробити реальним і повсякденним одержання тривимірних моделей різного призначення.

Усе це дозволяє говорити про те, що найближчим часом технологія наземного лазерного сканування якщо не повністю витисне, то, принаймні, займе провідне положення в області польового збору метричної інформації з метою тривимірного моделювання об’єктів і територій.

Список літератури

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ. М.:Недра, 1987,-240с.
2. GS100 3D laser scanner [Електронний ресурс]: сайт Mensi.- Режим доступу: <http://mensi.com/Website2002/Specs/Spec G100.pdf>.

Рукопис подано до редакції 20.03.14

УДК 624.31.2

В.А. СТРИХА, канд. техн. наук, доц., О.С. МОРОЗ, канд. сільгосп. наук, доц.,
 А.О. МОРОЗ, студент, Національний університет водного господарства та природокористування» м. Рівне
 С.О. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., В.І. АСТАХОВ, канд. техн. наук, доц.,
 Криворізький національний університет

ЕКОЛОГО-УРБАНІСТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ТОРФОДЕРНОВИХ КИЛИМІВ

Виконано аналіз використання існуючих газонів для створення зелених зон міст і селищ. Аналіз типів і видів рослин а також їхньої біології пояснює максимальну відповідність деяких з них міським умовам. Наведено переваги й недоліки газонів різних типів. Визначено сировинно-ресурсні передумови вирішення проблеми. Запропоновано для облаштування міських територій використовувати торфодернові килими. Обґрунтовано доцільність та ефективність запропонованих рішень.

Ключові слова: міське екологічне середовище; зелена зона; газон; торфодерновий килим.

Вступ. В 1955 р. Уряд УРСР затвердив план створення зелених зон міст і селищ республіки (на 1956-1966 рр.) [1]. За цим планом в 360 містах і 780 селищах міського типу України було створено понад 0,5 млн. га. міських і приміських зелених насаджень. За цей період площа зелених насаджень в межах міської забудови збільшилась майже в 2,5 рази, зелених насаджень загального користування – в 3 рази. Так розпочалась в Україні екологізація міського середовища.

Багатофункціональність озеленення робить його невід'ємним і необхідним елементом міського середовища. Неоднорідність умов існування і контроль зі сторони людини зумовлює неоднорідність складу і нерівномірність розміщення рослинності в місті. Зелені насадження на території міст займають від 1 до 98% [2-5]. Саме рослинність робить урбоекосистему повноцінною, наявність зелених насаджень в місті є умовою виживання населення [3-6].

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Як екологічний, так і естетичний стан міст України є незадовільним, а в промислових регіонах (Кривбас, Донбас) – катастрофічним. Разом з тим, крім основних функцій, які виконує рослинність в екосистемах (виробництво первинної продукції в результаті фотосинтезу, формування життєвого простору), в урбоекосистемі рослинні насадження застосовують для: підвищення вологості та охолодження повітря за рахунок збільшення поверхні транспірації; виділення в атмосферу кисню; підвищення в атмосфері концентрації негативно-заряджених іонів, які сприятливо впливають на здоров'я людини; виділення біологічно активних речовин, які перешкоджають розвитку патогенних агентів в атмосфері; поглинання забруднюючих атмосферу газів і пилу; зниження рівня шуму; знезараження осадів і зменшення поверхневого стоку; у водних і болотних екосистемах – формування умов аеробного розкладання забруднюючих воду речовин, поглинання біогенних елементів; покращення структури, властивостей та родючості ґрунтів; затримання снігового покриву і талих вод; закріплення сипучих пісків, зменшення ерозії; стабілізація вітрового режиму; покращення візуальних властивостей урбанізованих ландшафтів – естетичне значення.

За цих обставин проблемність необхідного озеленення міст полягає в забезпеченні технологічно, а головне - економічно ефективних рішень, адже існуючі у світовій практиці методи є надмірно витратними, враховуючи обмеженість бюджетів більшості наших міст. І тут, по переконанню авторів, найбільшій увазі заслуговує торф – як субстрат для широкомасштабного промислового продукування рулонних трансплантатних килимів.

В Україні торф'яники займають площу понад 10 000 км² і більше ніж половина з них розташована в Поліссі на півночі країни, де вони займають близько 6,4% території: Львівська область, Городецький район, смт. Великий Любін; Рівненська область, Дубровицький район. Інша велика територія торф'яних покладів розташована в долині Дніпра на східній частині річки. Видобуток і виробництво торфу за часів Радянського Союзу сягали 7.5 млн. т. в 1970 р.

Тоді 73% видобутого торфу використовувалося в сільському господарстві і 27% йшло на енергетичні потреби. За останні роки видобуток енергетичного торфу впав і складає менше мільйона тон на рік; більшість його брикетується і йде на побутовий обігрів.

Саме тому питання облаштування прибудинкових територій торфодерновими килимами, на думку авторів, є вельми актуальним для умов будь-якого міста нашої держави [7].

Аналіз досліджень і публікацій. Рослинам властивий тропізм - ростовий рух органів (стебла, коренів, листя), зумовлений направленою дією будь-якого подразника – світла (фототропізм), температури (термотропізм), води (гідротропізм), кисню (аerotропізм) та хімічних речовин (хемотропізм) [8-10].

Ця властивість рослин була використана для вирощування дернових килимів на осушених торфових родовищах, для яких характерна висока кислотність. В тонкий розпушений поверхневий шар покладу вносять вапно для нейтралізації кислотності торфу, мінеральні добрива, тобто створюють умови для розвитку трав лише в тонкому шарі, і засівають насіння трав. Рослини розвиваються лише в цьому окультуреному шарі, оскільки, через високу кислотність, бідність на мінеральні добрива і слабку аерацію нижніх шарів покладу, корені рослин не проникають в ці шари, а переплітаються в окультуреному шарі, утворюючи міцний еластичний дерен, майже не зв'язаний з нижніми шарами покладу, – торфодернові килими. Розрізані на стрічки, торфодернові килими легко відокремлюються від нижніх шарів торфового покладу спеціально розробленими машинами. Стрічки торфодернових килимів - достатньо міцні, тому їх можна згортати в рулони і транспортувати на об'єкти озеленення, де їх розгортають, уклада-

ють на попередньо вирівняний і зволожений ґрунт і прикочують. Через 5-6 діб коренева система трав приживається [11-13].

В містобудівельному ландшафтному дизайні здебільшого практикують типові газони.

Партерні газони є найбільш декоративними. Вимагають дуже важкого догляду (косити такий газон слід, як мінімум, раз на два-три дні або навіть щодобово) і мають тільки естетичне призначення. Не виносять навантажень: сліди, що залишаються на траві, порушують оксамитовий покрив. Складаються, як правило, з одного виду трави (овсяниці червоної або мятлика вузьколистого). Вони утворюють низький, густий і рівномірний травостій одноколірного яскраво-зеленого забарвлення. Висаджуються перед вікнами будинків, в парадній частині садів або слугують фоном для квіткових композицій, дерев, водойм, скульптур і фонтанів [13].

Звичайні (або садово-паркові) газони поєднують в собі високі декоративні якості та стійкість (допустиме навантаження - приблизно 200 кроків на 1 м² на добу за умови, що не втоптуть постійних стежок). Вони - не так ідеально м'які і бархатисті, як партерні, але й не так жорсткі, як спортивні. Це найбільш поширений тип газону. Догляд за ними - регулярний, але менш трудомісткий, ніж за партерними.

Самий ж невибагливий газон - луговий. Тут є припустимими бур'яни і неоднорідність кольору трави. Косити такі газони можна на висоту 7-10 і навіть 15 см.

По складу використовуваних трав перераховані групи майже не розрізняються. Правда, є рідкісні винятки. Так, в партерному газоні не можна використовувати овсяницю овечу, а в інших - можна. Головне ж розходження між групами - рівень догляду, він може бути високим (партерний газон) або низьким (луговий).

Існує ще ціла група нетрадиційних газонів, використовуваних в декоративних цілях. Перш за все, це мавританський газон. Він зазвичай складається з суміші однієї частини чагарничкових багаторічних злаків і двох частин квітучих однорічників (мак, волошка, гіпсофіла, іберис, календула, дзвіночок, льон, немезія, нагідки, ешшольція) - їх досить посіяти один раз, і в наступні роки квіти будуть розмножуватися самосівом. Такий газон часто іменують квітучим лугом. Він вимагає однієї косовиці на рік - після осипання насіння. Необхідності в створенні дернового шару немає - квітучим рослинам потрібно розвіяти дозріле насіння. На жаль, після відцвітання трав мавританський газон утрачає свою декоративність і стає схожий на дикий лужок.

Нетрадиційними є і різні незлакові газони, засаджені чебрецем, ромашкою, дерев'ям, моховинкою, веронікою, конюшиною, серед яких вузьколисті злаки стають небажаними бур'янами.

Досить широким є вибір ґрунтопокривних рослин. Вони можуть стати хорошим виходом з положення при облаштуванні тінювих ділянок, де виростання злакових трав і догляд за ними ускладнюються. В даному випадку тут необхідно використовувати живучку повзучу, декоративні форми яглицю, будру плющевидну, копитняк європейський, барвінок, зеленчук, горянку.

Спортивний газон влаштовують на майданчиках для гри в футбол, бадмінтон, волейбол, гольф, на території для дитячих ігор або приготування шашлику, на садових доріжках або на майданчику для паркування автомобіля. У його складі переважають витривалі жорсткі трави, що утворюють потужну дернину (райграс пасовищний та ін.) Такі газони є стійкими до втоптування, травмобезпечні і при цьому можуть бути ще й декоративними (наприклад, якщо створюються з тонконога лугового). Залежно від конкретного виду спорту догляд за газоном буде мати свої індивідуальні особливості. Наприклад, майданчики для гольфу, де вирізані лунки (гріни), потрібно стригти щодня на висоту всього 3 мм.

Аналіз опублікованих досліджень свідчить також про досить глибоке обґрунтування наукових методів і критеріїв щодо визначення ефективності біологічних складових екоурбосистем [14-16].

Викладення матеріалу та результати. В багатьох країнах світу займаються спеціальним вирощуванням дерну, як на мінеральній (трав'яні килими), так і на торфовій основі (торфодернові килими). Торфодернові килими – це покриття газонного типу, які формуються з переплетення мичкуватих корневих систем та надземної частини трав'янистих рослин на торфовій основі [17]. Їх використовують для створення декоративних, спортивних та інших типів газонів. Крім декоративного та естетичного, дернові покриття мають велике господарське значення, особливо для укріплення земляних схилів автомобільних доріг та залізниць, при будівництві гідромеліоративних споруд, закріпленні берегів річок та водоймищ.

Враховуючи торф'яні запаси, розташування і рівень освоєння родовищ торфу в Україні та доступність сировини, разом з тим - катастрофічний екологічний стан промислових регіонів, автори даного дослідження обґрунтували доцільність та економічну ефективність застосування саме торфодернових килимів у міському ландшафтному дизайні, що, окрім чисто декоративних функцій, значною мірою позитивно позначиться на екологічній ситуації міст.

Довгий час газони використовувалися виключно в декоративних цілях - як гарний зелений фон для квітників. Сьогодні ж в районах з екологічними негараздами їх усе частіше створюють, виходячи здебільшого з практичних оздоровчих міркувань. Адже газони - чудові джерела кисню. Відомо, що молоді листя і пагони виробляють цього необхідного людині газу більше, ніж дорослі. А на газоні відбувається постійна зміна рослин, вони - завжди молоді й активні. Крім цього, зелені килими, як їх часто називають, нейтралізують присутні в повітрі забруднюючі речовини - кіптява, пил, вуглекислий газ. Вбираючи воду, газон сприяє природній фільтрації опадів: токсичні сполуки, наприклад, нітрати й фосфати (газонний "хліб"), перетворюються на нетоксичні. У жаркий день температура повітря на рівні трав'яного покриття є на 4-5 °С нижчою температури на рівні відкритого ґрунту. Газони зменшують вітрову й водну ерозію ґрунту. Це - безпечне покриття для дитячих ігор і спортивних занять. Нарешті, газон здатний приглушати шуми і пом'якшувати сліпуче сонячне світло. Багато ландшафтних компаній включають в перелік пропонованих послуг настилення рулонних газонів. Мова йде про готову дернину з газонних трав, яка дозволяє всього за кілька годин перетворити непоказну голу ділянку землі в гарний зелений майданчик. Хоча "рулонні" - слово не зовсім правильне, воно описує лише спосіб транспортування: дернина (або дерен - так називають верхній шар ґрунту, густо зарослий злаковими рослинами, коріння яких щільно сплелися між собою) дійсно скачується в рулони, а на місці розкочується, як полотно тканини. Правильніше називати такий газон готовим, зрілим або багаторічним - до моменту пересадки його вирощують в розпліднику протягом, як мінімум, 18 місяців. В англійській мові існує спеціальний термін - sod [18].

Як довели виконані авторами дослідження, найкращим субстратом для покриттів газонів є торф. Торф - корисна копалина багатоцільового призначення, і це вимагає диференційованого підходу до його збагачення залежно від напрямку подальшого використання. Відповідно й складові частини торфу - гетерогенної полідисперсної системи - дуже різною мірою можуть відноситись до "зайвих" чи "шкідливих" елементів, яких необхідно позбавитись в процесі збагачення. Наприклад, використання торфу як основи для виготовлення субстратів для вирощування рослин здебільшого передбачає наявність залишкової вологості торфу не нижче 55-60% [19-21].

Для озеленення міських територій пропонується наступний набір рулонних трав'яних коврових покриттів на торф'яному субстраті.

Партерний газон. Це газон вищої якості. Покритий щільною смарагдовою зеленню, партерний газон виконує декоративну функцію, його зазвичай влаштовують біля будинків. Особливості: при гарному догляді має рівний, насичений бархатистий покрив; не виносить витоптування; вимагає регулярного і частого догляду за ним. Насіння для партерного газону коштують дорожче, ніж для звичайного.

Газон звичайний. Якщо газон потрібен не тільки для того, щоб їм милуватися, але і для того, щоб по ньому можна було ходити, то слід влаштувати звичайний газон. Особливості: стійкий до витоптування; на ньому можуть грати діти; не зіпсується, якщо за ним не дуже вміло доглядати або на час залишити його без догляду. При неправильній стрижці трава на звичайному газоні буде виглядати гірше. На звичайному газоні не так помітні дикорослі трави, які безнадійно псують вигляд партерного газону. Насіння злаків для звичайного газону коштують набагато дешевше, а проростають легше і швидше. Газон не виглядає бархатистим, як партерний, але це можна частково виправити, якщо користуватися гарною газонокосаркою.

Луговий газон - ділянка, повністю або переважно заросла травами з відносно жорсткими стеблами. Різновид лугового газону - конюшиний газон. Якщо розташувати такий газон у відповідному місці, то виглядає він природніше, а іноді й більш привабливо, ніж короткострижений газон. Особливості: його не потрібно раз на тиждень стригти; на лужку цвітуть дикорослі рослини, які ніхто спеціально не висіває; утворюючи його квітучі рослини - медоноси. Для лугового газону можна відвести віддалену частину ділянки - найкраще місце для такого газону з дикорослими травами.

Мавританський газон - яскрава галявина з низькорослих трав і квітучих усе літо польових квітів. Для нього придатні такі види рослин, як мак, волошка, гіпсофіл, нагідки, льон, незабудка лісова, піретрум рожевий, конюшина червона. Мавританські газони доречні у місцях, наближених до природного ландшафту. Їх можна формувати одно- і багатоколірними. Можна використовувати, як однорічні, так і багаторічні квіти, що розрізняються за термінами цвітіння, щоб домогтися тривалого декоративного ефекту. Мавританський газон приваблює бджіл і метеликів, що надає йому особливої естетичної цінності.

Висновки. Таким чином, створення зелених зон міст і селищ за рахунок облаштування прибудинкових територій торфодерновими килимами є актуальним і дозволить за короткий термін без значних витрат вирішити проблему суттєвого покращення урбоекологічної ситуації. Особливого значення пропонуване рішення набуває в промислових осередках країни.

Список літератури

1. **Галецький Л.С.** Стратегія і проблеми реалізації природних ресурсів кольорового каменю України/ Л. С. Галецький // Бюлетень першої міжнародної конференції. – 2001. – С. 53–54.
2. **Бакка Н.Т.** Основные направления развития камнедобычи и камнеобработки Украины / Н. Т. Бакка // Горный журнал. – 2004.– № 1.– С. 35–37.
3. **В.А. Горохов.** Городское зеленое строительство. – М.: Стройиздат, - 2008. – 416с. ISBN: 5274007376.
4. **Луцк Л.Б.** Городское зеленое строительство. – М.: Стройиздат, - 1974. - 287 с.
5. **Панкратова Н.** Строительство загородного дома. – М.: АСТ-Астрель, - 2004. – 127 с.
6. **Starr C.** Biology. The Unity and Diversity of Life (12th ed.). Ed.: Cengage Learning, 2009. -1041 p. ISBN: 978-0-495-55792-0
7. Справочник по торфу /Под ред. **А. В. Лазарева и С. С. Корчунова.** - М.: -1982. - 760 с.
8. **David Sadava.** Life: The Science of Biology, 10th edition: W.H. Freeman, - 2012. – 108 p.
9. **James Morris.** Biology: How Life Works. Worth Publishers, - 2012. – 222 p.
10. **Judson Knight, Neil Schlager.** Science of Everyday Things: Real-Life Earth Sciences. Ed.: Gale, - 2002. – 400 p.
11. **Стріха В.А.** Обґрунтування і розробка пошарового валкування фрезерного торфу. **Дисертація канд. техн. наук.** – Рівне: - 2006. – 173 с.
12. **Т.С. Боднарюк.** Використання торфу та торфових родовищ. Навчальний посібник. Рівне 2007р.
13. <http://www.eco-usadba.ru>, <http://www.complexdoc.ru>.
14. **Yasuhiro Takeuchi, Yoh Iwasa, Kazunori Sato.** Mathematics for Life Science and Medicine (Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering). Ed.: Springer. ISBN:354034425X.
15. **Charlotte Jhonson.** Biology of soil science. Ed.: Oxford Book Company, - 2009. – 308 p.
16. **Hoefnagels M.** Biology. Concepts and Investigations (2nd ed.). Ed.: McGraw-Hill. – 2012. – 915 p. ISBN: 978-0-07-340347-2.
17. **Кучерявий В.П.** Фітомеліорація: Навч. посібник. — Львів: Світ, 2003. — 540 с.
18. **Кучерявий В.П.** Озеленення населених місць. — Львів: Світ, 2005. — 456 с.
19. **William K Purves, David Sadava, Craig Heller, Gordon H Orians.** Life: The Science of Biology. 7th Ed.: Sinauer Associates and W. H. Freeman, - 2003.
20. **Russell P.** Biology. The Dynamic Science (2nd ed.) Ed.: Cengage Learning. – 2011. – 1456 p. ISBN: 978-0-538-74124-8.
21. **Жуков С.О.** Енергетичні передумови та технологічні проблеми видобутку торфу. Монографія. - Кривой Рог: Издательский дом, ISBN 978-966-7388-70-9. - 2002. – 224 с.
Рукопис подано до редакції 20.03.14

УДК 624.016

С.А. ХАРЧЕНКО, канд. техн. наук, С.А. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф.,
А.В. ПАРШИН, канд. техн. наук, А.А. ПАЛИВОДА, магистр,
Криворожский национальный университет

ГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРОЧНЕНИЯ БЕТОННОГО ЯДРА ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Приведены результаты экспериментов по упрочнению бетонного ядра в трубобетонных элементах. Представлена их графическая интерпретация, которая упрощает визуализацию установленных исследованиями зависимостей. Описана технология и последовательность изготовления образцов. Обоснованы параметры эксперимента. Объясняются причины изменения в образцах их напряженного состояния. На основании выполненных экспериментов сформулированы выводы о значении результатов исследования.

Ключевые слова: трубобетонные элементы, бетонное ядро, упрочнение ядра, армирование, центрифугирование.

Проблема и ее связь с научной и практической задачей. В настоящее время в строительстве все большую актуальность приобретают относительно дешевые, но эффективные элементы из трубобетона [1-6]. В то же время аналитические методы строительного конструирования требуют совершенствования, особенно при разработке новых решений [7-11]. Представленные в данной статье экспериментальные результаты учли основные варианты упрочнения бетонного ядра трубобетонных элементов (рис. 1), что позволило наглядно трактовать их графически.

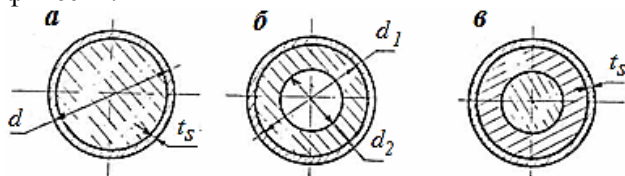


Рис. 1. Поперечные сечения образцов: *a* – со сплошным ядром; *b* – из центрифугированного трубобетона; *в* – с полостью, заполненной бетоном

Анализ исследований и публикаций. Исследованием коэффициента повышения прочности бетона за счет центрифугирования занимались много ученых, у которых он определяется в пределах: 1,3-1,5 [12]; 1,37 [13]; 1,2-1,8 [14]; 1,7 [15]; 1,5-2,0 [16]; 1,7 [17]; 1,5; Т.М [18, 19]; 1,5 [20]. Но такой значительный разброс не всегда приемлем в практическом конструировании.

Постановка задачи исследования определилась именно отмеченным разбросом, в связи с чем эксперименты были направлены на уточнение этого коэффициента для более достоверной и конкретной оценки характеристик трубобетонных элементов с различно выполненным ядром.

Изложение материала и результаты. Упрочнение бетонного ядра прессованием осуществлялось с помощью специального пуансона. При расходе цемента 325 кг/м³ оптимальная по прочности интенсивность прессования - 15 МПа, поэтому для труб с внутренним диаметром $d = 97,8$ мм с помощью пресса на пуансон передавалась прессующая нагрузка 112 кН.

Прессование производилось на четырех уровнях по высоте образца $0,25h$; $0,5h$; $0,75h$; h , на которых (кроме h) фиксировались продольные и поперечные деформации оболочки электротензорезисторами.

В первой группе опытов были исследованы трубобетонные элементы с ядром из высокопрочного бетона, с максимальным классом по прочности 60 МПа (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика опытных образцов со сплошным ядром

Шифр	d	t_s	R_b	σ_y	Шифр	d	t_s	Армирование		R_b	σ_y
								вид	%		
ТБ-1-2	104	2,0	26,5	290	ТБ-3-4	108	4,0	-	-	77,8	290
ТБ-2-2	105	2,0	26,5	290	армированное ядро						
ТБ-3-2	108	4,0	26,5	290	ТБ-Ф	102	2,1	фибры	1,00	22,2	295
ТБ-4-2	219	11,0	26,5	290	ТБ-С	102	2,1	сетки	0,32	20,2	295
ТБ-5-2	325	10,0	-	26,5	прессованное ядро, в том числе армированное -						
ТБ-6-3	102,3	2,3	34,0	310	ТБП	102	2,1	-	-	34,6	295
ТБ-1-4	104	2,0	77,8	290	ТБ-Ф	102	2,1	фибры	1,00	39,3	295
ТБ-2-4	105	2,5	77,8	290	ТБ-С	102	2,1	сетки	0,32	37,4	295

Было испытано три серии элементов, при этом варьировалась толщина стенки трубы от 2,0 до 4,0 мм. Для сравнения были исследованы такие же элементы, но с ядром из бетона класса 25 и 30 МПа, при этом также варьировалась толщина стенки трубы, но в более широком диапазоне – 2,0-11,0 мм.

Во вторую группу опытов были включены элементы с ядром, упрочненным дисперсным армированием стальными фибрами (фибробетон) и сетками в плоскостях, перпендикулярных нагрузке, а также с ядром из прессованного бетона, в том числе армированного фибрами и сетками (табл. 1).

В третьей группе исследованы образцы с ядром из бетона, упрочненного центрифугированием. Так как при центрифугировании в бетоне образуется полость, ядро дополнительно усиливалось заполнением полости обычным бетоном, фибробетоном и бетоном, армированным сетками (табл. 2).

Для изготовления опытных образцов были приняты бетоны класса по прочности В15, 25, 27, 30, 60 МПа. Данные о составах бетона приведены в табл. 3. Бетон класса по прочности 60 МПа был получен на шлакощелочном вяжущем, приготовленном из молотого граншлака.

Таблица 2

Характеристика опытных образцов с составным ядром

Шифр	d	t_s	d_1	d_2	R_b	R_{b1}	Шифр	d	t_s	d_1	d_2	R_b	R_{b1}	Армирование
ЦТ-22-25	315	3	309	229	16	24	ЦТФ-22-25	315	3	309	229	16	24	фибры
ЦТ-22-15	315	3	309	249	16	24	ЦТС-22-15	315	3	309	249	16	24	сетки
ЦТ-21-35	315	3	311	211	15	22	ЦТС-21-35	315	2	311	211	15	22	сетки
ЦТ-21-36	315	2	311	205	20	30	ЦТБ-21-36	315	2	311	205	20	30	-
ЦТ-П-38	225	2	221	121	28	42	ЦТБ-11-38	225	2	221	121	28	42	-
ЦТ-12-27	225	3	219	139	25	38	ЦТС-12-27	225	3	219	139	25	38	сетки

Примечание: d - внешний диаметр трубы; t_s - толщина стенки трубы; R_b - призмная прочность бетона, МПа; R_{b1} - призмная прочность центрифугированного бетона, МПа; σ_y - предел текучести трубы МПа; d_1 - диаметр бетонного ядра, мм; d_2 - диаметр полости бетонного ядра, мм

Таблица 3

Составы бетона опытных образцов

Материалы	Ед. изм.	Номера составов бетона								4			
		1	2	3	4	5	6	7	8				
Цемент	кг	325	340	470	-	430	460					Пульпа, кг	650
Песок	кг	670	560	584	-	550	560					Шлак, кг	550
Щебень	кг	1273	1300	1190	1280	1200	1220					Жидкое стекло ($\gamma=1,3$)	170
Вода	л	179	180	200	-	170	180					Стеклошлаковое	
В/ц	-	0,55	0,53	0,43	-	0,40	0,40	0,38	0,36			отношение $n=c\gamma/m$	0,4

В качестве вяжущего (кроме состава 4) применялся шлакопортландцемент активностью 300 (состав I) и портландцемент Каменец-Подольского цемзавода активностью 500 и 600.

Для изготовления трубобетонных образцов применялись электросварные трубы из стали С 38/23.

Для фибробетона были применены стальные фибры диаметром 0,5 мм и длиной 50 мм из низкоуглеродистой проволоки. Для армирования бетона применялась сетка из проволоки диаметром 1 мм с размером ячейки 10 мм. Значения призмной прочности бетонов приведены в табл. 4, из которой видно, что соотношение между призмной и кубиковой прочностью в среднем составляет 0,73. Для шлакощелочного высокопрочного бетона (состав 4) это значение составило 0,96, что объясняется хрупким разрушением. Значения прочности центрифугированного бетона, табл. 5.

Таблица 4

Прочностные и деформативные характеристики бетонов

Состав	R , МПа	R_b , МПа	$E_b \times 10^{-4}$, МПа	Состав	R , МПа	R_b , МПа	$E_b \times 10^{-4}$, МПа	Состав	R , МПа	R_b , МПа	$E_b \times 10^{-4}$, МПа
1	24,6	18,6	2,90	4	80,7	77,8	3,64	7	34,9	25,2	2,80
2	33,4	26,5	2,86	5	20,8	15,0	2,10	8	40,0	28,0	2,90
3	41,7	34,0	3,54	6	31,2	21,0	2,50				

Таблица 5

Прочность центрифугированного бетона

Шифр	d_{b1}	d_{b2}	N	R_{b1}	N_{b1}	K	$E_b \times 10^{-3}$	$E_{b1} \times 10^{-3}$	K_e	Шифр	d_{b1}	d_{b2}	N	R_{b1}	N_{b1}	K	$E_b \times 10^{-3}$	$E_{b1} \times 10^{-3}$	K_e
Ц-22-25	309	229	5	24,0	809	1,60	21,0	25,0	1,19	Ц-21-36	311	205	6	29,9	1286	1,42	25,2	27,0	1,07
Ц-22-15	309	249	5	24,3	638	1,62	21,0	25,0	1,19	Ц-11-38	221	121	7	41,7	П9	1,49	29,0	35,0	1,21
Ц-21-35	311	211	5	22,3	916	1,48	21,0	25,0	1,19	Ц-12-27	219	139	8	37,1	835	1,48	28,2	35,5	1,15

Примечание: в каждой серии испытано по три образца-близнеца; d_{b1} - внешний диаметр, мм; d_{b2} - диаметр полости бетонного ядра, мм; N - номер состава бетона; R_{b1} - прочность центрифугированного бетона, МПа; N_{b1} - несущая способность, кН; K - коэффициент центрифугирования бетона; E_b, E_{b1} - соответственно, модуль упругости бетона обычного и центрифугированного; K_e - коэффициент изменения модуля

Из таблицы видно, что коэффициент повышения прочности бетона за счет центрифугирования изменяется в пределах 1,42-1,62, в среднем - 1,52, что согласуется с результатами других авторов.

На рис. 2а приведены данные об изменении продольных и поперечных деформаций от нагрузки бетонных призм из составов 5-8; на рис. 2б - тех же составов, подвергнутых центрифугированию.

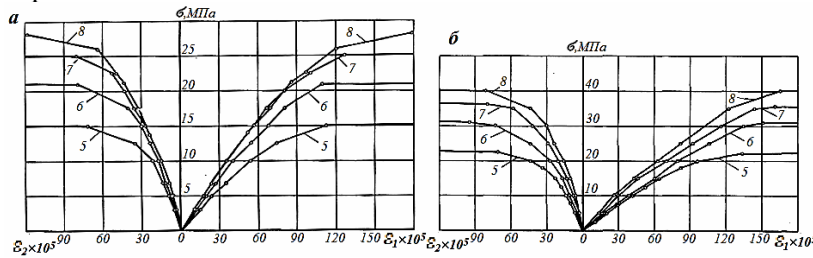


Рис. 2. Зависимость продольных и поперечных деформаций обычного а и центрифугированного б бетона от напряжений; 5-8 - составы бетона

В табл. 5 приведены значения начального модуля упругости обычного и центрифугированного бетона (составы 5-8), из которой следует, что за счет центрифугирования достигается незначительное увеличение модуля упругости, причем коэффициент его увеличения колеблется в пределах 1,15-1,21.

По замеренным деформациям вычислялся коэффициент Пуассона ν и начальный модуль упругости E_0 , а также строились графики изменения модуля деформации (рис. 3). С увеличением напряжений в обычном бетоне (составы 5-8) наблюдается рост коэффициента Пуассона ν , что говорит о развитии микротрещинообразования в бетоне (рис. 4). При этом значение ν превышало 0,5 при напряжениях, близких к призмочной прочности. Характер изменения ν для центрифугированного бетона - примерно такой же, как и для вибрированного, ν измеряется от значений 0,25-0,3 до 0,38-0,45 (рис. 4).

С увеличением напряжений наблюдается уменьшение модуля деформации центрифугированного бетона (в среднем до 30%). Характер изменения - такой же, как и для вибрированного бетона.

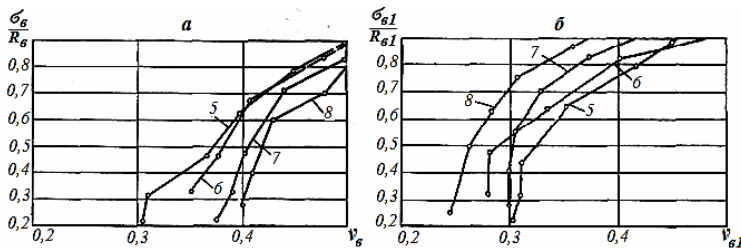


Рис. 3. Зависимость коэффициента Пуассона обычного а и центрифугированного б бетона от величины напряжений; 5-8 - номера составов бетона

В табл. 6 приведена прочность бетона состава 1, армированного стальными фибрами и сетками, а также прочность этих же бетонов, упрочненных методом прессования. Призмочная прочность бетона состава 1 без упрочнения составляла 18,6 МПа.

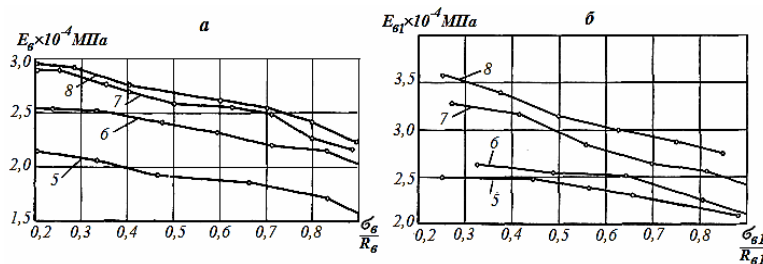


Рис. 4. Зависимость модуля деформаций E_b - а и E_{b1} - б от величины напряжений; 5-8 - номера составов бетона

Были испытаны также бетонные образцы - цилиндры, представляющие собой ядра трубобетонных элементов. На рис. 5а приведены зависимости $N-\varepsilon_1$ и $N-\varepsilon_2$ для бетонных цилиндров серии Б, цилиндров из фибробетона - серия Б-Ф и бетонных цилиндров, армированных сетками - серия Б-С.

Таблица 6

Физико-механические свойства упрочненного бетона

Шифр образца	R_b	N_b	K_m	E_b	K	Шифр образца	R_b	N_b	K_m	E_b	K
Б-Ф	22,2	167	1,19	3,75	1,29	БП-Ф	39,3	295	2,11	4,20	1,45
БС	20,2	152	1,09	3,35	1,15	БП-С	37,4	281	2,01	4,05	1,39
БП	34,6	260	1,86	3,90	1,34	Б	-	140	-	2,90	1

Примечание: Б-Ф - армирование фибрами, БС - армирование сетками, БП - прессование, БП-Ф - прессование, армирование фибрами, БП-С - прессование, армирование сетками, Б - обычный бетон; R_b - прочность упрочненного бетона, МПа; N_b - несущая способность, кН; K_m - коэффициент повышения прочности; $E_b \times 10^{-4}$ МПа; K - коэффициент изменения модуля по сравнению с обычным бетоном

Из рисунков следует, что деформативность армированных образцов - ниже, а несущая способность - выше, по сравнению с обычными бетонными образцами, при этом несущая способность образцов из фибробетона примерно на 19% выше по сравнению с обычным бетоном.

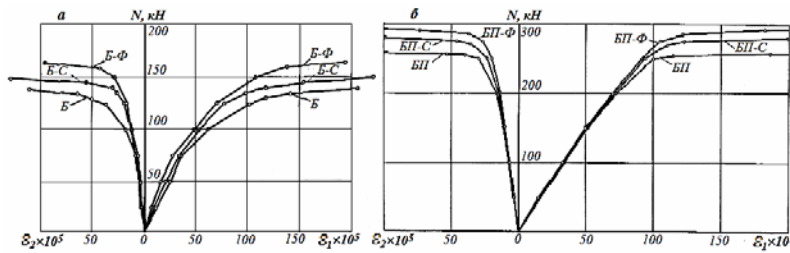


Рис. 5. Зависимость продольных и поперечных деформаций от величины нагрузки для бетонных цилиндров

На рис. 5б приведены зависимости $N-\varepsilon_1$ и $N-\varepsilon_2$ для бетонных цилиндров из прессованного бетона, армированного сетками – серия БП-С. Характер деформирования образцов отличается от вибрированных: в начальный период загрузки зависимости $N-\varepsilon_1$ и $N-\varepsilon_2$ у прессованных образцов - практически прямолинейны. За счет прессования прочность бетона увеличивается почти в два раза.

На рис. 6 и 7 приведены графики изменения модуля деформаций и коэффициента поперечных деформаций в зависимости от относительных напряжений для образцов из вибрированного и прессованного бетона. Для прессованного на протяжении всего периода загрузки коэффициент ν равнялся 0,2 и достиг 0,3 только при напряжениях, близких к предельным. В вибрированном бетоне в состоянии, близком к предельному, коэффициент поперечной деформации достиг величины 0,5.

На рис. 6 и 7 приведены графики изменения модуля деформаций и коэффициента поперечных деформаций в зависимости от относительных напряжений для образцов из вибрированного и прессованного бетона. Для прессованного на протяжении всего периода загрузки коэффициент ν равнялся 0,2 и достиг 0,3 только при напряжениях, близких к предельным. В вибрированном бетоне в состоянии, близком к предельному, коэффициент поперечной деформации достиг величины 0,5.

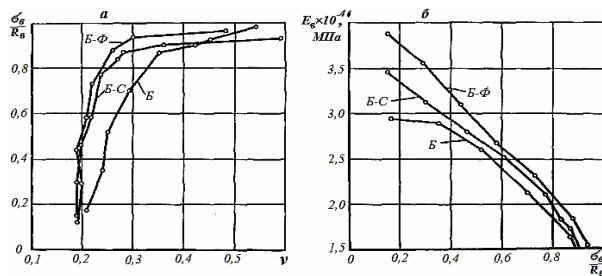


Рис. 6. Изменение коэффициента Пуассона a и модуля деформаций b бетона в зависимости от напряжений для образцов серий Б, Б-С, Б-Ф

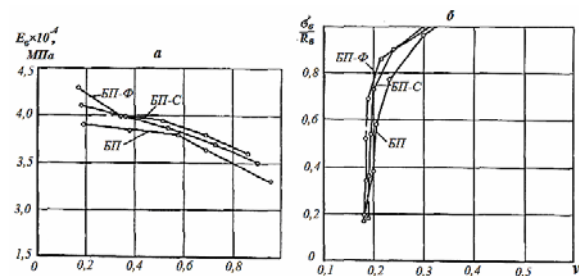


Рис. 7. Изменение модуля деформаций a и коэффициента Пуассона b прессованного бетона в зависимости от напряжений для образцов серий БП, БП-С, БП-Ф

В табл. 6 приведены значения начального модуля упругости для всех образцов из вибрированного и прессованного бетона. При этом начальный модуль упругости для прессованного бетона - выше, по сравнению с вибрированным. Это увеличение для серии БП составляет 34%. С увеличением напряжений в бетоне модуль деформаций вибрированного бетона уменьшается почти в два раза, в то время, как уменьшение модуля деформаций прессованного составляет 15-20%.

В табл. 7 даны физико-механические характеристики стали труб, фибры и сетки, σ_y - напряжение, при котором начинается текучесть, а σ_u - временная прочность стали.

Таблица 7

Физико-механические характеристики сталей

Толщина стенки трубы, мм	σ_y МПа	σ_u МПа	$E_s \times 10^{-5}$ МПа	Толщина стенки трубы, мм	σ_y МПа	σ_u МПа	$E_s \times 10^{-5}$ МПа
2,0	280	318	2,10	2,0; 2,5; 4,0	290	327	2,35
2,1	295	320	2,05	2,3	310	335	2,10
3,0	300	325	2,10				
11; 10; 2; 2,5; 4	290	325	2,35	Фибры	300	330	2,03
2,5; 4,0	290	325	2,35	Сетки			2,01

На рис. 8 приведены зависимости $\sigma_s - \varepsilon_s$ для стали с четко выраженной площадкой текучести.

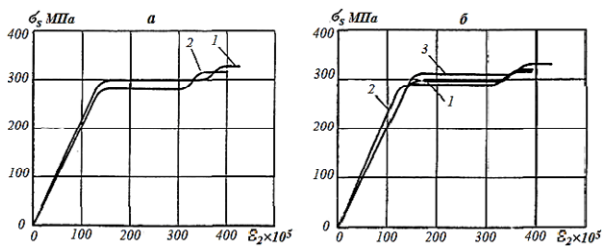


Рис. 8. Зависимость $\sigma_s - \varepsilon$ для стали с толщиной стенки трубы: 1-3, 2-2 мм - а и 1-2,1, 2-4,0, 3-2,3 мм - б

Выводы. Приведенные исследования позволяют оценить влияние на несущую способность и деформации трубобетонных элементов всевозможных видов упрочнения бетонного ядра, таких как дисперсное армирование стальными волокнами, сетками, прессование стальными волокнами, прессование стальными сетками, прессование стальными сетками, прессование стальными сетками.

вание, центрифугирование, заполнение полости центрифугированного трубобетона бетоном, в том числе армированным сетками и волокнами.

Коэффициент увеличения прочности бетона для описанных опытов составил: при 1% армирования бетона стальными волокнами ($d=0,5$ мм, $l=50$ мм) - 1,2; при поперечном армировании бетона стальными сетками (0,32%) - 1,1; прессованного бетона - 1,9; прессованного, армированного волокнами - 2,1; прессованного, армированного сетками - 2,0.

Прочность бетона, упрочненного центрифугированием, превышает призменную прочность вибрированного, при этом коэффициент увеличения прочности колебался в пределах 1,4-1,6.

Коэффициент увеличения модуля упругости E_b составил: для бетона, армированного стальными волокнами - 1,3; стальными сетками - 1,15; прессованного - 1,3; прессованного, армированного волокнами - 1,45; прессованного, армированного сетками - 1,4.

Для центрифугированного бетона коэффициент увеличения модуля упругости изменялся в пределах 1,1-1,2.

Список литературы

1. **Кикин А.И., Санжаровский Р.О., Труль В.А.** Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном.- М.: Госстройиздат, 1994. - 146 с.
2. **Furlong R.W. Asco M.** Desing of Steel-Encased Concrete Beam-Columns. "Proceeding ASCE", №. St. 13, 1968, vol. 94, p 267-281.
3. **Лопатко А.Э.** О свойствах бетона, твердеющего в замкнутой обойме и жесткости трубобетонных элементов // Строительные конструкции. - Киев: Будівельник, 1973. – Вып. XXI. -С 232-234.
4. **Furlong R.W.** Strength of Steel-Encased Concrete Beam-Columns. "Procceedings ASCE", №.St.1, 1969, vol 95. - p. 99-ЮТ.
5. **Gardner K.J. Jacobson E.R.** Structural Behavior of Concrete Pilled Steel Tubes as Columns. - J. Amer. Concrete Inst. Proc., 1997, vol. 64, n 7. - p. 404-413.
6. **Potyondy J.G.** Concrete Pilled Tubular Steel Structures In Marine Environment. Proceedings. The international speciality conference on concrete filled steel tubular structures. Held at Harbin, China, 1995. - p. 27-31.
7. **Shen Xi-Ming.** Design of Concrete Pilled Steel Tubular Column for Factory Building. Proceedings. The international speciality conference on concrete filled steel tubular structures. Held at Harbin, China, 1985. - p. 164-170.
8. **Zhong Shan-Tong.** The Use of Concrete Filled Steel Tubular Structures in China. - Proceedings. The international speciality conference on concrete filled steel tubular structures. Held at Harbin, China, 1985. - p. 1-6.
9. **Гамбаров Г.А.** Исследование работы спирально армированных и трубобетонных элементов под воздействием центрального сжатия: Дис. ... канд. техн. наук. - М.: 1962. - 166 с.
10. **Стороженко Л.И.** Объемное напряженно-деформированное состояние железобетона с косвенным армированием: Дис. ... д-ра техн. наук. - Кривой Рог.: 1985. - 277 с.
11. **Сурдин В.М.** Исследование напряженно-деформированного состояния трубобетонных элементов при осевом нагружении с учетом реологических процессов: Дис. ... канд. техн. наук. -Кривой Рог.: 1970. - 280 с.
12. **Аль-Каллас Мохамед Халед.** Прочность и деформации конструктивных элементов из стальных труб, заполненных центрифугированным бетоном: Дис. ... канд. техн. наук. - Кривой Рог; 1985. - 170 с.
13. **Ахвердов И.Н.** Железобетонные напорные центрифугированные трубы. - М.: Стройиздат, 1967. - 164 с.
14. **Баташев В.М.** Расчет прочности, трещиностойкости и деформаций железобетонных элементов и конструкций с многорядным армированием: Дис. ... д-ра техн. наук. – Днепропетровск: 1978. - 430 с.
15. **Баташев В.М.** Расчет прочности, трещиностойкости и деформаций железобетонных элементов и конструкций с многорядным армированием: Дис. ... д-ра техн. наук. – Днепропетровск: 1978. - 430 с.
16. **Каландадзе В.Ш.** Определение прочности центрифугированного бетона // Бетон и железобетон. - 1962. - № 8. - С. 362-366.
17. **Кудзис А.П.** Железобетонные конструкции кольцевого сечения. - Вильнюс: Минтис, 1975. - 224 с.
18. **Баташев В.М.** Прочность, трещиностойкость и деформации железобетонных элементов с многорядным армированием. - Киев: Будівельник, 1978. - 120 с.
19. **Сорокер В.И., Волкович Л.С.** Контроль производства и технический анализ на заводах железобетонных изделий. Учеб. пособис. М.: Стройиздат, 1969.-224 с.
20. **Пецольт Т.М. и др.** Центрифугированные железобетонные кольцевые колонны каркаса промзданий // Строительство и архитектура Белоруссии. - 1977. - № 4. - С. 7-8.

Рукопись поступила в редакцию 20.0314

А.В. РЕВЕНКО, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет
О.А. РЕВЕНКО, магистр, «ГИПОпром», г. Днепрпетровск

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЫРЬЯ НА РАСХОД КОКСА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ

Выявлены особенности формирования в объеме доменной печи смеси материалов из компонентов шихты и утрате ими свойства независимости как факторов процесса, вызывающее появление погрешности от взаимовлияния друг на друга всех компонентов смеси. Приведены адекватные стохастические математические модели в виде степенных функций, отражающих качественное влияние и количественные связи между удельным расходом сухого скипового кокса, удельной производительностью доменной печи объемом 5000 м^3 с одной стороны и факторами производственного процесса выплавки передельного чугуна, включающими в свою совокупность смесевые компоненты, с другой стороны. Разработаны алгоритмы математического моделирования и пофакторного анализа влияния каждого компонента доменной шихты в общей совокупности факторов на основные параметры доменной плавки, позволяющие выполнять прогноз и оценку эффективности реализации технологических мероприятий.

Важным условием эффективного и устойчивого осуществления доменной плавки является стабильность компонентного и химического состава доменной шихты и технологических факторов. Невыполнение этого условия вызывает непрерывный переход режима плавки от одного состояния к другому. В исследуемом периоде, в котором произведено более 15,7 млн т чугуна, в состав шихты доменной печи объемом 5000 м^3 входило, как правило, 6-8 и более различных компонентов, относящихся к железосодержащим, топливным и флюсующим материалам. При этом 2-3 компонента шихты по своему возникновению являлись вторичным сырьем. В числе компонентов доменной шихты перерабатывались в качестве вторичного сырья такие промышленные отходы, как шлак обогащенный, скрап, шлак производства *SiMn*, рядовой шлак, отходы производства электрокорунда.

При загрузке в печь доменной шихты ее компоненты, как правило, не смешиваются, а укладываются в основном отдельными слоями. Кроме того, загрузка компонентов шихты осуществлялась циклически. Каждый цикл состоял из нескольких порций материалов, объем которых соответствовал объемам шихтовых бункеров загрузочного устройства бесконусного типа фирмы «Paul Wurth» (Люксембург). В результате этого разнородные компоненты доменной шихты имеют физический контакт между собой в основном на границах слоев. Поэтому в теории и практике доменной плавки для характеристики доменной шихты в качестве фактора применяют удельный расход каждого компонента на 1 т чугуна. В связи с тем, что численное значение удельного расхода каждого компонента доменной шихты измеряют, контролируют и регулируют независимо друг от друга, то эти факторы являются независимыми. Однако эта независимость сохраняется в доменной печи до температур начала развития процессов первичного шлакообразования. В зависимости от характера распределения газового потока по радиусу и окружности доменной печи изменяются очертания границ, формы и объемов зоны когезии. При этом физико-химические процессы шлакообразования и перехода сырьевых компонентов доменной шихты из твердого в вязкопластичное и жидкоподвижное состояние осуществляется одновременно на значительной высоте столба материалов, сосредоточенных в отдельных слоях. Под действием силы гравитации появляющиеся жидкие фазы устремляются вниз печи между кусками слоев твердых материалов, представленных в основном коксом, углем, известняком, осуществляя, таким образом, опережение ранее загруженных порций шихты и появление смеси разнородных материалов в объеме доменной печи. При образовании смеси разнородных материалов возникают новые свойства и, прежде всего, появляется условие нормировки, которое присуще смеси. Это условие отражает наличие взаимозависимости между компонентами смеси, состоящей в том, что при изменении массовой, мольной или объемной доли любого компонента смеси изменяются соответствующие доли всех остальных компонентов в ней

$$\sum_{i=1}^n C_i = 1, \quad (1)$$

где C_i - доля любого из компонентов смеси, доли ед.; n - число компонентов в смеси.

В связи с этим отображение влияния удельных расходов каждого компонента доменной шихты как независимых факторов на различные параметры доменной плавки в виде полиномиальных стохастических математических моделей не позволяет выявить в чистом виде силу воздействия каждого из смесевых факторов, на которые налагается условие нормировки (1), вызывающее появление погрешности от взаимовлияния друг на друга всех компонентов смеси [1].

В теории математического планирования эксперимента разработаны методы построения оптимальных планов активных исследований многокомпонентных систем, содержащих смесевые факторы с ограниченными интервалами варьирования в многомерных симплексах с предварительной трансформацией факторного пространства [1]. При наличии в исследуемой системе независимых и смесевых факторов следует строить планы эксперимента по методу прямых произведений планов для независимых факторов с планами для смесевых факторов [1]. Полиномиальные стохастические математические модели, получаемые на основе реализации указанных планов, позволяют исключить погрешности, вызванные условием нормировки (1).

На основе вышесказанного в данном исследовании доменная шихта рассматривается в качестве смеси, в которой количество каждого загружаемого в печь шихтового компонента выражено в массовых долях и наложением условия нормировки (1). Независимые факторы и параметры выражены в естественных для них физических размерностях.

В данной работе в качестве параметра рассматриваются наиболее важные технико-экономические показатели доменной плавки удельный расход сухого скипового кокса и удельная производительность. В результате обработки итоговых фактических показателей доменной печи объемом 5000 м³ по данным производственных отчетов методами многофакторного регрессионного анализа выявлено качественное влияние и количественная связь между удельным расходом сухого скипового кокса и факторами производственного процесса выплавки перелдального чугуна, выраженная стохастической математической моделью в виде степенной функции (2)

$$K_c = \text{Exp}(6,641)(1+A_1)^{-0,07473}(1+A_2)^{0,04691}(1+A_3)^{0,0925}(1+A_4)^{-0,00156}(1+A_5)^{-0,02125} \times \\ (1+A_6)^{-0,13399}(1+A_7)^{0,03568}(1+A_8)^{0,00007}(1+A_9)^{-0,0041}(1+A_{10})^{0,01847}(1+A_{11})^{0,84552} \times \\ (1+A_{12})^{-0,0224}(1+A_{13})^{-0,35149}(1+A_{14})^{-0,07382}(1+A_{15})^{-0,0655}, \text{ кг/т} \quad (2)$$

где K_c - удельный расход кокса, кг/т; A_1 - шлак обогащенный (0...8,37%); A_2 - агломерат (61,96...85,1%); A_3 - железная руда (0...7,51%); A_4 - окатыши (5,93...32,26%); A_5 - скрап (0...4,77%); A_6 - шлак производства *SiMn* (0...1,13%); A_7 - известняк обыкновенный (0...3,49%); A_8 - доломитизированный известняк (0...2,66%); A_9 - рядовой шлак (0...2,88%); A_{10} - отход производства электрокорунда (0...0,16%); A_{11} - плавиковый шпат (0...0,06%); A_{12} - антрацит (0...3,9%); A_{13} - металлизированные брикеты (0...0,13%); A_{14} - удельный расход природного газа, (27...136 м³/т); A_{15} - удельный расход кислорода, (39...134 м³/т).

Проверка адекватности модели осуществлялась по критериям Стьюдента (St_p) и Фишера (F_p). Гипотезы об адекватности принимались на основании того, что расчетные значения указанных критериев меньше их критических табличных значений (St_T , F_T). Для модели (2) $St_p = 0,187$ (число степеней свободы $f=129$), $F_p = 1,11$ (числа степеней свободы $f_1=72$, $f_2=57$). Критические табличные значения этих критериев для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и тех же чисел степеней свободы составляют $St_T = 1,98$, $F_T = 1,41$. Так как $St_p < St_T$ и $F_p < F_T$ гипотеза об адекватности модели (1) не отвергается. Таким образом, адекватность модели (2) свидетельствует, что вероятность появления существенных различий между расчетными и опытными значениями параметра K_c не превышает выбранного уровня значимости $\alpha = 0,05$, то есть 5%. Абсолютная ошибка расчетных значений параметра K_c составляет 3,651 кг/т.

Удельная производительность доменной печи объемом 5000 м³ ($\Pi_{уд}$, т/(м³·сут)) обобщена стохастической математической моделью в виде степенной функции (3) следующего вида

$$\Pi_{уд} = \text{Exp}(-0,92832)(1+D_1)^{0,02933}(1+D_2)^{0,68892}(1+D_3)^{-0,02124}(1+D_4)^{0,14067}(1+D_5)^{0,01371} \times \\ (1+D_6)^{0,08809}(1+D_7)^{0,14096}(1+D_8)^{0,03845}(1+D_9)^{-0,02603}(1+D_{10})^{-0,32999}(1+D_{11})^{-3,03217} \times \\ (1+D_{12})^{-0,01478}(1+D_{13})^{-0,84341}(1+D_{14})^{-0,91872}(1+D_{15})^{-0,1227}(1+D_{16})^{0,24725}, \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{сут}) \quad (3)$$

где D_1 - шлак обогащенный (0...6,7%); D_2 - агломерат (48,6...68,4%); D_3 - железная руда (0...5,6%); D_4 - окатыши (4,7...25,3%); D_5 - скрап (0...3,8%); D_6 - шлак производства $SiMn$, (0...0,9%); D_7 - известняк обыкновенный (0...2,8%); D_8 - известняк доломитизированный (0...2,1%); D_9 - шлак рядовой (0...2,3%); D_{10} - отход производства электрокорунда (0...0,13%); D_{11} - плавиковый шпат, (0...0,02%); D_{12} - антрацит (0...3,13%); D_{13} - сухой скиповый кокс, (17,9...25,7%); D_{14} - металлизированные брикеты (0...0,1%); D_{15} - удельный расход природного газа, (27...136м³/т); D_{16} - удельный расход кислорода, (39...134м³/т). Для модели (3) $St_p = 0,233$ (число степеней свободы $f = 128$), $F_p = 1,129$ (числа степеней свободы $f_1 = 56, f_2 = 72$). При $\alpha = 0,05$ и тех же числах степеней свободы $St_T = 1,98, F_T = 1,34$. Максимальная абсолютная ошибка расчетных значений параметра $П_{уд}$ составляет 0,154 т/(м³·сут).

Обязательным элементом управления в доменном переделе является анализ причин отклонений между плановыми и фактическими значениями таких основных технико-экономических показателей плавки, как расход кокса и производительность. Применяемая в настоящее время методика анализа причин изменений расхода кокса и производительности печей при изменении технологических факторов доменной плавки (пофакторный анализ) [1, с.216] оценивает влияние на производственные показатели разнородных компонентов шихты в форме их удельных расходов с применением утвержденных нормативных коэффициентов влияния, определенных аналитически на основе теоретических положений доменного процесса и эмпирически по данным практики доменного производства. При этом пофакторный анализ основан на предположении о линейности и независимости влияния каждого фактора на основные параметры плавки. Хотя в действительности технологические факторы влияют на параметры плавки нелинейно и неаддитивно [1, с.217]. Поэтому учет отличительных особенностей между идентичными по химическому и минералогическому составу компонентами доменной шихты, к которым относятся вторичное сырье и железосодержащие отходы, требует дополнительных сведений об их влиянии на показатели выплавки чугуна для анализа и оценки эффективности доменной плавки. Кроме того, компоненты доменной шихты следует выражать в массовых долях для устранения погрешности, вызванной наложением условия нормировки (1) в результате осуществления процесса смесеобразования в доменной печи.

На основе моделей (2) и (3) разработаны алгоритмы математического моделирования и пофакторного анализа влияния сырья на перечисленные основные параметры технологического процесса производства чугуна доменной печи объемом 5000 м³. Алгоритмы пофакторного анализа реализованы в виде вычислительных модулей с применением табличного процессора Microsoft Excel. В табл. 1 представлена схема вычислительного модуля для пофакторного анализа влияния компонентов доменной шихты на удельный расход сухого скипового кокса, составленного на основе модели (2).

Исходные данные количественных значений компонентов доменной шихты для базового и сравнительного периодов вводятся в столбцы таблицы для удельных расходов. Далее рассчитываются численные значения массовых долей компонентов в доменной шихте как смеси. По численным значениям массовых долей компонентов в соответствии с формулами (2) и (3) определяются значения расходов кокса для табл. 1 или производительности для табл. 2 в базовом и сравнительном периодах, а также разности этих значений по каждому компоненту доменной шихты в отдельности при сохранении значений всех остальных компонентов в сравнительном периоде на уровне базы.

Полученные численные значения отражают силу и характер влияния в чистом виде каждого компонента доменной шихты на соответствующий параметр для 1 т чугуна.

Таблица 1

Результаты математического моделирования пофакторного влияния некоторых компонентов доменной шихты на расход скипового кокса доменной печи объемом 5000 м³

Факторы	Периоды				Влияние фактора на расход кокса	
	2004 г. (факт)		2005 г. (факт)		на 1 т чугуна, кг/т	на всю выплавку, т
	база		сравнение			
	удельный расход, кг/т	доля смеси, %	удельный расход, кг/т	доля смеси, %		
Производство, т	2705389		2658633			
Шлак обогащенный ШО	119,700	6,643	82,000	4,523	10,155	26999,705

(0-8,37%), кг/т						
Алгомерат(61,964-85079%), кг/т	1238,300	68,726	1340,000	73,915	1,423	3783,553
Руда железная ЖР(0-7,509%), кг/т	25,100	1,393	0,800	0,044	-33,760	-89754,317
Окатыши(5,928-32,256%),кг/т	376,100	20,784	293,700	16,201	0,158	421,083
Скрап(0-4,766%),кг/т	1,300	0,072	36,600	2,019	-9,418	-25039,680
Шлак производства SiMn (0-1,127%),кг/т	0,000	0,000	0,100	0,006	-0,312	-829,933
Известняк обыкновенный (0-3,487%),кг/т	18,400	1,021	17,600	0,971	-0,381	-1014,157
Известняк доломатизированный (0-2,659%),кг/т	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Шлак рядовой ШР (0-2,877%), кг/т	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Отходы производства электрокорунда(0-0,161%),кг/т	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Плаваиковый шпат(0-0,055%),кг/т	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Антрацит(0-3,895%),кг/т	22,900	1,271	41,700	2,300	-3,560	-9465,060
Брикет металлизированный(0-0,132%)	0,000	0,000	0,400	0,022	-3,260	-8667,377
Итого удельный расход доменной шихты без кокса	1801,800	100,000	1812,900	100,000		
Удельный расход ПГ(27,0-135,9),м ³ /т	95,200		89,3		1,974	5248,893
Удельный расход О2(39,5-134), м ³ /т	107,300		96,8		2,819	7493,902
Итого изменение приведенного расхода кокса в сравнительном периоде					-34,162	-90823,389
Расчетный удельный расход кокса, кг/т	457,266		423,365		-33,901	
Расчетный расход кокса, т	1237081,929		1125571,679			
Фактический удельный расход кокса, кг/т	448,800		427,4		-21,400	
Фактический расход кокса, т	1214178,583		1136299,744			
Отклонение(Факт-Расчет) удельного расхода кокса, кг/т	-8,466		4,035			

При умножении полученного значения на объем производства чугуна в сравнительном периоде вычисляется величина чистого влияния каждого компонента доменной шихты на соответствующий параметр на всю выплавку чугуна.

Для сравнительного анализа показателей работы печи в табл. 1 приведены результаты для отчетных данных 2004 г., принятых за базу, и 2005 г. Как следует из табл. 1, уменьшение удельного расхода шлака обогащенного на 37,7 кг/т вызвало повышение удельного расхода кокса в 2005 г. на 10,156 кг/т.

Увеличение удельного расхода скрапа на 35,3 кг/т снизило удельный расход кокса на 9,418 кг/т. С увеличением на 0,1 кг/т удельного расхода шлака производства *SiMn* потребление кокса снизилось на 0,312 кг/т.

Суммарное влияние изменения факторов в 2005г. от базовых значений вызвало снижение приведенного удельного расхода кокса на 34,162 кг/т, а на весь фактический объем производства приведенная экономия кокса составила 90823,389 т. Сравнивая расчетный удельный расход кокса с фактическим следует отметить, что разность между их численными значениями составляет 8,466 кг/т в 2004 г. и 4,035 кг/т в 2005 г.

В табл. 2 представлены результаты пофакторного анализа влияния компонентов доменной шихты на удельную производительность печи по отчетным данным 2004 г., принятых за базу, и 2005 г.

Таблица 2

Результаты математического моделирования пофакторного влияния некоторых компонентов доменной шихты на производительность доменной печи объемом 5000 м³

Факторы	Периоды				Влияние фактора на производительность	
	2004 г. (факт)		2005 г. (факт)			
	база		сравнение		на 1 т чугуна, кг/т	на всю выплавку, т
	удельный расход, кг/т	доля смеси, %	удельный расход, кг/т	доля смеси, %		
Производство, т	2705389		2658633			
Шлак обогащенный ШО (0-6,7%), кг/т	119,700	5,319	82,000	3,660	-0,014	-24587,166
Алгомерат(48,62-68,405%), кг/т	1238,300	55,021	1340,000	59,813	0,085	150726,862
Руда железная ЖР(0-5,579%), кг/т	25,100	1,115	0,800	0,036	0,023	41257,668
Окатыши(4,767-25,334%),кг/т	376,100	16,711	293,700	13,110	-0,050	-89078,692
Скрап(0-3,765%),кг/т	1,300	0,058	36,600	1,634	0,019	34061,474
Шлак производства SiMn (0-0,893%),кг/т	0,000	0,000	0,100	0,004	0,001	1075,338
Известняк обыкновенный (0-2,764%),кг/т	18,400	0,818	17,600	0,786	-0,004	-6861,918
Известняк доломатизированный (0-2,057%),кг/т	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Шлак рядовой ШР (0-2,283%), кг/т	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Отходы производства электрокорунда(0-0,127%),кг/т	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Плакиковый шпат(0-0,018%),кг/т	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Антрацит(0-3,126%),кг/т	22,900	1,018	41,700	1,861	-0,008	-14196,699
Кокс (сухой) скиповый(17,937-25,711%)	448,800	19,941	427,400	19,078	0,054	95657,257
Брикет металлизированны(0-0,107%)	0,000	0,000	0,400	0,018	-0,025	-44936,431
Итого удельный расход доменной шихты	2250,600	100,000	2240,300	100,000		
Удельный расход ПГ(27,0-135,9),м ³ /т	95,200		89,300		0,012	21207,193
Удельный расход O ₂ (39,5-134), м ³ /т	107,300		96,800		-0,039	-70002,951
Итого изменение приведенного расхода кокса в сравнительном периоде					0,053	94321,935
Фактическая удельная производительность, т/м ³ ·сут	1,495		1,495		0,000	
Расчетная удельная производительность, т/м ³ ·сут	1,484		1,541		0,057	
Фактический КИПО, м ³ ·сут/т	0,669		0,669			
Расчетный КИПО, м ³ ·сут/т	0,0674		0,649			
Отклонение(Факт-Расчет)						
Удельной производительности, т/м ³ ·сут	0,011		-0,047			
Число суток работы за период, сут	336,000		365,000			

Как следует из табл. 2, уменьшение удельного расхода шлака обогащенного на 37,7 кг/т вызвало снижение удельной производительности в 2005 г. на 0,01382 т/(м³·сут).

Скрап при увеличении удельного расхода на 35,3 кг/т вызвал рост удельной производительности на 0,01915 т/(м³·сут).

Применение шлака производства SiMn с удельным расходом 0,1 кг/т повысило удельную производительность на 0,0006 т/(м³·сут).

Суммарное влияние изменения перечисленных выше факторов в 2005 г. от базовых значений вызвало повышение приведенной удельной производительности на 0,05303 т/(м³·сут), а на весь фактический объем производства приведенная производительность печи выросла на

94321,935 т. Сравнивая расчетные значения удельной производительности с фактическими следует отметить, что абсолютные величины разностей между их численными значениями составляют 0,0107 т/(м³·сут) в 2004 г. и 0,04655 т/(м³·сут) в 2005 г.

Выполненный пофакторный анализ свидетельствует, что выбранные факторы в совокупности обусловили изменение в 2005 г. удельной производительности относительно 2004 г. на 0,05303 т/(м³·сут), однако по отчетным данным удельная производительность печи в 2004 г. и в 2005 г. абсолютно равны, что вызывает основание для сомнений в корректности допущенных округления численных значений этого параметра.

Исходя из того, что разработанный алгоритм математического моделирования пофакторного влияния компонентов доменной шихты на расход кокса и удельную производительность доменной печи объемом 5000 м³ составлен на основе адекватных стохастических интерполяционных моделей (2) и (3), можно также положительно утверждать и о справедливости заключения об адекватности результатов пофакторного анализа.

При этом вероятность появления существенных отклонений расчетных количественных значений анализа от реальных (достоверных) показателей этой доменной печи в соответствии с принятым уровнем значимости не превысит 5 %.

Как правило, в условиях реального производственного процесса происходят изменения параметров технологии, качества и химического состава сырья, топлива, флюсующих добавок, применяются новые компоненты доменной шихты, а также действия большого числа факторов объективного и субъективного характера.

Поэтому для обеспечения адекватности результатов моделирования необходимо периодически обновлять базу исходных данных, осуществлять пересмотр и уточнение стохастических математических моделей (2) и (3).

Таким образом, выявлены особенности формирования в объеме доменной печи смеси материалов из компонентов шихты и утрате ими свойства независимости как факторов процесса, вызывающее появление погрешности от взаимовлияния друг на друга всех компонентов смеси.

Приведены адекватные стохастические математические модели в виде степенных функций, отражающих качественное влияние и количественные связи между удельным расходом сухого скипового кокса, удельной производительностью доменной печи объемом 5000 м³, с одной стороны, и факторами производственного процесса выплавки передельного чугуна, включающими в свою совокупность смесевые компоненты, с другой.

Разработаны алгоритмы математического моделирования и пофакторного анализа влияния каждого компонента доменной шихты в общей совокупности факторов на основные параметры доменной плавки, позволяющие выполнять прогноз и оценку эффективности реализации технологических мероприятий.

Список литературы

1. Зедгенидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем.- М.: Наука, 1976.- 390 с.
2. Товаровский И.Г., Лялюк В.П. Эволюция доменной плавки: Монография.- Днепропетровск: Пороги, 2001.- 424 с.

Рукопись поступила в редакцию 06.02.14

УДК 621.771.01

М.Г. КОРЕНКО, канд. техн. наук, доц., В.С. СОТСКОВ, магистрант
Криворізький національний університет,

А.Г. ПРИСЯЖНИЙ, ст. викладач, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

ПІДВИЩЕННЯ СТУПЕНЯ ВИКОРИСТАННЯ ПРОЕКТНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДРЕСИРУВАЛЬНИХ СТАНІВ ЦЕХІВ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ

У статті обґрунтована можливість підвищення ступеня використання проектної потужності дресирувального стану цеху холодної прокатки ПАТ «ММК ім. Ілліча» за рахунок розширення його функціонального призначення.

При цьому запропоновано використовувати дресировальний стан як прокатно-дресировальний, що не вимагає значних фінансових витрат та створює сприятливі умови для розширення сортаменту та підвищення точності геометричних розмірів холоднокатаних відносно тонких сталевих штаб.

Проблема та її зв'язок з науковими й практичними завданнями. Розширення сортаменту холоднокатаних відносно тонких сталевих штаб, а також підвищення вимог до показників їх якості обумовлюють необхідність вдосконалення конструкції робочих клітей та технологічних режимів станів холодної прокатки [1-3]. При цьому слід зазначити, що реконструкція основного устаткування цих станів потребує значних фінансових витрат, а тому більш обґрунтованою є оптимізація технології процесу пластичної деформації металу за рахунок використання резервів вже встановленого устаткування, яке в цехах холодної прокатки (ЦХП) використовується не на повну проектну потужність. Стосовно ЦХП ПАТ «ММК ім. Ілліча» таким устаткуванням є дресировальний стан, який більшу частину часу простоє, а тому розробка практичних рекомендацій щодо його додаткового використання з метою розширення сортаменту та підвищення показників якості холоднокатаних відносно тонких сталевих штаб представляє досить актуальну задачу.

Аналіз досліджень і публікацій. Найбільш поширений спосіб виробництва сталевих холоднокатаних штаб, представлений в роботі [4], передбачає виконання наступних технологічних операцій:

холодне прокатування на безперервному стані з обтисканням в насічених валках останньої кліті;

відпал холоднокатаних рулонів в ковпакових печах;

дресировання холоднокатаних відпалених штаб.

Цей спосіб передбачає використання в останній кліті прокатного стану насічених валків з середнім арифметичним відхиленням профілю їх поверхні $Ra=(4\div 6)$ мкм, а також малу силу натягнення між останньою кліттю і моталкою, що приводить до збільшення енергосилових параметрів прокатування: тиску металу на валки, необхідної потужності деформації в останній кліті й на стані в цілому, та ускладнює отримання планшетних і рівнотовщинних штаб. Крім того, необхідність отримання тонколистової сталі з високою точністю геометричних розмірів при високій швидкості прокатування обумовлює невелике обтискання в останній кліті багатоклетьового стану і тим самим обмежує її обтискову здатність.

Крім зазначеного вище, існує спосіб отримання холоднокатаної сталі за наступною технологією [5]:

холодне прокатування на реверсивному стані;

відпал холоднокатаних рулонів в ковпакових печах;

дресировання холоднокатаних відпалених штаб.

Процес виробництва холоднокатаних штаб на реверсивному стані зберігає і навіть посилює недоліки першого способу, а також характеризується низькою продуктивністю, відносно великим витратним коефіцієнтом металу та високою інтенсивністю зносу валків.

Також відомий спосіб холодного прокатування тонких штаб, що містить двохетапне прокатування, відпал в ковпакових печах і дресировання [6]. При цьому послідовність технологічних операцій така:

перший етап прокатування на багатоклетьовому безперервному стані;

проміжний відпал в ковпакових печах;

другий етап прокатування на прокатно-дресировальному стані;

відпал в ковпакових печах;

дресировання холоднокатаних відпалених штаб.

Цей спосіб має переваги перед вище описаними способами, оскільки дозволяє досягти більшої викочуємості прокатуваного металу. Проте така схема двохетапного прокатування характеризується значно більшою витратою палива, приводить до підвищених енерговитрат на пластичну деформацію металу, а також істотно утруднює отримання планшетних і рівнотовщинних штаб.

Постановка завдання. Метою статті є розробка способу прокатки за рахунок розширення функціонального призначення дресировального стану та перетворення його на прокатно-дресировальний.

Викладення матеріалу та результати. Для досягнення поставленої мети поставлене завдання удосконалити спосіб холодного прокатування тонких штаб, що піддаються відпалу в ковпакових печах, в якому за рахунок зміни умов деформації штаби досягається зниження енергоємності прокатування, збільшення планшетності та рівнотовщинності прокатуваних штаб, задіювання резерву потужностей дресирувального стану.

Для вирішення поставленого завдання в способі холодного прокатування тонких штаб, що піддаються відпалу в ковпакових печах, який містить двохетапне прокатування, перший етап прокатування проводять на багатоклетьовому стані з сумарним відносним обтисканням (74÷80)%, а другий етап – на одноклетьовому реверсивному чи дресирувальному стані з відносним обтисканням (5÷10)%.

По завершенню двох етапів прокатування сталь в рулонах поступає в термічне відділення для відпалу в ковпакових печах. Після термообробки метал дресирують на дресирувальному стані з відносним обтисканням (1-2) %.

При цьому істотною ознакою зміни умов здійснення прокатування штаби є скорочення енерговитрат прокатування, поліпшення якості прокатуваного металу, що виражається в зростанні геометричної точності штаб.

У відповідності до запропонованого способу холодного прокатування, прокатування штаби здійснюється в два етапи: перший етап – на чотирихклетьовому безперервному стані; другий етап – на одноклетьовому дресирувальному стані. Загальне число пропусків - п'ять.

На першому етапі гарячекатані протравлені рулони встановлюються в розмотувач безперервного стану. Зовнішній виток рулону задається по черзі в першу, другу, третю і четверту кліті безперервного стану і заправляється в моталку. Прокатування перших витків рулону здійснюється на заправній швидкості (2÷2,5) м/с. На цій стадії встановлюються необхідні напруження між клітей: σ_p - напруження між розмотувачем і першою кліттю; σ_{1-2} - напруження між першою і другою клітями; σ_{2-3} - напруження між другою і третьою клітями; σ_{3-4} - напруження між третьою і четвертою клітями; σ_M - напруження між четвертою кліттю і моталкою, яке обмежується тільки міцнісними властивостями прокатуваної штаби. Після закінчення операції заправки та досягнення необхідних значень міжклетьових напружень прокатування ведеться із швидкістю до (20÷25) м/с і сумарним відносним обтисканням (74÷80)%. При цьому сумарне відносне обтискання не повинне бути меншим за 74 %, щоби не обмежувати продуктивність безперервного широкоштабового стану гарячого прокатування, та більшим за 80% через зниження пластичності та збільшення опору деформації прокатуваного металу. Деформація металу в четвертій кліті здійснюється шліфованими валками з середнім арифметичним відхиленням профілю їх поверхні $Ra=(1\div2)$ мкм. Останні витки рулону прокатуються також на пониженій швидкості (2-2,5) м/с. Рулон з моталки потрапляє на конвеєр, яким він транспортується до дресирувального стану, де проводиться другий етап прокатування.

Рулон встановлюється в розмотувач стану, верхній виток відгинається магнітним відгиначем. Потім передній кінець рулону послідовно задається в роликівий пристрій, в зів валків і фіксується на моталці. Режим напружень: σ_p^d - напруження між розмотувачем і дресирувальною кліттю; σ_M^d - напруження між дресирувальною кліттю та моталкою, настраюється в процесі роботи стану на заправній швидкості (3÷3,5) м/с. Слід зазначити, що напруження напруження σ_M^d знаходиться в межах (20 ÷ 80) МПа. Після операції заправки здійснюють прокатування на швидкості, що може бути встановлена в діапазоні 2-15 м/с, в насічених валках з середнім арифметичним відхиленням профілю їх поверхні $Ra=(2,7\div2,8)$ мкм та відносним обтисканням $\varepsilon=(5\div5,5)\%$.

Спільне поєднання трьох перерахованих технологічних параметрів: σ_M^d , Ra , ε , в зазначених межах гарантує запобігання зварюванню витків рулону при відпалі в ковпакових печах. Після закінчення другого етапу прокатування рулон знімають з моталки та за допомогою мостового крану та відправляють в термічне відділення для відпалу в ковпакових печах. Відпалений метал знов транспортують до дресирувального стану для зміцнення поверхневих шарів металу - дресирування з відносним обтисканням (1-2)%.

Даний спосіб може бути реалізований в умовах типового ЦХП «ММК ім. Ілліча». При цьому режим технологічного процесу здійснюється таким чином.

Прокатування холоднокатаної штаби зі сталі марки 08 кп розмірами $h \times b = 0,38 \times 1020$ мм здійснюється з гарячекатаного протравленого підкату перетином НХВ = $1,6 \times 1020$ мм. На першому етапі прокатування метал прокатують на чотириохкельтовому безперервному стані з сумарним обтисканням 74% до проміжної товщини 0,42 мм.

Розподілення сумарного відносного обтиснення по клітях чотириохкельтового безперервного стану повинне забезпечувати отримання планшетних і рівнотовщинних штаб при мінімальних витратах енергії на пластичну деформацію металу. Другий етап прокатування здійснюється на дресировальному стані з відносним обтисканням 10 % до товщини 0,38 мм. Після двох етапів прокатування сталь в рулонах відпалюють в ковпакових печах. Кінцеву товщину метал досягає дресированням на дресировальному стані з відносним обтисканням 1%.

Для перевірки можливості застосування зазначеного способу прокатування в ЦХП «ММК ім. Ілліча» за допомогою інженерної математичної моделі [7] визначили енергосилові параметри процесу прокатки з використанням прокатно-дресировального стану та без нього (табл. 1).

Характеристика основного устаткування зазначеного ЦХП відповідає даним роботи [8]. Аналіз отриманих результатів показує, що потужностей дресировального стану цілком достатньо для використання його як прокатно-дресировального: фактичні сила прокатки та потужність двигуна при швидкості прокатки 5 м/с не перевищують їх допустимих значень (18 МН для сили прокатки та 1320 кВт для потужності двигуна), що забезпечує сприятливі умови для оптимізації режиму обтиснень металу.

За рахунок можливості зниження коефіцієнта тертя та підвищення питомого напруження переднього натягнення при прокатці в четвертій клітці безперервного стану ЦХП «ММК ім. Ілліча» (табл. 1) істотно зменшуються енергосилові параметри прокатки в цій клітці.

Крім того, подача технологічного мастила в осередок деформації прокатно-дресировального стану також створить умови для зниження сили, моменту та потужності деформації, а також для підвищення якості холоднокатаних штаб.

Слід зазначити, що збільшення дрібності деформації, тобто кількості пропусків, при одному й тому ж значенні сумарного відносного обтиснення сприяє зниженню сумарних витрат енергії на пластичну деформацію металу, що підтверджується результатами лабораторних випробувань.

Таблиця 1

Параметри процесу прокатки штаби розміром $h \times B = 0,38 \times 1020$ мм із сталі 08 кп (1 – без використання прокатно-дресировального стану; 2 – з використанням прокатно-дресировального стану)

Параметр	Позначення	Номер кліті (пропуску)				
		1	2	3	4	5
Товщина штаби до пропуску, H , мм	1	1,60	1,23	0,70	0,47	-
	2	1,60	1,23	0,70	0,47	0,42
Товщина штаби після пропуску, h , мм	1	1,23	0,70	0,47	0,38	-
	2	1,23	0,70	0,47	0,42	0,38
Відносне обтискання, %	1	23	43	33	19	-
	2	23	43	33	10	10
Швидкість прокатки, V , м/с	1	1,9	3,4	5,0	6,2	-
	2	1,9	3,4	5,0	6,2	5,0
Питоме напруження заднього натягнення, МПа	1	0	192	235	259	-
	2	0	192	235	259	40
Питоме напруження переднього натягнення, $\sigma_{п}$, МПа	1	192	235	259	20	-
	2	192	235	259	220	80
Коефіцієнт тертя, f	1	0,12	0,11	0,10	0,09	-
	2	0,12	0,11	0,10	0,07	0,10
Середній тиск металу на валки, $p_{ср}$, МПа	1	532	692	870	936	-
	2	532	692	870	706	1192
Сила прокатки, P , кН	1	6366	9818	9365	8072	-
	2	6366	9818	9365	4687	10607
Момент, приведений до валу двигуна, $M_{дв}$, кН·м	1	-86	76	78	116	-
	2	-86	76	78	77	57
Потужність двигуна, $N_{дв}$, кВт	1	-378	580	882	1701	-
	2	-378	580	882	1152	691

Наприклад, при почерговій прокатці 2-х свинцевих заготовок перетином $h \times b = 5,0 \times 32,0$ мм за 1 і 2 пропуски з однаковим відносним обтисканням 78 % в умовах лабораторного стану 125 кафедри обробки металів тиском Державного вищого навчального закладу «Приазовський державний технічний університет» отримали, що потужність деформації за 1 пропуск в насічених валках складає 0,0588 кВт, а за 2 пропуски (1 пропуск здійснено в насічених валках, а інший – в шліфованих) - 0,0453 кВт (зниження потужності деформації за рахунок змінення умов останньої дорівнює 26%).

Також слід зазначити, що установка в кліті прокатно-дресировального стану гідравлічних натискних механізмів, а також подача в осередок деформації технологічного мастила дозволять покращити показники якості холоднокатаних штаб.

Впровадження нової технології скоротить енерговитрати виробництва холоднокатаної сталі на (1-1,5)%, підвищить якість продукції та дозволить цілком використовувати проектну потужність дресировального стану.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Запропоновано в умовах ЦХП ПАТ «ММК ім. Ілліча» дресировальний стан використовувати як прокатно-дресировальний. На основі математичного моделювання енергосилових параметрів процесу деформації металу на цьому стані обґрунтована можливість холодної прокатки за 1 пропуск наклепаних штаб розміром $h \times B = 0,38 \times 1020$ мм із сталі 08 кп з максимальним відносним обтисканням (5-10)% і швидкістю прокатки 5 м/с. Показано, що за рахунок використання дресировального стану як прокатно-дресировального можливо розширити сортамент, підвищити показники якості холоднокатаних відносно тонких сталевих штаб та скоротити витрати енергії на пластичну деформацію металу в умовах ЦХП ПАТ «ММК ім. Ілліча».

Список літератури

1. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика. Справочное издание в 2-х книгах. Книга 2. Производство холоднокатаных листов и полос / Ю. В. Коновалов. – М. : Теплотехник, 2008. – 669 с.
 2. Управление качеством тонколистового проката / В.Л. Мазур, А. М. Сафьян, И. Ю. Приходько, А. И. Яценко. – К. : Техника, 1997. – 384 с.
 3. Гарбер Э.А. Производство проката : Справочное издание. Том I. Книга 1. Производство холоднокатаных полос и листов (сортамент, теория, технология, оборудование) / Э.А. Гарбер. – М. : Теплотехник, 2007. – 368 с.
 4. Николаев В.А. Холодная прокатка полос : Учеб. пособие для вузов / В. А. Николаев. - Запорожье : Изд-во ЗГИА, 2004 - 130 с.
 5. Технология прокатного производства : учеб. для вузов / А.П. Грудев, Л.Ф. Машкин, М.И. Ханнин – М. : Металлургия, 1994. – 656 с.
 6. Технология прокатного производства : справочник. В 2-х книгах. Книга 2 / Под ред. В.И. Зюзина и А.В. Третьякова. - М. : Металлургия, 1991 - 423 с.
 7. Сердюк А.И. Определение энергосиловых параметров холодной прокатки тонколистовой стали / А.И. Сердюк, А.Г. Присяжный // Фундаментальные и прикладные проблемы модернизации современного машиностроения и металлургии : Сб. науч. трудов междунар. науч.-техн. конф., посвященной 50-летию кафедры технологии машиностроения ЛГТУ. 17-19 мая 2012 г. – Ч. 2. – Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2012. – С. 285-289.
 8. Прокатные станы. Справочник в 3-х томах. Т. 3. Листопрокатные станы и профилегибочные агрегаты / В.Г. Антипин, Д.К. Нестеров, В.Г. Кизиев [и др.] – М. : Металлургия, 1992. – 428 с.
- Рукопис подано до редакції 12.02.14

УДК 669.162

В.В. ТКАЧ, канд.техн.наук, проф., Д.Ю. БАБОШКО, аспирант
Криворожский национальный университет

ПОЛУЧЕНИЕ ГРАНУЛИРОВАННОГО ЧУГУНА И ШЛАКА ИЗ ТИТАНОМАГНЕТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА НА КОЛЬЦЕВОЙ ПЕЧИ С ВРАЩАЮЩИМСЯ ПОДОМ

Рассматривается возможность способа восстановления титаномагнетитового концентрата на кольцевой печи с вращающимся подом, с дальнейшим качественным механическим разделением на металлическую и шлаковую часть.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Украина входит в пятерку наибольших стран производителей титаносодержащих концентратов в мире. В стране с той или

иной степенью детальности, разведано 26 месторождений титановых руд с запасами находящимися на государственном балансе и балансе горнодобывающих предприятий. Кроме того, еще 48 месторождений, запасы и ресурсы титана которых оценены предварительно. На сегодняшний день, промышленными источниками титанового сырья являются месторождения, содержащие ильменит, рутил, лейкоксен и анатаз. Львиная (около 90%) часть ильменитовых, лейкоксеновых и рутиловых концентратов используются для производства диоксида титана. Из ильменитовых концентратов получают синтетический рутил и титановые шлаки, которые можно использовать как для производства губчатого титана, так и диоксида титана. На производство металлического титана используется 7-10% сырья. Широкие области применения диоксида титана позволяют говорить о том, что потребности промышленности в этом продукте достаточно велики.

Также еще одним из перспективных источников получения титаносодержащего сырья могут послужить титаномагнетитовые руды [1]. Такие руды при их комплексной переработке могут стать дополнительным источником диоксида титана и железорудного сырья для черной металлургии. Комплексная переработка титаномагнетитового сырья, с извлечением всех основных элементов должна быть экономически целесообразна.

Анализ исследований и публикаций. Одна из технологий переработки титаномагнетитовых концентратов предусматривает проведение восстановительной плавки в доменных печах. При наличии в титаномагнетитовых рудах оксида титана выше 4 %, возникают трудности в доменном процессе. Они связаны с образованием тугоплавких соединений титана в результате восстановления твердым углеродом. Это в свою очередь приводит к ряду негативных явлений в доменном процессе: образуются густые шлаки, ухудшается дренаж продуктов плавки в горне, требуется увеличение температуры, повышаются потери железа со шлаком.

Применяемый нами титаномагнетитовый концентрат является непригодным для доменной плавки из-за высокого содержания в нем оксида титана.

По этому поводу можно процитировать высказывание академика Павлова М.А.: “Так гладко, как обычные руды, титаномагнетиты плавиться не будут – это нужно признать заранее”.

Над решением усовершенствования технологии переработки титаномагнетитовых руд, направлены исследовательские работы Резниченко В. А., Карязина И. А., Садыхова Г. Б., Асанова А. В., Майорова Л. А. и др. Ими предлагаются комплексные технологические схемы переработки титаномагнетитовых и ильменитовых концентратов из руд ряда месторождений, которые предусматривают частичное предварительное восстановление железа в трубчатой печи, проплавку в рудотермических электропечах с получением ванадиевого чугуна и титанового шлака, пригодного для последующего извлечения титана и ванадия[2].

Из всех существующих на данный момент технологий переработки титаномагнетитовых концентратов наиболее значимой является пирометаллургическая комплексная схема двухстадийного восстановления, разработана специалистами ИМЕТ РАН. Извлечение железа в чугун не превышает 92%, а титановый шлак содержит до 67,3 % TiO_2 . Основным ее недостатком является то, что на электроплавку направляется весь объем частично восстановленного продукта включающий не только шлаковую, но и металлическую фракцию[3]. Это сопровождается избыточным расходом электроэнергии и приводит к неэффективному разделению продуктов.

Постановка задачи. Вопросы комплексного использования природных ресурсов с применением энергосберегающих безотходных технологий на данный момент очень актуальны. Поэтому исследование способа переработки титаномагнетитового концентрата с последующим извлечением из него железа и титанового шлака простым и энергетически экономным методом является перспективным в металлургической отрасли.

Изложение материала. Для проведения экспериментальных исследований комплексной переработки был использован титаномагнетитовый концентрат Кропивенского месторождения, который имел следующий химический состав: 22,03 % TiO_2 , 51,99 % $Fe_{общ.}$, 0,516 % V_2O_5 , 0,49 % P_2O_5 и 1,2 % S. Содержание в нем около 0,5% оксида ванадия повышает его промышленную ценность. Основными минералами, содержащими железо и титан, являются титаномагнетит и ильменит. Установлено, что исходный титаномагнетитовый концентрат является твердым раствором оксида титана в магнетите.

Диаметр средней линии пода кольцевой печи - 0,8 м, максимальная эффективная ширина пода - 1,1 м, номинальная электрическая мощность - 45 кВт.

Восстановление проводили на неокомкованном и окускованном шихтовом материале. Шихта состояла из титаномагнетитового концентрата, восстановителя, флюса и связующего. Однородную по составу шихту подвергали окускованию с получением окатышей 5-10мм и брикетов объемной массой 10-20 г, которые содержали 18-21% углерода. На основании проведенных теоретических расчетов оптимальное количество восстановителя в шихте должно составлять примерно 18-21% углерода от массы титаномагнетита.

Окускованный титаномагнетитовый концентрат поддавался термической обработке в кольцевой печи с вращающимся подом. Концентрат при вращении пода печи последовательно проходил следующие технологические зоны:

- зону загрузки-разгрузки, которая не обогревается;
- зону нагрева с рабочей температурой 1000-1150 °С;
- зону восстановления с температурой 1200-1300 °С;
- зону плавления с температурой 1400-1500 °С.

Сначала была испытана схема загрузки неокомкованного концентрата. Тепловая восстановительная обработка измельченного концентрата без окускования приводит к неравномерной и низкой степени его восстановления из-за нарушения газо- и теплообмена в насыпном слое шихты. При температурах 1400-1500 °С на поверхности засыпки образовывалась плотная газо- непроницаемая корка. Степень металлизации засыпки не превышал 30 %. Поэтому в дальнейшем использовали окускованный титаномагнетитовый концентрат в виде окатышей (брикетов).

При температуре, превышающей температуру плавления чугуна, элементы металлического каркаса под действием силы поверхностного натяжения начнут коагулировать с образованием гранул сферической или близкой к ней формы [4]. Добавка 2-4 % плавикового шпата способствует снижению вязкости шлака, улучшению условия отделения восстановленного железа от шлаковой фазы.

Результаты исследований фазового состава исходного концентрата и продуктов его металлизации показали:

восстановление железа твердым углеродом начинается при температуре примерно 1100 С;

для практически полного восстановления железа при минимальном восстановлении титана необходимо выдерживать окатыши (брикеты) при температуре 1250-1300 °С в течение 30-40 мин., при этом выход и крупность металлических гранул увеличивается (рис. 1).

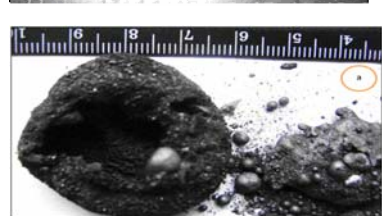
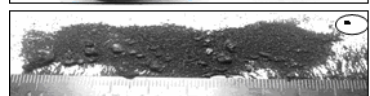
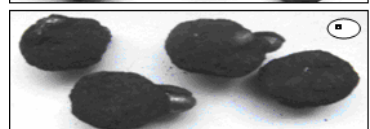
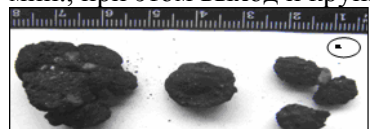


Рис.1 Форма и размер выделенных металлических гранул в процессе восстановительного обжига при температуре 1250-1300 °С

Последующий нагрев окатышей (брикетов) до температуры 1400-1500 °С и выдержка 10-20 мин., дает возможность получить железные металлические гранулы крупностью до 10-15 мм.

На рис. 2 изображены размеры и формы выделенных металлических гранул.

После восстановления титаномагнетитовые окатыши (брикеты) представляли легко разрушаемый спек из прочных восстановленных гранул.

Рис. 2. Форма и размер выделенных металлических гранул в процессе восстановительного обжига при температуре 1400-1500 °С

Содержание железа в металлической фракции составило 92-95,6 %, ванадия 0,3-0,6%, серы 0,4-0,5 %, углерода 2,5-4 %.

Химический состав конечного шлакового материала изменялся в следующих пределах %: 5,5 - 14,0 Fe_{общ.}, 0,22 - 0,64 V₂O₅; 12,5 - 22,0 CaO; 7,91 -18,7 SiO₂; 45,5-65,0 TiO₂; 4,7-6,9 MgO; 8,1-16,7 Al₂O₃.

Таким образом, проведенные исследования показали, что при плавке титаномагнетитовых окатышей (брикетов) в условиях кольцевой печи удалось получить шлак с массовой долей до 65% TiO₂ и содержанием V₂O₅ до 0,64 %.

Это свидетельствует о возможности реализации, технологии получения легированного чугуна и титанового шлака на кольцевой печи с вращающимся подом.

Выводы и направление дальнейших исследований. Подводя итог всему сказанному, следует отметить, что в данной технологии предлагается использовать нагрев, восстановление и плавление рудугольных окатышей (брикетов), из титаномагнетитового концентрата в одном агрегате, в отличие от предыдущих работ.

Дальнейшие исследования направить на изучение фазовых превращений в титаномагнетитовых концентратах при твердофазном восстановлении в кольцевой печи с вращающимся подом.

Список литературы

1. <http://www.ukrbiznes.com> Титановая отрасль Украины. Минерально-сырьевая база.
2. Пирометаллургическая переработка комплексных руд. Лещтгев Л.И., Ватолин Н.А., Шаврин С.В., Шумаков Н.С., - М.: Metallurgy, 1997 - 432с.
3. Автореферат диссертации "Изучение закономерностей формирования и разделения металлической и шлаковой фаз в процессе карботермического восстановления титаномагнетитового концентрата" Майорова Л.А.
4. Губин Г.В., Пивень В.О. Современные промышленные способы бескоксовой металлургии железа/ - Кривой Рог; 2010 – 336 с.

Рукопись поступила в редакцию 17.02.14

УДК 621.82:621.926.5

Ю.А. МАЛИНОВСКИЙ, С.И. МАЛИНОВСКАЯ, кандидаты техн. наук, доц.,
А.Ю. МАЛИНОВСКАЯ, ст. преподаватель, Криворожский национальный университет
О.И. БАРАНОВА, преподаватель, Криворожский коксохимический техникум

К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ДВУХКАМЕРНЫХ МЕЛЬНИЦ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУДНОГО СЫРЬЯ

Выполнено обоснование эффективности использования двухкамерных шаровых мельниц для переработки железорудного сырья. Даны рекомендации по усовершенствованию конструкции барабана и приводных механизмов.

На ряде предприятий для измельчения сырьевых материалов получили распространение двухкамерные мельницы МЦ 3,2×15 (производительностью 100 т/час по готовому сухому продукту) и МЦ 4×13,5 (производительностью 145 т/час по сухому продукту) (рис.1).

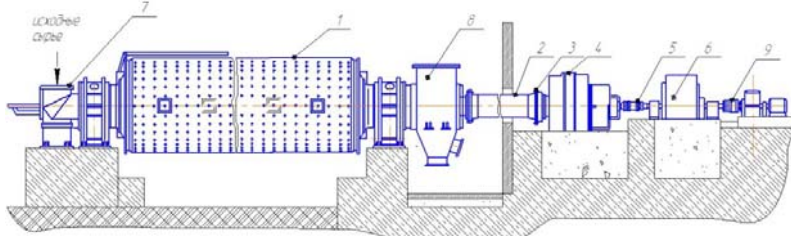


Рис. 1. Общий вид мельницы: 1 - барабан; 2 - провал; 3 - зубчатая муфта; 4 - планетарный редуктор; 5 - зубчатые муфты; 6 - приводной электродвигатель; 7 - устройство загрузки сырья; 8 - устройство выгрузки промпродукта; 9 - вспомогательный привод

В частности, такие мельницы используются для измельчения цементного клинкера и являются перспективными для их использования на горнорудных предприятиях при измельчении железорудного сырья. Преимущества этих мельниц очевидны потому, что во-первых две стадии измельчения можно осуществить в одном барабане, во-вторых осуществление процесса измельчения в «сухой» среде позволяет, в конечном счете, либо полностью исключить хвостовое хозяйство с системой технического водоснабжения и уменьшить нагрузку на отделение сушки концентрата либо максимально уменьшить размеры системы оборотного водоснабжения, при использовании полной или частичной «сухой» магнитной сепарации.

При таком подходе имеется возможность экономии на общеэксплуатационных расходах по обслуживанию мельниц, а также экономии по содержанию хвостового хозяйства горнообогатительных предприятий. Затратная часть, связанная с мокрой схемой обогащения значительно сократится и полученные отдельные пески в «сухом» виде могут быть легко заскладированы.

В случае использования таких мельниц для измельчения рудного сырья из-за разницы в насыпных массах руды и цементного клинкера нагрузка на корпус мельницы и привод существ-

венно возрастут. Поэтому, корпуса мельниц должны быть усилены за счет увеличения толщины обечаек до толщины обечаек рудных мельниц МШ 4,5×6 и МШ 4×7,5, а также за счет установки на барабан продольных ребер, например, в количестве 12 штук. Конфигурации футеровок двухкамерных мельниц должны по возможности повторить конфигурации футеровок рудных мельниц с Ø 4 и Ø 4,5 м.

Следует отметить, что футеровки должны быть уложены в барабане на упругие резиновые элементы (отходы конвейерной ленты) с правильным выбором параметров этих прокладок, которые уменьшат динамические нагрузки на футеровки [1]. Механизм разрушения футеровок нам представляется следующим образом. Перемещающиеся в барабане шары, в основном при «водопадном» режиме их движения, после многочисленных столкновений их с кусками руды, потеряв значительную часть своей кинематической энергии, соударяются с жестко закрепленной на барабане футеровкой, при этом коэффициент динамического взаимодействия шаров и футеровки обычно достигает значения $k_d \geq 6$. При многочисленном воздействии шаров на футеровки происходит наклеп взаимодействующих в результате измельчения поверхностей.

В результате возрастания твердости шаров и футеровок (до значения $HRC \geq 45$) происходит растрескивание их поверхностных слоев. При этом шаровая загрузка с измельчаемой рудой постоянно проскальзывает относительно барабана, а также постоянно происходит скольжение шаров по внутренним круговым и линейным траекториям в процессе перемещения руды в барабане. Эти процессы также протекают при значительных динамических нагрузках, что приводит к быстрому износу шаров и футеровок барабана. Такие негативные явления также могут быть несколько ослаблены за счет упругого закрепления футеровки в барабане, что позволяет уменьшить интенсивность динамического взаимодействия шаров и футеровок. Такой подход позволяет уменьшить ударную составляющую нагрузок при взаимодействии шаров и барабана, не влияя при этом на сам процесс силового взаимодействия шаров и руды.

Рассмотрим взаимодействие приводных механизмов и барабана. Вращающий момент от приводного двигателя через редуктор и промвал передается на барабан. В качестве приводного механизма для двухкамерных мельниц целесообразно использовать соосный планетарный редуктор типа CPU-22, применяемый на серийных мельницах МЦ 4,0×13,5.

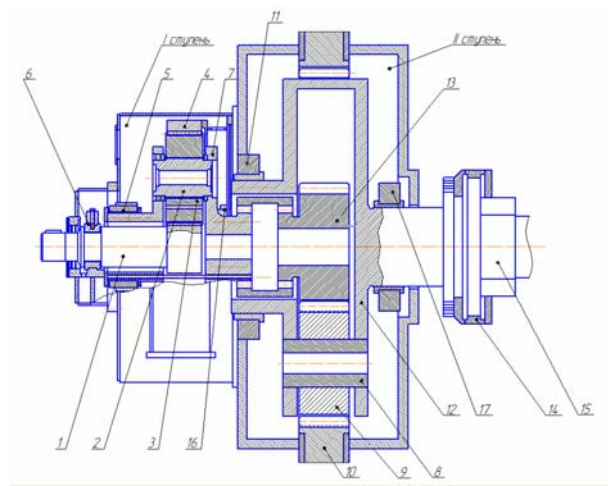


Рис. 2. Планетарный редуктор существующей конструкции: 1 - вал-шестерня I ступени; 2,8 - ось сателлита; 3,9 - сателлит; 4,10 - зубчатый венец; 5,11,16,17 - подшипники скольжения водила; 6 - подшипник скольжения вала-шестерни I ступени; 7,12 - водило; 13 - солнечная шестерня II ступени; 14 - зубчатая муфта; 15 - промвал

Использование редукторов этого типа позволяет выполнить «легким» и компактным весь привод.

Рассмотрим некоторые конструктивные особенности редуктора CPU -22, которые ограничивают процесс интенсификации помола в двухкамерных мельницах при измельчении в них по «сухому» способу рудных материалов. Как следует из работы [2] I ступень планетарного соосного редуктора рис. 2 спроектирована так, что первичная вал-шестерня (приводная) - 1 является источником высокочастотных вибраций даже при «статическом» приложении нагрузки от барабана, заполненного сыпучей средой (измельчаемый материал и помольные шары), к водилу II ступени редуктора - 12 через промвал.

Фактически характер перемещения измельчаемой массы и шаров в барабане приводит к значительным динамическим нагрузкам в промвале и II и I ступенях редуктора, причем колебания этих нагрузок имеют низкочастотный характер, происходящих с основной частотой колебаний системы барабан-промвал-редуктор-электродвигатель [3]. Поэтому, при использовании двухкамерных мельниц для измельчения железорудного сырья, как уже отмечалось, динамические нагрузки передающиеся на барабан от взаимодействующих шаров и руды, необходимо уменьшить за счет упругой установки футеровок в барабане, а динамические нагрузки, вы-

званные проскальзыванием руды и шаров в барабане (относительно футеровки и смежных шаров) необходимо уменьшить за счет установки в элементах привода вместо «жестких» зубчатых муфт - упругие муфты (желательно лучевые) с оптимальной настройкой [4].

Для того, чтобы выбрать правильное конструктивное решение планетарного редуктора рассмотрим конструктивные схемы серийного редуктора CPU-22 ($U=30,6$) и двух модернизированных редукторов. Обратимся, предварительно, к редуктору CPU-22, см. рис. 2, серийно выпускаемому заводом ОАО «Волгоцеммаш» для комплектации мельниц МЦ 4,0×13,5, и в частности к валу-шестерне I ступени редуктора - 1. При этом относительно длинная цилиндрическая часть детали имеет фактически только одну опору (короткий подшипник скольжения - 6). В качестве второй опоры вала-шестерни принята его зубчатая часть, которая взаимодействует с тремя сателлитами I ступени, имеющими незначительную конусность (бочкообразные зубья), обращенную в сторону приводного двигателя. Указанная конструктивная особенность зацепления при передаче крутящего момента приводит к выборке радиальных зазоров в зацеплении, и как следствие вызывает прогрессирующие радиальные биения зубчатой части вала-шестерни - 1 и дальнейшее ее разрушение, а также подшипника скольжения - 6, и сателлитов - 3 и осей сателлитов - 2.

Обратимся к планетарному редуктору I-й модификации (рис. 3), который отличается от серийного редуктора (см. рис. 2) тем, что вал-шестерня имеет в переднем кожухе дополнительную опору скольжения - 6, которая взаимодействует с удлиненной частью вала-шестерни - 1 (вал-шестерня удлиняется примерно на 500-600 мм).

Редуктор, выполненный по II-й модификации, рис. 4, отличается от серийного редуктора тем, что вал-шестерня I ступени имеет дополнительную опору скольжения в задней части стенки I ступени, в виде кольцевого подшипника скольжения - 18, с внутренней рабочей поверхностью.

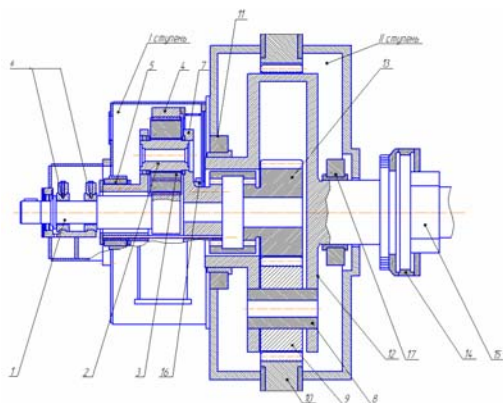


Рис. 3. Планетарный редуктор предлагаемой конструкции (1 вариант): 1 - вал-шестерня I ступени; 2,8 - ось сателлита; 3,9 - сателлит; 4,10 - зубчатый венец; 5,11,16,17 - подшипники скольжения водила; 6 - подшипники скольжения вала-шестерни I ступени; 7,12 - водило; 13 - солнечная шестерня II ступени; 14 - зубчатая муфта; 15 - провал

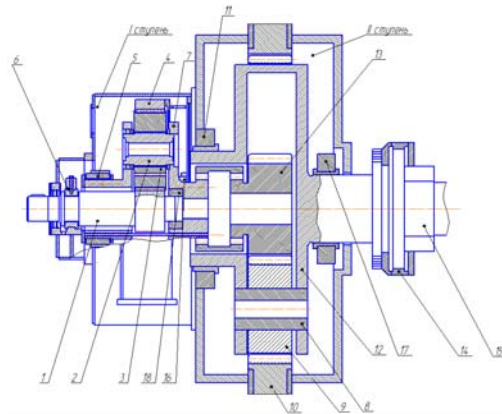


Рис. 4. Планетарный редуктор предлагаемой конструкции (2 вариант): 1 - вал-шестерня I ступени; 2,8 - ось сателлита; 3,9 - сателлит; 4,10 - зубчатый венец; 5,11,16,17 - подшипники скольжения водила; 6 - подшипники скольжения вала-шестерни I ступени; 7,12 - водило; 13 - солнечная шестерня II ступени; 14 - зубчатая муфта; 15 - провал; 18 - подшипник скольжения (втулка вала-шестерни)

При этом первичная вал-шестерня со стороны зубьев имеет цилиндрический выступ (шип), входящий в дополнительный кольцевой подшипник - 18.

Из рассмотренных конструктивных решений планетарного редуктора необходимо выбрать наиболее компактный, надежный и «жесткий» редуктор. Для достижения поставленной цели необходимо сравнить углы поворота (перекоса) от силы (единичной), приложенной в плоскости параллельной плоскости зацепления для различных модификаций редуктора γ_i .

Из рассмотренных конструктивных решений планетарного редуктора необходимо выбрать наиболее компактный, надежный и «жесткий» редуктор. Для достижения поставленной цели необходимо сравнить углы поворота (перекоса) от силы (единичной), приложенной в плоскости параллельной плоскости зацепления для различных модификаций редуктора γ_i .

Для существующего редуктора, см. рис. 2, угол поворота вала-шестерни от единичной силы определится, согласно [5]

$$\bar{\gamma}_{11} = \frac{l_i^2}{3EI_2}(1+1,5\bar{a})\bar{a}, \quad (1)$$

где $\bar{a} = a/l \geq 1$; a - расстояние от середины зубчатой части вала-шестерни до ближней кромки подшипника скольжения; l - ширина подшипника скольжения; E - модуль упругости материала вала-шестерни; I_2 - момент инерции сечения вала (усредненный).

Анализируя формулу (1) сделаем вывод, что угол поворота вала-шестерни $\bar{\gamma}$ (или γ) пропорционален квадрату длины консольной части вала-шестерни (при прочих равных условиях).

Для серийного редуктора СРУ-22 угол поворота вала-шестерни $\bar{\gamma}_{11}$ является чисто деформационным. Однако, помимо деформационного угла поворота вала-шестерни, имеет место геометрический угол поворота, обусловленный тем, что вал-шестерня фактически имеет одну опору скольжения, расположенную в малом переднем кожухе I ступени, в качестве второй опоры условно можно считать три сателлита имеющие скос зубьев в сторону малого переднего кожуха редуктора в силу имеющегося зазора в зацеплении - Δ . В ряде положений вала-шестерни этот «абсолютный» зазор выбирается и имеет место так называемый угловой перекося вала-шестерни

$$\delta = \Delta/a + l, \quad (2)$$

где Δ - абсолютный зазор в зацеплении I ступени.

Поэтому к углу поворота вала-шестерни $\bar{\gamma}_{11}$, обусловленному его деформацией под действием усилия в зацеплении (P_3) необходимо добавить угловой перенос δ .

Таким образом, угловой перенос в зацеплении вала-шестерни I ступени и сателлитов для серийного редуктора будет равен $\gamma_{11} + \delta$ и зависит от квадрата длины консольной части вала-шестерни, а также от абсолютного зазора в зацеплении.

Для предлагаемого конструктивного исполнения редуктора по I варианту угол поворота (перекося) вала-шестерни от единичной силы, обусловлен только деформационной составляющей [5] и будет равен

$$\bar{\gamma}_{12} = \frac{l_1^2}{3EI}(1+1,5\bar{a}')\bar{a}', \quad (3)$$

где $\bar{a}' = a'/l'$; a' - расстояние от внутренней опоры вала-шестерни до середины зубчатой части вала-шестерни; длина консольной части l' - расстояние между опорами вала-шестерни (см. рис. 3)

$$\bar{a}' = a'/l' \approx 1.$$

Таким образом, угол поворота вала-шестерни изменяется пропорционально квадрату длины консольной части вала-шестерни, при этом $\bar{a} \gg \bar{a}'$, тогда $\bar{\gamma}_{11} \gg \bar{\gamma}_{12}$.

Также для I модификации редуктора отсутствует геометрическая составляющая угла поворота вала-шестерни, поэтому

$$\gamma_{12} \ll \gamma_{11} + \delta. \quad (4)$$

В результате проведенного анализа установлено, что для I модификации редуктора характерна меньшая угловая деформация при работе приводного вала-шестерни, поэтому надежность и долговечность I ступени модифицированного редуктора будет выше, чем для серийного редуктора.

Для предлагаемого конструктивного решения редуктора по II варианту (рис. 4) при расположении вала-шестерни в пролете между двумя опорами скольжения угол поворота вала-шестерни от единичной силы определяется следующим образом [5]

$$\bar{\gamma}_{13} = \frac{l_1^2}{3EI_2}(1-\bar{b}')\bar{b}'(1-2\bar{b}'), \quad (5)$$

где $\bar{b}' = (b'/l_1) < 1$; $b' \approx a$; $1-\bar{b}' \ll 1$; $1-2\bar{b}' \ll 1$.

В приведенных выражениях l_1' - расстояние между опорами вала-шестерни, расположенными по разные стороны от зубчатой части; b' - расстояние от левой опоры вала-шестерни до середины зубчатой части.

Таким образом, угол поворота вала-шестерни для II модификации редуктора будет меньше чем величина пропорциональная кубу b' , то есть будет иметь место неравенство

$$\bar{\gamma}_{13} \ll \bar{\gamma}_{12}. \quad (6)$$

С учетом того что углы поворота сателлитов I ступени для всех модификаций редуктора будут одинаковы.

Из анализа углов поворота вала-шестерни для всех трех модификаций редуктора получаем неравенство

$$\bar{\gamma}_{13} \ll \bar{\gamma}_{12} \ll \bar{\gamma}_{11}. \quad (7)$$

На основании проведенного анализа трех модификаций редуктора следует, что редуктор II модификации будет иметь габариты серийного редуктора, обладать большей «жесткостью» и надежностью и поэтому промышленное использование таких редукторов является более предпочтительным при комплектации двухкамерных мельниц, как для измельчения цементного клинкера, так и железорудного сырья.

Список литературы

1. К. G. Eriksson, G. Marielund, A. Л. Гребенщиков, В. Ю. Фищев. Развитие системы мельничных футеровок. Горная промышленность. N1, 2003, с. 24-30, Россия, Москва изд-во МГТУ.
2. Малиновский Ю. А., Малиновская С. И., Малиновская Е. Ю. Модернизация приводных механизмов трубных мельниц при их использовании для измельчения рудных материалов. Гірничний вісник 95(1), Кривий Ріг 2012, с. 158-161.
3. Малиновский Ю. А., Малиновская С. И., Малиновская А. Ю., Бондарец А. А. Некоторые особенности выбора параметров и расчета устройств для снижения уровня динамических нагрузок в приводах измельчительных машин. Разработка рудных месторождений. Выпуск 93, Кривой Рог, 2010, с. 116-119.
4. Малиновский Ю. А., Малиновская С. И., Бондарец А. А. Особенности выбора параметров и расчета упругих муфт в приводах крупных мельниц для измельчения железного сырья. В сб. научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2009. Т. 1 Технические науки. Одесса 2009, с. 34-39.
5. Биргер И. А., Шорр Б. Ф., Иосилевич Г. Б. Расчет на прочность деталей машин: Справочник 3 изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979, 702с.

Рукопись поступила в редакцию 17.01.14

УДК 531.53 (076.5)

С.В. ПОВАР, канд. пед. наук, доц., Криворізький національний університет

ЕНТРОПІЯ, ХАОС І ПОРЯДОК (СУЧАСНЕ РОЗУМІННЯ)

Запропоновано інтегративний підхід до висвітлення понять *ентропія, хаос і порядок* - з точки зору термодинаміки, теорії ймовірностей і матстатистики, МКТ, синергетики. Надано зведену таблицю формул, графіків і схем теплових процесів.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. «Наука - це ясне пізнання істини, просвітлення розуму, ... всюди вірний і нерозлучний супутник» - стверджував М.В. Ломоносов. Концепції природничих наук протягом останніх десятиліть постійно оновлюються (сьогодні це дуже відчутно). Світоглядні горизонти розширюються. Університетська освіта цьому сприяє. У випускника формується здатність до самоосвіти, підвищується рівень логічного і творчого мислення. Сприяття цьому покликане, зокрема, *навчально-методичне забезпечення* - підручники, навчальні посібники, методичні розробки. Але тут, на жаль, є проблема - спостерігається тенденція їх *відставання* (особливо це стосується підручників).

Відшукування шляхів вирішення цієї проблеми входить до обов'язків викладача. Власна педагогічна практика та аналіз підручників і посібників з курсу фізики показують, що найслабшим місцем є введення поняття ентропії: зовсім слабо висвітлені її зв'язки з формулою Больцмана, з теорією ймовірностей; зовсім не показано зв'язків із синергетикою, з порядком і хаосом у їх сучасному розумінні.

З метою інформаційної допомоги студентам у висвітленні даного питання пропонуємо інтегративний підхід.

Аналіз досліджень і публікацій. Як відомо, в кінці ХХ століття закінчено розробку основ *лінійної теорії* нерівноважних процесів, що завершилася створенням *лінійної нерівноважної термодинаміки*. Створюється *лінійна феноменологічна* (пізнання явищ, а не сутностей речей) *теорія* нерівноважних процесів.

Як підсумок розвитку нерівноважної термодинаміки з'явилась абсолютно нова дисципліна - синергетика – наука про самоорганізацію і стійкість різних складних нерівноважних систем: фізичних, хімічних, біологічних, соціальних. Це наука про закони народження порядку із хаосу.

Звідси такі характерні для постнекласичного етапу розвитку науки новації, як:

упровадження ідеї саморозвитку;

наголос на необхідності глобального всебічного погляду на світ («парадигма цілісності»);

широке використання понять: хаос і порядок, нелінійність, невизначеність, ймовірність, ентропія, флуктуації, дисипативні структури;

упровадження ідей і методів синергетики у всі частинні науки.

Назву «синергетика» ввів Хакен Г. (від грецького «синергос» - діючий разом).

Ключові ідеї синергетики:

порядок виникає із **хаосу**; **хаос** може бути в якості створюючого начала, конструктивного механізму еволюції;

нелінійність розвитку **складноорганізованих систем** (існує декілька альтернативних шляхів розвитку);

в особливих станах соціального середовища дії однієї людини можуть впливати на макросоціальні процеси;

майбутній стан системи як би формує, змінює її наявний стан.

Синергетика розвивається. Висвітлення питань нерівноважної термодинаміки і синергетики є у нових навчальних посібниках, підручниках, на сторінках періодичних видань та в мережі інтернет.

Розробники нетрадиційної нової концепції самоорганізації - вчені А.М. Саботинський, Б.І. Белоусов, а також їх послідовники - бельгійська школа на чолі з Іллею Пригожином, лауреатом Нобелівської премії (1977 - саме за розробку теорії дисипативних структур).

„Порядок із хаосу” - назва книги І.Р. Пригожина у співавторстві з істориком науки І. Стенгерс. Ця назва характеризує суть досліджень, розпочатих цим видатним ученим у 50-ті роки ХХ ст., які завершилися створенням нерівноважної термодинаміки.

З легкої руки Пригожина було дано нове розуміння «порядку» і «хаосу», показано, що є багато можливих ходів руху Космосу, біосфери та історії.

Постановка завдання. Поняття ентропії - важке для розуміння і сприйняття. Першокурсником воно може бути сприйняте тільки за умов розвинутого дискурсивного мислення (опосередкованого) знання основ термодинаміки, МКТ, теорії ймовірностей, матстатистики.

Мета статті - показати авторське бачення підходу до вивчення понять ентропія, хаос і порядок.

Викладення матеріалу та результати. *Ентропія* - функція стану термодинамічної системи.

Щоб певним чином унаочнити зв'язок ентропії з відомими поняттями термодинамічної температури T та кількості теплоти Q , розглянемо приклад *теплого процесу*.

У посудині є кусок льоду, посудину нагрівають. Лід нагрівається і плавиться. Утворена вода нагрівається, закипає і випаровується (рис. 1).

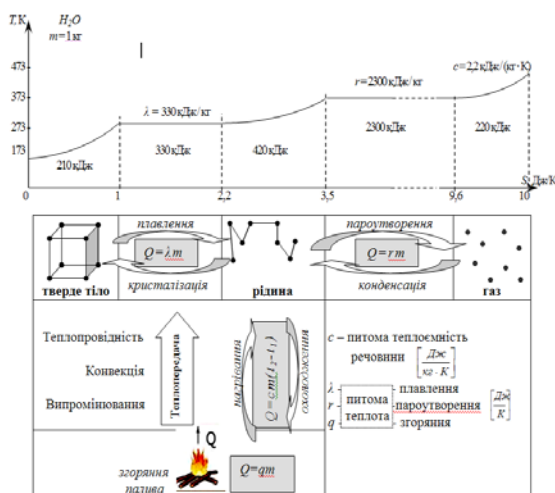


Рис. 1. Зведена таблиця формул і графіків процесу нагрівання H_2O в різних станах

Формула речовини H_2O незмінна у всіх станах речовини. Це прояв *симетрії*. При такій послідовності змін станів речовини (від льоду до пари) зростає хаос: місце знаходження молекули все важче визначити. Міра хаотичності руху молекул речовини - це ентропія S .

Пропонується розглянути графік всіх цих процесів у системі OST . OS - це термодинамічна координатна вісь. Площа під кривою $T(S)$ на кожній ділянці графіка відповідає значенню одержаної відповідної кількості теплоти.

Маємо

$$\Delta S = \Delta Q/T. \quad (1)$$

Зміна ентропії при елементарній зміні стану ізолюваної термодинамічної системи

$$dS = \delta Q/T. \quad (2)$$

При нагріванні системи ($\delta Q > 0$) її ентропія зростає.

Графік дає можливість порівняти ентропію, скажімо, процесу плавлення льоду і процесу кипіння води (для $m=1$ кг) - їх відношення 1:5.

Пригадаємо *ізотермічне розширення газу* (рис. 2).

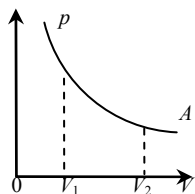


Рис. 2. Ізотерма ідеального газу

За рахунок наданої кількості теплоти ΔQ виконується робота A

$$\Delta Q = A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \nu RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Отже, $\Delta Q = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$, звідки з урахуванням формули (1) маємо

$$\Delta S = \nu R \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (3)$$

Розглянемо приклад обчислення ентропії в *теорії ймовірностей*.

Уявимо собі посудину, розділену перегородкою на дві рівні частини (камери). Нехай у першій частині знаходиться газ, у другій частині пустота. Якщо перегородку прибрати, то молекули газу можуть негайно перейти в другу частину і розподілитися рівномірно по всій посудині.

Тепер припустимо, що газ складається тільки з чотирьох молекул ($N=4$). Тоді можливі $W=16$ розміщень молекул у двох половинах посудини ($2^4=16$).

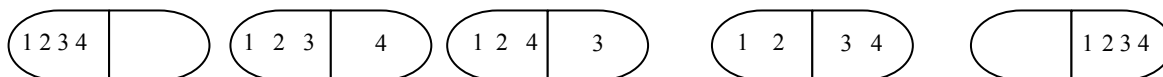


Рис. 3. Варіанти розміщення молекул у двох камерах

У другій половині посудини може бути 0,1,2,3,4 молекули (це дискретна випадкова величина, яку позначимо X із значеннями x_i) з відповідними ймовірностями

$$p_i = \omega_s / 16,$$

де ω_s - частота значення x_i .

Це можна представити таблицею розподілу

x_i	0	1	2	3	4
p_i	1/16	4/16	6/16	4/16	1/16

У теорії ймовірностей ентропія розподілу дискретної випадкової величини визначається формулою це міра ступеня невизначеності розподілу дискретної випадкової величини (міра хаосу)

$$H(X) = -\sum_i p_i \log p_i \quad (4)$$

Для наочності побудуємо полігон ймовірностей.

Тут середнє значення $\bar{X} = 2$. (Формула для обчислення: $\bar{X} = x_1 p_1 + \dots + x_4 p_4$).

Якщо деякі з молекул перемістилися у другу половину посудини, то це означає, що газ розширився. Може статися, що випадково всі 4 молекули попадуть в одну частину посудини.

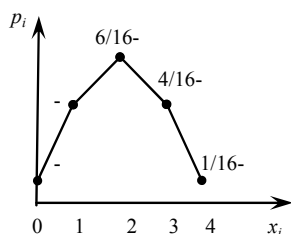


Рис. 4. Полігон ймовірностей

Такого роду відхилення від середніх значень (значні відхилення), які існують у малих масштабах (об'ємах), носять назву **флуктуацій**.

У даному прикладі стандартна флуктуація $\sigma = 1$ (Формула для обчислення: $\sigma = \sqrt{X^2 - \bar{X}^2}$). Майже всі значення X знаходяться у проміжку $X = \bar{X} \pm \sigma$, тобто від 1 до 3.

Зауважимо, що в $V=1\text{см}^3$ повітря є $N=3 \cdot 10^{19}$ молекул (за нормальних умов), а при зверхвисокому вакуумі - порядку 10^5 молекул. Число можливих розміщень 2^N буде дуже великим, і самостиснення газу в одну половину камери може трапитись на надто довгому відрізку часу. Тобто самостиснення - *занадто мало ймовірний* процес. Це *необоротний* процес.

Розглянутий метод - це по суті статистичний метод. Тепер розглянемо *статистико-механічне* розуміння ентропії, яке обґрунтував Л. Больцман для *рівноважних термодинамічних систем*.

Як відомо, **рівноважна термодинамічна система** - це система, у всіх областях якої швидко встановлюється певна температура і довгий час не змінюється.

У таких системах можуть відбуватися лише процеси *деструктивного* характеру, що супроводяться поступовим зростанням *ентропії*.

Необоротний характер процесів пов'язаний з переходом від станів менш ймовірних до станів більш ймовірних. Людвіг Больцман показав, що ентропія S пропорційна логарифму ймовірності даного стану

$$S = k \cdot \ln W, \quad (5)$$

де W - термодинамічна ймовірність даного стану, це число можливих розподілів елементів системи за координатами і швидкостями, тобто це кількість мікростанів, які неперервно змінюють один одного і є мірою неупорядкованості макросвіту.

Очевидною є пропорційність між W і V^N :

$$W \sim V^N, \text{ де } N - \text{кількість молекул у даному об'ємі } V.$$

Тоді матимемо

$$\frac{W_2}{W_1} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^N \quad (6)$$

Оскільки зміна ентропії $\Delta S = S_2 - S_1 = k(\ln W_2 - \ln W_1) = k \ln \frac{W_2}{W_1}$, то, враховуючи формулу (6),

матимемо $\Delta S = k \ln(V_2/V_1)^N = kN \ln(V_2/V_1) = \nu R \ln(V_2/V_1)$.

Прийшли до формули (3) і цим підтвердили рівноправність енергетичного та статистичного підходів до визначення ентропії.

Ентропія системи слугує мірою «обезцінення» її енергії.

Тоді маємо, що друге начало термодинаміки стверджує неможливість зменшення ентропії в ізольованій системі, тобто, що в ізольованій системі $\Delta S \geq 0$.

Класична термодинаміка, яку Людвіг Больцман намагався обґрунтувати за допомогою класичної механіки, описує тільки поведінку *строго ізольованих систем*, близьких до *стану термодинамічної рівноваги*, і які відхиляються від неї *лише в межах чисто статистичних флуктуацій*.

Зауважимо, що в теорії інформації ентропія є мірою невизначеності ситуації.

Але реально існуючі системи не є рівноважними - в окремих їх частинах завдяки флуктуаціям можуть самодовільно з'являтися процеси *самоорганізації*, самовиникнення із хаосу нерівноважних, так званих *дисипативних* структур, які живляться вільною енергією зовнішнього середовища. Приклади таких процесів - перлисті хмари в небі, самозародження життя на Землі та біологічна еволюція.

Але ж у *впорядкованих* системах ентропія менша. Чи це не є порушенням другого начала термодинаміки? Гостра дискусія на цю тему продовжувалась декілька років і, в кінці кінців, завершилась перемогою прибічників строгого виконання *фундаментальних* законів природи.

Але при цьому було зроблено ряд уточнень змісту використовуваних слів. Наприклад, ревізії підлягав смисл поняття «хаос» і поняття «система».

Хаос у рівноважних системах носить суто *статистичний* характер, і ми говоримо лише про ймовірність відхилення системи від стану рівноваги. Реакція такої системи на ту чи іншу збурюючу дію є *лінійною* (вона *прямо пропорційна* збурюючій силі і намагається повернути систему в попередній стан). Так, якщо по гладенькій трубці тече рідина з *невеликою* швидкістю, то в ній випадково виникають малі завихрення. Але вони самі по собі гасяться, і в цілому потік залишається упорядкованим, ламінарним.

Але якщо система *сильно нерівноважна*, тобто має значний надлишок вільної енергії, то в ній може виникнути хаос особливого виду - *динамічний*. Реакція такої системи на збурюючу дію *нелінійна* і може бути як завгодно великою при дуже малому первинному збуренні. Так, якщо швидкість руху рідини по трубці перевищує деяку критичну величину, то найменша неоднорідність цього потоку відразу приведе до катастрофічного перетворення ламінарного потоку в неупорядкований, *турбулентний*.

Однак динамічний хаос визначний тим, що, по-перше, за непередбачуваною поведінкою системи криється строгий *детермінізм* (визначеність) - всі процеси в системі можна математично *розрахувати* з високою точністю. По-друге, особливість такого хаоса, як уже згадувалось, полягає в тому, що він може слугувати джерелом *самозародження* строго упорядкованих структур. Наприклад, у турбулентному потоці можуть виникати *стійкі* вихрі - подібні вихрі можна спостерігати за човном, який швидко пливе. Закономірність виникла із хаоса. Це результат самоорганізації матерії. Отже, хаос за певних умов може породити порядок.

Оскільки для хаотичних систем вводиться *ймовірнісний* опис, з'являється поняття *малоймовірності оборотності процесу*. Виходить, що хаос вводить *стрілу часу*! І ймовірність стає вираженням хаосу. Тепер всі системи, які допускають необоротний ймовірнісний опис, вважаються хаотичними. Тобто Ілля Пригожин перевів *хаос* у позитивний засіб дослідження процесів.

Як бачимо, синергетика - це стежина між безжиттєвими (ньютонівськими) законами і вируючими подіями. Тепер відкриваються нові горизонти і нові нерозв'язані питання.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Наведений огляд стану фізичної науки та її відображення в навчальних посібниках вказує на необхідність поглибленого розгляду окремих понять курсу фізики.

Автором запропоновано інтегративний підхід до вивчення понять ентропія, хаос і порядок, що полягає у наступних кроках:

для розуміння і сприйняття першокурсниками вказаних понять пропонується повторення відповідного матеріалу, що вивчався у середній школі (зокрема через зінтегровану автором таблицю теплових процесів);

з огляду на значущість поняття ентропії в різних науках, його розглянуто в різних аспектах: термодинамічному і статистико-механічному, а також показано зв'язок між ними;

підкреслено узгодженість II начала термодинаміки і високої організованості навколишнього світу (за умови уточнення смислу понять хаос, система та ін.).

Матеріал статті доцільно розмножити і адресувати студентам як додаткову інформацію до вивчення термодинаміки, МКТ та інших теорій.

Список літератури

1. **Повар С.В.** Узагальнюючі таблиці з фізики як засіб формування продуктивного стилю мислення студента // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: зб.наук. праць. Вип. УШ, т.2 – Кривий Ріг: Вид. Відділ НМетАУ, 2010. – С. 275-279.
2. **Пригожин И., Стенгерс И.** Порядок из хаоса / Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1986.- 431 с.
3. **Пригожин И., Стенгерс И.** Время, хаос и квант: К решению парадокса времени.-М.: Прогресс, 1994.-265 с.
4. **Хокинг С.** От большого взрыва до черных дыр. Краткая история времени.-М.: Мир, 1990.- 166 с.
5. **Яворский Б.М., Детлаф А.А.** Справочник по физике: 3-е изд.- М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1990. – 624 с.
6. **Самин Д.К.** 100 великих научных открытий. – М.: Вече. 2002, - 480с.
7. **Хакен Г.** Синергетика / Пер. с нем. – М.: Мир, 1980.
8. **Кучерук І.М., Горбатюк І.Т., Луцик П.П.** Загальний курс фізики: Навч.посібник для студентів вищих техн. і пед. закладів освіти. – К.: Техніка, 1999. – 536 с.
9. **Тарасов Л.В.** Современная физика в средней школе. – М.: Просвещение, 1990. – 288 с.
10. **Осипов А.И.** Термодинамика вчера, сегодня, завтра. Часть 1. Равновесная термодинамика / Соросовский Образовательный Журнал. 1999. №4. – С. 79-85.

Рукопис подано до редакції 17.02.14

УДК 621.86.067.2.5-83

Д.В. БАТРАКОВ, асистент, Ю.Г. ГОРБАЧОВ, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОМАСНОЇ ВІБРАЦІЙНОЇ ТРАНСПОРТУЮЧОЇ МАШИНИ З ІНЕРЦІЙНИМ ПРИВОДОМ

Наведено математичний опис та проведене математичне моделювання динаміки одномасної вібраційної транспортуючої машини з інерційним дебалансним приводом та направленим рухом коливань робочого органу. Проведений аналіз отриманих характеристик при зазначених вихідних динамічних параметрах. Отримані характеристики та залежності можуть використовуватись при оцінці можливості регулювання параметрів амплітуди і частоти

коливань робочого органу для підтримки високої ефективності роботи вібраційної установки.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Підземна розробка запасів корисних копалин в умовах залізрудних шахт Кривбасу проводиться системами з підповерховим і поверховим обваленням, а також поверхово-камерними системами [1-4]. Одною з найбільш трудомістких ланок у цих системах є випуск і доставка руди, витрати на який складають до 25% [2,4,7], що обумовлюється недосконалістю механізмів, значним обсягом робіт з випуску руди та її вторинного дроблення. Розробка покладів корисних копалин пов'язана з переходом на значні глибини, що різко позначається на трудомісткості процесу, збільшення собівартості руди і пред'являє підвищені вимоги до інтенсифікації, концентрації та підвищення ефективності робіт з випуску гірничої маси. Випуск руди в умовах залізрудних шахт криворізького басейна здійснюється одномасними вібромашинами з інерційним приводом типу 1АШЛ, ЛШВ-3,35, ВДПУ-4ТМ, ПВУ, які в недостатній мірі приведені у відповідність з конкретними гірськими умовами, що знижує ефективність їх застосування [4,7].

Одним з основних завдань сучасної теорії і практики вібраційного транспортування руди є оптимізація режимів руху матеріалу по віброуючій поверхні. Оскільки одним з найважливіших показників роботи вібротранспортуючої машини (ВМ) є її продуктивність [3,10,21], що визначається головним чином швидкістю транспортування матеріалу і корисним перетином вантажонесучого органу (ВО), то завдання оптимізації режиму зводиться в основному до відшукування таких значень параметрів ВМ, при яких швидкість переміщення матеріалу буде максимальною в процесі навантаження і мінімально можливою в процесі досипання руди у вагонетки. Враховуючи, що швидкість руху матеріалу по віброуючій поверхні переважно визначається величиною амплітуди і частотою коливань ВО, а також напрямком коливань ВО та кутом нахилу останнього до горизонту [5,10,14,19], стає очевидним актуальність розрахунку і комплексного розгляду амплітудо-частотних, енергетичних, силових, потужнісних та механічних характеристик одномасної вібраційної системи з інерційним приводом, що надає можливість найбільш точного визначення технологічних параметрів віброприводу та їх урахування в процесі дослідження, проектування, та експлуатації вібраційних установок, зокрема для випуску руди.

Аналіз досліджень і публікацій. Важливі питання теорії і розрахунку ВМ та їх робочих характеристик досить широко розглянуті в роботах А. О. Співаковського, І. Ф. Гончаревича, І. І. Блехмана, В.Н. Потураєва, А.Д. Учителя та ін. [3,8-22]. Встановлено, що на рух матеріалу по віброуючій поверхні впливає його об'ємна вага, товщина шару на ВО, гранулометричний склад і форма частинок матеріалу, вологовміст і липкість, пружність частинок, сили зовнішнього і внутрішнього тертя частинок, повітропроникність шару матеріалу і ряд інших факторів. Таке різноманіття факторів, що визначають процес вібротранспортування, ускладнює його дослідження аналітичними методами і ставить відомі межі застосування та узагальнення результатів експериментів. Залежно від зміни властивостей матеріалу для підтримки високої ефективності роботи ВМ необхідним є забезпечення можливості регулювання параметрів амплітуди і частоти коливань ВО. Для визначення робочих характеристик та залежностей необхідний розрахунок динаміки одномасних вібраційних транспортуючих машин.

Викладення матеріалу і результати. На початку математичного моделювання динаміки одномасної вібраційної транспортуючої машини (ВТМ) з інерційним дебалансним приводом побудуємо її розрахункову схему, яка відображає принципові геометричні, кінематичні та динамічні особливості конструкції. При цьому враховується принципова схема машини, яка повинна включати всі основні елементи конструкції.

Частина маси пружних зв'язків та інших елементів рухаються разом з лотком. Частина технологічного навантаження, що переміщується разом з лотком (так звана приєднана маса матеріалу) враховується коефіцієнтом $\lambda=0,1\div 0,4$ [10,14,20,21] і показує, яка частина від всієї маси матеріалу, що транспортується, рухається як одне ціле з ВО. Приведена маса вантажонесучого органу визначається як сума

$$m = m_r + \lambda m_m, \quad (1)$$

де m_r - маса ВО з урахуванням приєднаних мас пружних зв'язків, стійок, підвісок та інших елементів машини, кг; m_m - маса всього матеріалу, що знаходиться на ВО, кг.

Розрахункова схема включає наведену динамічну жорсткість основних пружних зв'язків ВМ C , динамічні і кінематичні параметри її привода: ексцентриситет r , наведену жорсткість

приводних пружних зв'язків C_0 . Внутрішні опори в матеріалі пружних зв'язків, що мають у разі застосування гумових деталей в'язкий характер, враховуються коефіцієнтом μ . Наведені динамічні жорсткості визначаються на підставі загальних правил розрахунку та приведення жорсткостей.

Динамічна розрахункова схема одномасної ВМ з пружним приводом в теорії коливань називається осцилятором (рис.1). Осцилятор володіє одним ступенем свободи відповідно узагальненій координаті x , яка описує рух системи в напрямку робочих коливань. До такої розрахунковій схеми можуть бути приведені одномасні ВМ з направленим рухом ВО, завдяки чому осцилятор є органічною складовою частиною їх розрахункової схеми.

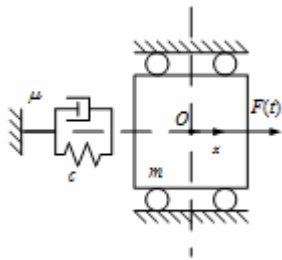


Рис. 1. Осцилятор зі збудовуючою силою $F(t)$

Скориставшись методом Даламбера, складемо рівняння руху лінійного осцилятора, що знаходиться під впливом збудовуючої сили $F(t)$

$$m\ddot{x} = -S + F(t), \quad (2)$$

де S - пружно-в'язка сила, що діє на масу m з боку пружних зв'язків.

Розглянемо питання про внутрішні опори в матеріалі пружних зв'язків. Деформація матеріалів, що застосовуються для виготовлення еластичних зв'язків ВМ, супроводжуються різними пластичними і в'язкими ефектами [6,20-24]. Одним із проявів пружних недосконалостей матеріалів, який має велике практичне значення при їх циклічному деформуванні в ВМ, є пружний гістерезис або так зване внутрішнє тертя (опір). Фізично процес внутрішнього тертя в матеріалі характеризується тим, що на діаграмі напруга - деформація криві навантаження і розвантаження матеріалу не збігаються, утворюючи замкнену петлю. Площа цієї петлі гістерезису пропорційна кількості енергії, яка розсіюється у вигляді тепла за розглянутий цикл деформації. Енергія, що накопичується в пружних зв'язках при багаторазовій циклічній деформації, призводить до їх нагрівання до сталої температури, відповідної тепловому балансу між енергією, яка утворюється в матеріалі, і енергією, що розсіюється в навколишнє середовище.

Як відомо з теорії коливань, опори, що діють в пружній системі, істотно впливають на коливальний процес, головним чином, при резонансі, коли від величини діючих опорів залежать амплітуди коливань і зсув фаз між переміщеннями елементів системи в процесі коливального руху. Необхідним для розрахунку ВМ є урахування внутрішніх опорів в матеріалі пружних зв'язків особливо при проходженні через зону резонансу зарезонансних ВМ, якою є, зокрема, вібролюк типу 1АШЛ. При розрахунках параметрів ВМ з урахуванням внутрішніх опорів велике значення має не тільки сам факт наявності внутрішніх опорів, але і їх величина, що робить істотний вплив як на якісну, так і на кількісну сторону коливального процесу. Величина внутрішніх опорів залежить насамперед від матеріалу пружних зв'язків. В якості основної кількісної міри внутрішніх опорів можна прийняти так званий коефіцієнт поглинання ν , $\nu = (\Delta W/W) = 0,3$ для гуми амортизаційної, що кількісно дорівнює відношенню ΔW енергії необоротно поглиненої тілом за один цикл деформації, до всієї потенційної енергії W , що відповідає амплітуді деформації за той же цикл. Крім залежності від властивостей матеріалу, внутрішні опори істотно залежать від режиму деформації пружного зв'язку – амплітуди і частоти. Практично найбільш зручний спосіб урахування внутрішніх опорів ґрунтується на гіпотезі в'язкого тертя, згідно з якою опори приймаються пропорційними швидкості або частоті деформації пружного зв'язку. Напруга в пружному зв'язку за цією гіпотезою визначається залежністю $\sigma = E\varepsilon + \mu E\dot{\varepsilon}$, де E - динамічний модуль пружності матеріалу пружного зв'язку; ε - відносна динамічна деформація пружного зв'язку; μ – коефіцієнт внутрішніх опорів матеріалу, який визначається експериментально. Урахування внутрішніх опорів при коливаннях пружних систем за допомогою коефіцієнта μ і урахування цих опорів за допомогою декременту загасання принципово не відрізняються, так як декремент загасання δ і коефіцієнт μ пов'язані співвідношенням $\mu = \frac{\nu}{2\pi\omega} = \frac{2\delta}{2\pi\omega} = \frac{\delta}{\pi\omega}$. При розрахунку динаміки ВМ можна застосовувати наступні усереднені значення коефіцієнта μ [21-24]: при роботі гумових деталей на зсув і удар - $(0,6-0,7) \cdot 10^{-3}$ с, при роботі гумових деталей на стиск - $(0,8-1,2) \cdot 10^{-3}$ с.

Вважаючи, що внутрішні опори в матеріалі пружних зв'язків підкорюються гіпотезі в'язкого тертя, пружно-в'язка сила в основних пружних зв'язках при зсуві центру тяжіння O маси m (див. рис. 1) на величину x визначиться виразом

$$S = c(x + \mu \dot{x}). \quad (3)$$

Підставляючи (3) в рівняння (2), отримаємо неоднорідне диференціальне рівняння другого порядку, що описує рух лінійного осцилятора

$$m\ddot{x} + \mu c\dot{x} + cx = F(t) \quad (4)$$

або

$$\ddot{x} + \mu p_1^2 \dot{x} + p_1^2 x = \frac{1}{m} F(t). \quad (5)$$

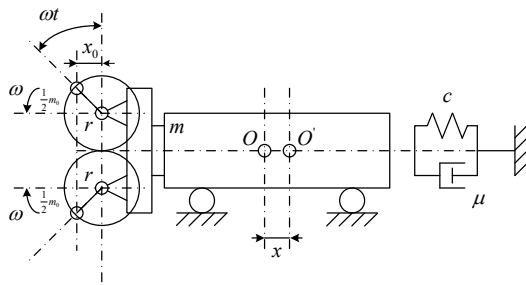
Рівняння (4,5) є основними рівняннями для розрахунку і аналізу одномасних ВТМ з направленим рухом ВО. Вираз збудуючої сили $F(t)$ залежить від типу приводу, встановленого на ВМ. Величина $p = \sqrt{c/m}$ називається власною частотою осцилятора. Резонанс, який виникає в системі (рис. 1), коли частота зміни збудуючої сили приводу $F(t)$ збігається з частотою p_1 є «осциляторним резонансом». Частота p_1 в загальному випадку може відрізнитися від власної частоти системи p , яка залежить не тільки від жорсткості основних пружних зв'язків, але також і від динамічних властивостей приводу (маси дебалансів та ін.).

Динамічна розрахункова схема ВМ з інерційним дебалансним приводом (рис. 2) та направленими коливаннями складається з лінійного осцилятора і приводу, що має два дебалансних вібратора, що обертаються в протифазі. Маса кожного дебаланса становить $0,5m_0$ і розташована на відстані r від осі обертання.

Збудуючі сили діють у напрямі робочих коливань машини, врівноважуючись в напрямку нормального до робочого. Сила, що розвивається приводом при нерухомій (не обуреній) системі

$$F_0(t) = -m_0 \ddot{x}_0, \quad (6)$$

Рис. 2. Розрахункова схема одномасної ВТМ з інерційним приводом та направленим рухом ВО



де проекція на вісь x переміщення дебалансних мас при не збуреній системі

$$x_0 = r \sin \omega t. \quad (7)$$

Під дією приводу центр ваги маси m зміщується на величину x , набуваючи прискорення \ddot{x} , завдяки чому збудуюча сила, що діє на осцилятор, складе

$$F(t) = -m_0(\ddot{x}_0 + \ddot{x}), \quad (8)$$

або після підстановки x_0 з формули (7), отримуємо

$$F(t) = m_0(r\omega^2 \sin \omega t - \ddot{x}). \quad (9)$$

Підставивши в диференціальне рівняння руху осцилятора (2) значення $F(t)$ з виразу (9), отримаємо диференціальне рівняння, що описує рух ВМ з інерційним самобалансним приводом

$$(m + m_0)\ddot{x} + \mu c\dot{x} + cx = m_0 r \omega^2 \sin \omega t. \quad (10)$$

Частинний розв'язок (10), що відповідає сталим коливанням системи, має вигляд

$$x = A \sin(\omega t - \varphi), \quad (11)$$

де амплітуда вимушених коливань системи

$$A = \frac{m_0 r \omega^2}{\sqrt{\mu^2 c^2 \omega^2 + (c - m\omega^2 - m_0\omega^2)^2}}, \quad (12)$$

а кут зсуву фаз між переміщенням x і зміщенням дебалансів приводу x_0

$$\varphi = \arctg \frac{\mu c \omega}{c - m\omega^2 - m_0\omega^2}. \quad (13)$$

Для оцінки збудуючої сили приводу підставимо (11) у вираз (9) і отримуємо

$$F(t) = P \sin(\omega t - \varphi), \quad (14)$$

де амплітуда збудуючої сили приводу

$$P = m_0 r \omega^2 \sqrt{\frac{\mu^2 c^2 \omega^2 + (c - m \omega^2)^2}{\mu^2 c^2 \omega^2 + (c - m \omega^2 - m_0 \omega^2)^2}} \quad (15)$$

і кут зсуву фаз між зсувом дебалансів приводу x_0 і збурюючою силою $F(t)$

$$\psi = \arctg \frac{m_0 \mu c \omega^3}{\mu^2 c^2 \omega^2 + (c - m \omega^2)(c - m \omega^2 - m_0 \omega^2)} \quad (16)$$

Для визначення енергії, що виконується збурюючою силою та розсіюється за один цикл коливань в розглянутій системі з інерційним приводом, розрахуємо петлю гістерезису. Підставляючи в вираз для сили в пружному зв'язку S значення x з формули (7), отримаємо

$$S = cx + \mu c \dot{x} = cA \sin(\omega t - \varphi) + \mu c A \omega \cos(\omega t - \varphi) \quad (17)$$

Виключаючи час t з формул (9) і (14), маємо

$$\bar{S} = cx \pm \mu c A \omega \sqrt{1 - \frac{x^2}{A^2}} \quad (18)$$

Рівняння (18) описує еліптичну петлю гістерезису. Напіввісі еліпсу, виміряні в напрямі координатних осей, складають A і $\mu c A \omega$. Площа петлі гістерезису становить

$$W = \int_{-r}^r \bar{S} dx - \int_{-r}^r \bar{S} dx = c \left[\int_{-r}^r \left(x + \mu A \omega \sqrt{1 - \frac{x^2}{A^2}} \right) dx - \int_{-r}^r \left(x - \mu A \omega \sqrt{1 - \frac{x^2}{A^2}} \right) dx \right] \quad (19)$$

і після підстановки (12) у формулу (19) маємо

$$W = \frac{\pi \mu c m_0^2 r^2 \omega^5}{\mu^2 c^2 \omega^2 + (c - m \omega^2 - m_0 \omega^2)^2} \quad (20)$$

Відповідно потужність, що витрачається на подолання опорів у пружних зв'язках

$$N = \frac{W}{T} = \frac{\mu c m_0^2 r^2 \omega^6}{2[\mu^2 c^2 \omega^2 + (c - m \omega^2 - m_0 \omega^2)^2]} \quad (21)$$

Для більш наочної кількісної оцінки впливу інерційного типу приводу віброустановки на характеристики системи розглянемо чисельний приклад. Вихідні динамічні параметри приводу вібролюка 1АШЛ: осцилятор з приведеною масою $m=5152$ кг; приведена жорсткість основних пружних зв'язків $C=3508 \cdot 10^3$ Н/м; в'язкість основних пружних зв'язків $\mu=0,68 \cdot 10^{-3}$ с при номінальній частоті $\omega=93,724$ с⁻¹; ексцентриситет дебалансів $r=0,087$ м; маса дебалансів $m_0=135,9$ кг; маса ВО $m_r=1500$ кг; маса всього матеріалу, що знаходиться на ВО $m_m=10060$ кг; коефіцієнт приєднаної маси матеріалу для руди $\lambda=0,363$; приєднана маса матеріалу $m_{np}=3652$ кг.

Отримуємо власну резонансну частоту системи $p_{011} = \sqrt{C/(m_{11} + m_0)} = 25,756$ рад/с та осциляторну резонансну частоту системи $p_{011} = \sqrt{C/m_{11}} = 26,094$ рад/с. На рис. 3-7 зображено отримані в результаті математичного моделювання за формулами (12,13,15,20,21) характеристики одномасної вібраційної машини з інерційним приводом.

Розглянемо амплітудо-частотні, енергетичні, силові та потужнісні характеристики одномасної вібраційної системи з інерційним приводом. Отримуємо наступні параметри: при номінальній кутовій частоті обертання дебалансів амплітуда коливань $A_{11}(\omega_n)=0,003$ м, енергія, що розсіюється в пружних зв'язках $W_{11v5}(\omega_n)=4,11$ Дж, значення потужності, що витрачається ВМ на подолання опорів у пружних зв'язках $N_{11v5}(\omega_n)=61,3$ Вт

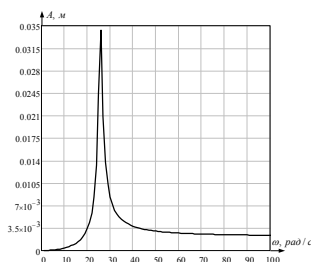


Рис. 3. Амплітудо-частотна характеристика

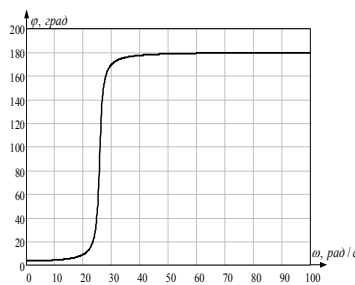


Рис. 5. Частотно-силова характеристика

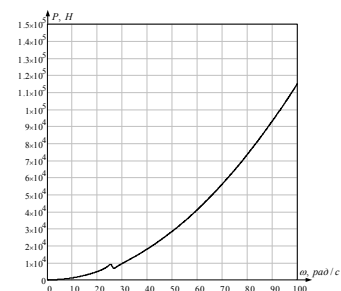


Рис. 4. Фазочастотна характеристика

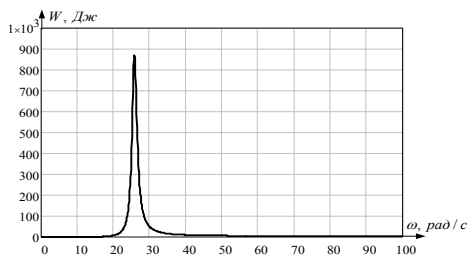


Рис.6. Енергетична характеристика системи

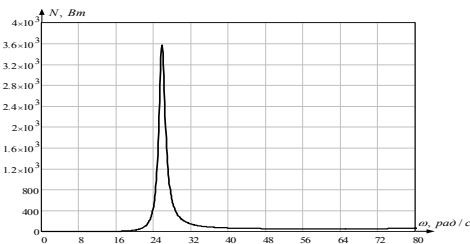


Рис. 7. Потужнісна характеристика

Розглянемо амплітудо-частотні, енергетичні, силові та потужнісні характеристики одномасної вібраційної системи з інерційним приводом. Отримуємо наступні параметри: при номінальній кутовій частоті обертання дебалансів амплітуда коливань $A_{11}(\omega_n)=0,003$ м, енергія, що розсіюється в пружних зв'язках $W_{11v5}(\omega_n)=4,11$ Дж, значення потужності, що витрачається ВМ на подолання опорів у пружних зв'язках $N_{11v5}(\omega_n)=61,3$ Вт. При резонансній частоті обертання дебалансів амплітуда коливань $A_{11}(p_{011})=0,035$ м, енергія $W_{11v5}(p_{011})=866,2$ Дж, а потужність $N_{11}(p_{011})=3551$ Вт.

Кратність максимальної амплітуди коливань до номінальної $A_{11}(p_{011})/A_{11}(\omega_n)=14,5$. Кратність максимальної енергії до номінальної $W_{11v5}(p_{011})/W_{11v5}(\omega_n)=210$.

Кратність потужності при власній резонансній кутовій частоті дебалансів до потужності при номінальній частоті $N_{11}(p_{011})/N_{11v5}(\omega_n)=58$. Отже, максимальна амплітуда коливань при резонансній частоті обертання дебалансів у 14,5 разів більше, ніж амплітуда коливань при номінальній швидкості обертання дебалансів, а енергія у 210 разів, при цьому потужність, що витрачається ВМ на подолання опорів у пружних зв'язках у 58 разів більше, ніж потужність, що витрачається при номінальній швидкості обертання дебалансів.

При $\omega=p$ збурююча сила привода P досягає критичного значення $P_{кр}$, спадаючи до мінімуму при осциляторній частоті $\omega = p_1 = \sqrt{C/m}$. При подальшому збільшенні частоти значення P підвищується майже пропорційно ω .

Висновки і шляхи подальших досліджень. Аналіз характеристик при зазначених вихідних динамічних параметрах показує, що інерційний привод не створює стабільні коливання в резонансній області (рис. 3), а створює їх тільки в до- та зарезонансному режимі роботи. Як видно з графіку, амплітуда коливань при даних параметрах системи є функцією частоти збурюючої сили, причому при резонансі амплітуда досягає максимального значення, а кут зсуву фаз (рис. 4) стає рівним $\pi/2$. Система з інерційним приводом має порівняно невеликі коливання збурюючих зусиль в області практично реалізованих робочих частот (рис. 5). Інерційний привод при резонансі витрачає енергії у багато разів більше, ніж при робочих кутових частотах коливань (рис. 6). В до і за резонансному режимі інерційний привод вимагає вельми малої витрати енергії на подолання внутрішніх опорів. Розглянувши графіки на рис. 6, 7 відзначимо, що вид енергетичних характеристик системи з інерційним приводом за формою кривих аналогічний відповідним амплітудо-частотним характеристикам.

Отже, аналізуючи отримані графіки, можна зробити висновок, що при оцінці і проектуванні систем з інерційним типом приводу необхідно враховувати вагомі пікові значення амплітуди, енергії і потужності, що йде на подолання опорів у пружних зв'язках.

Характеристики та залежності, отримані в результаті розрахунку динаміки одномасної вібраційної транспортуючої машини, можуть використовуватись при оцінці можливості регулювання параметрів амплітуди і частоти коливань робочого органу для підтримки високої ефективності роботи вібраційної установки та при оцінці взаємодії системи «електропривод-вібраційна машина», що і є шляхами подальших досліджень.

Список літератури

1. Ступник Н.И., Письменный С.В. Перспективные технологические варианты дальнейшей отработки железорудных месторождений системами с массовым обрушением руды/ Н.И. Ступник, С.В. Письменный//Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг. – Вип. 30, 2012. – С. 3-7.
2. Чернокур В.Р., Шкробко Г.С., Шелегеда В.И. Добыча руд с поэтажным обрушением/ В.Р. Чернокур, Г.С. Шкробко, В.И. Шелегеда. – М.: Недра, 1992. – 271 с.

3. Учитель А.Д., Гущин В.В. Вибрационный выпуск горной массы/ А.Д. Учитель, В.В. Гущин. – М.: Недра, 1981. – 232 с.
4. Каварма И.И., Кальницкий А.М., Бровко А.В. Опыт применения вибрационного выпуска руды на подземных рудниках Криворожского бассейна/ И.И. Каварма, А.М. Кальницкий, А.В. Бровко. – М.: Экспресс-информация/ин-т «Черметинформация», 1981. – 18 с.
5. Гончаревич И.Ф. Вибротехника в горном производстве/ И.Ф. Гончаревич, – М.: Недра, 1992.–317 с.
6. Потураев В.Н. Элементы конструкций вибрационных транспортно-технологических машин, – К.: Н думка, 1984. – 287 с.
7. Батраков Д.В. Применение вибрационных питателей для выпуска руды в условиях железорудных шахт криворожского бассейна//Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг. – Вип. 34, 2013. – С. 104-108.
8. Спиваковский А. О. Транспорт в горном деле.-М.:Наука,1985 .-127 с.
9. Спиваковский А. О., Гончаревич И. Ф. Вибрационные и волновые транспортирующие машины/ А.О. Спиваковский , И. Ф. Гончаревич.- М.:Наука,1983 .-287 с.
10. Спиваковский А. О., Гончаревич И. Ф. Вибрационные конвейеры, питатели и вспомогательные устройства/ А. О. Спиваковский , И. Ф. Гончаревич.- М.:Машиностроение,1972 .-327 с.
11. Гончаревич И. Ф. Вибрационные грохоты и конвейеры.-М.:Госгортехиздат,1960 .-215 с.
12. Гончаревич И. Ф. Вибрация - нестандартный путь: вибрация в природе и технике.-М.:Наука,1986 .-207 с.
13. Гончаревич И. Ф. Вибротехника в горном производстве.-М.:Недра,1992.-319 с.
14. Гончаревич И. Ф. Динамика вибрационного транспортирования.-М.:Наука,1972.-244 с.
15. Гончаревич И. Ф., Вихнович О. Л. Вибрационные установки для выпуска руды (конструкции, методы расчета, рекомендации по эксплуатации и наладке).-М.:Недра,1967 .-97 с.
16. Гончаревич И. Ф., Фролов К. В. Теория вибрационной техники и технологии/ И. Ф. Гончаревич , К.В. Фролов - М.:Наука,1981 .-319 с.
17. Гончаревич И.Ф.,Сергеев П.А. Вибрационные машины в строительстве/И.Ф. Гончаревич, П.А. Сергеев -М.:Машгиз,1963 .-310 с.
18. Блехман И. И. Что может вибрация?.-М.:Наука,1988 .-207 с.
19. Блехман И. И., Джанелидзе Г. Ю. Вибрационное перемещение/ И. И. Блехман, Г. Ю. Джанелидзе-М.:Наука,1964.-410 с.
20. Потураев В. Н., Белобров В. И., Михайлеченко Е. И. Анализ динамики механических систем на аналоговых ЭВМ/В. Н. Потураев, В. И. Белобров, Е. И. Михайлеченко.-К.:Вища школа,1989 .-150 с.
21. Потураев В. Н., Франчук В. П., Червоненко А. Г. Вибрационные транспортирующие машины: основы теории и расчета/В. Н. Потураев, В. П. Франчук, А. Г. Червоненко.-М.:Машиностроение,1964 .-272 с.
22. Потураев В. Н., Хпажинский Ю. Н., Дырда В. И., др. Элементы конструкций вибрационных транспортно-технологических машин/В. Н. Потураев, Ю. Н. Хпажинский, В. И. Дырда.- К.:Наукова думка,1984 .-124 с.
23. Потураев В. Н., Дырда В. И., Надутый В. П. Резина в горном деле/ В. Н. Потураев, В. И. Дырда, В.П. Надутый. - М.:Недра,1974 .-152 с.
24. Потураев В. Н. Резиновые и резино-металлические детали машин.-М.:Машиностроение,1966 .-299 с.

Рукопис подано до редакції 17.12.13

УДК 681.5.015: 622.7–52

В.Б. ХОЦКІНА, канд. техн.наук, доц., Криворізький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПАКЕТУ MATLAB ДЛЯ ПОБУДОВИ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ

Статтю присвячено розкриттю можливостей використання пакету Matlab Simulinc та узагальнених сигнальних графів для побудови імітаційних моделей на прикладі економічних процесів.

Вступ. Одним з основних завдань використання можливостей інформаційних систем є відтворення пройдішних/майбутніх подій з найбільш високою вірогідністю їх настання та передбачення наслідків. Як зараз очевидно світову економіку, економіку окремих країн, зокрема нашої країни, час від часу приголомшують кризи росту та падіння. Нажаль не існує загального науково-обґрунтованого інструментарію своєчасної оцінки цих явищ, їх запобігання. Це цілком закономірно, бо навіть математиці не під силу формалізувати багатофакторну систему економічних відносин на їх нескінченній множині. А отже, виникає потреба в створенні можливості відтворення того чи іншого явища з метою передбачення, а значить і запобігання найбільш катастрофічних наслідків.

Постановка завдання. Останнім часом з'явився ряд наукових робіт, зокрема роботи Парінова С.І., Ємельянова А.А., Кобелев Н.Б., Кустова А.І. [11-14] в яких обґрунтовуються

загальні позиції методики моделювання економічних ситуацій на базі стандартних пакетів з логістики та технічні можливості використання їх для імітацій різних станів економіки як на локальних рівнях, так і в глобальних масштабах. Практична вагомість імітаційної моделі не стільки в кількісній оцінці, скільки в наочності представлення різних ситуацій поведінки системи та можливості швидкої зміни вхідних параметрів з метою пошуку відповіді на питання: «А що коли...?».

Однією з найбільш цікавих програм, яка представлена на вітчизняному ринку імітаційних програм, є Matlab, зокрема його пакет Simulink. Ця програма має добре розроблений алгоритм побудови імітаційних моделей з використанням розгалуженої бібліотеки. Однак у зв'язку з тим, що широкий споживач не має достатньої кількості інформації по її застосуванню пакет не є популярним на теренах України хоча широко використовується економістами Росії та країн Європи.

Мета роботи. Враховуючи зазначене була поставлена мета практичної реалізації імітаційних моделей певної низки економічних задач на базі пакету Matlab Simulink.

Викладення основного матеріалу досліджень. Вперше у 2003 році до складу системи MATLAB 6.5 ввійшов пакет моделювання динамічних систем - Simulink 5.1. На сьогодні вже розроблена та успішно використовується версія 7.8. Це порівняльно нова і достатньо допрацьована версія популярного пакету, який вже давно вважається за один з кращих пакетів моделювання блокуваних заданих динамічних систем. Програмні засоби моделювання динамічних систем відомі давно, до них відносяться, наприклад, програми Tutsim і LABVIEW for Industrial Automation. Проте для ефективного застосування таких засобів необхідні високошвидкісні потужні пристрої, що не потребує MATLAB. Інтеграція однієї з найшвидших матричних математичних систем - MATLAB з пакетом Simulink відкриває нові можливості використання найсучасніших математичних методів для вирішення завдань динамічного і ситуативного моделювання складних систем і пристроїв.

Пакет Simulink є ядром інтерактивного програмного комплексу, призначеного для математичного моделювання лінійних і нелінійних динамічних систем і пристроїв, представлених своєю функціональною блок-схемою, іменованою S-моделлю або просто моделлю. При цьому можливі різні варіанти моделювання: у тимчасовій області, в частотній області, з по дієвим управлінням, на основі спектральних перетворень Фур'є, з використанням методу Монте-Карло тощо.

Для побудови функціональної блок-схеми модельованих пристроїв Simulink має обширну бібліотеку блокуваних компонентів і зручний редактор блок-схем. Він заснований на графічному інтерфейсі користувача і по суті є типовим засобом візуально-орієнтованого програмування. Використовуючи палітри компонентів (набори), користувач переносить потрібні блоки з палітр на робочий стіл пакету Simulink і сполучає лініями входи і виходи блоків. Отже, створюється блок-схема системи або пристрою, тобто модель.

При побудові моделей пакет Simulink використовує елементи графоаналітичних методів аналізу, при цьому яскраво чітко виокремлюються синергетичні ефекти роботи.

Синергетика (англ. *Synergetics*, від грецького. син - «спільне» і ергос - «дія») - це теорія самоорганізації в системах різноманітної природи. Вона має справу з явищами та процесами, в результаті яких в системі можуть з'явитися властивості, якими не володіє жодна з підсистем. Оскільки йдеться про виявлення та використання загальних закономірностей в різних галузях, тому такий підхід передбачає міждисциплінарність.

Об'єднання з метою вивчення властивостей складних систем аналітичних методів моделювання (теорії графів), з одного боку, та чисельних методів, що закладені в пакеті Simulink, з іншого, дає суттєве спрощення і прискорення процедур побудови та відладки S-моделей. Для теорії графів це дозволяє розширити область її застосування для аналізу нелінійних систем та систем зі змінними параметрами. Відповідно для пакету Simulink використання теорії графів спрощує процедури конструювання моделей та будови програми стійкого алгоритму розрахунків.

Закономірно, що при виборі типу графів, які необхідно використовувати, потрібно керуватися характеристиками системи, яка буде відтворюватися в моделі. Саме ця особливість теорії графів дає можливість відобразити специфіку економічної системи, бо економічна система - це багатогранна система, всі елементи якої перебувають в органічному взаємозв'язку один з одним і не існують поза межами такої єдності. Функціональна подібність з живим організмом надає елементам економічної системи органічну цілісність. Цим ця система відрізняється від

інших, так званих сумативних систем, які складаються з об'єктів, кожний з яких більшою чи меншою мірою автономний і може існувати поза даною цілісністю. Кожна економічна система виокремлюється від інших систем за специфікою базисних характеристик: провідний тип власності на ресурси; основні групи суб'єктів суспільного виробництва і відносини між ними, економічна форма результатів виробництва; принципи організації виробництва, розподілу, обміну і споживання; система економічних законів. Існування економічної системи можливо лише за умови наявності зв'язку між цими характеристиками і потоками продуктообміну. При цьому ці потоки не є хаотичними, а здійснюються за певними алгоритмами, які можливо представити у вигляді математичних моделей. Отже, для побудови моделі з використанням пакету Simulink доцільно використовувати графи, які дозволяють визначити напрям потоків, з одного боку, а з іншого - мінімізувати кількість значень параметрів з метою отримання структурної моделі. Саме такими графами є сигнальні графи.

Сигнальним називають орієнтований граф, що відображає систему лінійних алгебраїчних рівнянь, яка характеризує цільову функцію. Залежно від форм представлення системи лінійних рівнянь визначають такі види сигнальних графів: сигнальні графи Мезона, сигнальні графи Котса, узагальнені сигнальні графи (сигнальні графи Анісімова) та інші [16].

Узагальнені сигнальні графи відображають систему лінійних алгебраїчних рівнянь, які представлені в узагальненій причинно-наслідковій формі, коли в кожному рівнянні одна з шуканих змінних з своїм ваговим коефіцієнтом виражена через інші шукані і параметричні змінні. Узагальнений сигнальний граф має: незважені вершини - джерела, що відповідають параметричним змінним; зважені вершини, що відповідають шуканим змінним і характеризуються вагою, що задана ваговими коефіцієнтами; дуги, що спрямовані від вершин, які відповідають змінним в правих частинах рівнянь, до вершин, що відповідають змінним в лівих частинах рівнянь і характеризуються вагами (передачами), які рівні коефіцієнтам відповідних змінних. Узагальнені сигнальні графи набули широкого використання при побудові моделей електричних ланцюгів, в яких враховується, по-перше, напрям руху, по-друге, можливість побудови різних типів руху (паралельне, послідовне, мішане), по-третє, імітація як лінійних, так і нелінійних процесів. Саме при використанні узагальнених сигнальних графів виявляється синергізм Simulink найбільш чітко. Дійсно, при цьому з'являється можливість простими засобами моделювати (аналізувати) економічні процеси, досліджувати перехідні процеси, ускладнювати елементи моделей, будувати складні моделі з підсистемами тощо. Аналіз досвіду побудови S - моделей дає можливість виокремити узагальнений алгоритм процесу моделювання:

Крок 1. Визначення проблеми та постановка задачі. Побудова математичної моделі з визначенням основних елементів.

Математична модель повинна пов'язувати вхідні незалежні змінні з вихідними залежними змінними, а також з економічною стратегією, тобто зі способом управління економічною системою.

Залежно від специфіки зміни функції, що моделюється, розрізняють наступні типи математичних моделей: неперервно-детермінована (D - схема), дискретно-детермінована (F - схема), дискретно-стохастична (P - схема), неперервно-стохастична (Q-схема).

До неперервно-детермінованих моделей відносяться моделі, що описуються системою звичайних диференціальних рівнянь або диференціальними рівняннями у частинних похідних. В якості незалежної змінної (аргументу) для функції, що визначається, зазвичай є час. Математична модель такого виду відображає динаміку системи і тому називається D-схемою (англ. dynamic).

До дискретно-детермінованих моделей відносяться так звані кінцеві автомати. Автомат можливо представити як деякий прилад, на який подаються вхідні сигнали та знімаються вихідні і який може мати певні внутрішні стани. У кінцевого автомата множина вхідних сигналів і внутрішніх станів є скінченною множиною. Назва F-схема походить від англійського finite automata.

До дискретно-стохастичних моделей відносяться стохастичні автомати, або англійською мовою probabilistic automat. Звідси назва P-схема. У загальному вигляді такий автомат можна визначити як дискретний перетворювач інформації з пам'яттю, функціонування якого в кожному такті залежить лише від стану пам'яті в ньому та може бути описане стохастично.

Прикладом типової схеми неперервно-стохастичного типу може бути схема систем масового обслуговування (СМО), або англійською мовою queueing system. Звідси назва Q-схема.

Крок 2. Будується вибраний тип моделі з використанням узагальнених сигнальних графів. При цьому дотримуються правил:

вершини-джерела задаються блоками з бібліотеки «Sources» в залежності від цілей дослідження. Зазначена бібліотека включає компоненти, що моделюють вхідні параметри математичної моделі, а також компоненти зчитування даних з файлу;

для здійснення перетворення інформації відповідно обираються блоки Integrator з бібліотек «Continuous», «Discrete», а блоки, з можливостями завдання функції обробки вхідних даних, з бібліотеки «User-Defined Functions»;

дуги узагальнених сигнальних графів з одиничною вагою показують зв'язки в S-моделі. Знаки одиничних дуг визначаються параметрами блоку «Sum». З'єднання блоків дугою, з вагою відмінною від одиниці, здійснюється з використанням блоку F-Gain, який дозволяє задати відповідні коефіцієнти зростання/спадання потоку.

Крок 3. Здійснюється настройка параметрів S-моделі.

Крок 4. До S-моделі підключаються необхідні компоненти з бібліотеки «Sink» для виміру відповідних параметрів.

Крок 5. Здійснюється тестування S-моделі та побудова вихідних графіків та діаграм.

Розглянемо реалізацію побудови імітаційних моделей економічних систем з використанням можливостей бібліотеки Simulink [17], [20].

Задача 1. Дослідити залежність наповнення бюджету від розміру податкової ставки та обґрунтувати розмір податкової ставки.

Для рішення цієї задачі використовується неперервно-детермінована модель (D-схема). Будемо математичну модель. Сума податкових надходжень від підприємства за період, що моделюється, накопичується на бюджетних рахунках і може бути представлена формулою

$$BD(t) = \int_{t_1=tb}^{t_2=tf} PRF(t) \cdot TXRT \cdot dt,$$

де $BD(t)$ - сума накопичених грошових засобів в бюджеті від початку моделювання до моменту t , грн.; $PRF(t)$ - дохід підприємства до оподаткування в момент t , грн./рік; $TXRT$ - ставка податку на прибуток; t - поточний час; $t_1=tb$ - початковий момент моделювання; $t_2=tf$ - кінцевий момент моделювання. Прибуток, що капіталізується за час моделювання, розраховується за формулою

$$CP(t) = \int_{t_1=tb}^{t_2=tf} PRF(t) \cdot (1-TXRT) \cdot dt.$$

Прибуток в момент t : $PRF(t) = CP(t) \cdot RN$, де RN - рентабельність капіталу підприємства.

Задаємо вихідні дані для побудови моделі: рентабельність підприємства ($Rntb$) та ставку оподаткування ($TaxRate$), використовуючи блок Constant з бібліотеки «Sources» (початкове значення: крок змін: кінцеве значення).

Функцію накопичення для бізнесу та держбюджету визначаємо блоком дискретного інтегратора Discrete-Time Integrator з бібліотеки «Discrete». При цьому в установках блоку використовуємо Forward Euler - прямий метод Ейлера: апроксимацію $T/(z-1)$ передавальної функції $1/s$.

Вихідний сигнал блоку розраховується за формулою: $y_{(k)} = y_{(k-1)} + T \cdot u_{(k-1)}$, де $y_{(k)}$ - вихідний сигнал інтегратору на k номеру кроку моделювання, $u_{(k-1)}$ - вхідний сигнал інтегратору на $k-1$ кроку моделювання (початкове значення прибутку вводиться користувачем), T - крок дискретизації. Блоки Scope та Display дозволяють візуалізувати розрахунки за моделлю, виводячи на екран відповідно графіки та цифрові дані (рис. 1), за якими видно, що йде неперервне накопичення коштів та зростання податкового навантаження.

Побудована імітаційна модель показує, що такий шлях не приводить до бажаного результату - наповнення бюджету, а навпаки зменшуючи розмір прибутку, що капіталізується, не дозволяє створити підприємствам достатню базу для розвитку.

Це обумовлює зменшення бази оподаткування і цим самим - зменшення надходжень до бюджету. Найбільш прогресивною ставкою на прибуток підприємства є її початкове значення, яке дозволяє отримати постійні стабільні платежі в бюджет та дає можливість капіталізації прибутку підприємств з метою їх подальшого розвитку.

Як видно з наведеної моделі, блоки з'єднуються за допомогою узагальнених сигнальних графів - дуги з одиничною вагою.

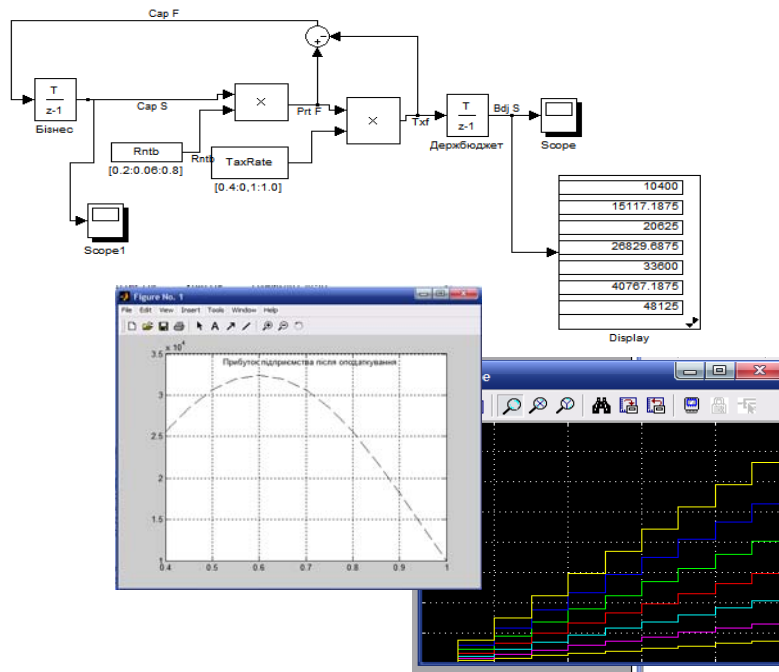


Рис.1. Модель наповнення бюджету за умови підвищення податкової ставки

Для визначення суми прибутку підприємства після оподаткування використовуємо блок Sum, в якому згідно формули міняються знаки дуг, отримуємо відповідне спрямування потоку: розрахунок прибутку підприємства після оподаткування з заданою рентабельністю виробництва.

Задача 2. Дослідити за допомогою імітаційного моделювання причино-наслідкового механізму виникнення циклів та криз перевиробництва: обладнання.

Для рішення цієї задачі використовується дискретно-детермінована модель (*F*-схема).

Будується математична модель та визначаються вихідні дані та блоки накопичення [20].

У даному випадку такі блоки накопичення повинні мати можливість самостійного регулювання: затримки виробництва та стимулювання попиту.

Для цього використовуються блок Saturatio з бібліотеки «Continuous», який дозволяє імітувати затримку обсягів виробництва в порівнянні з попитом (рис. 2).

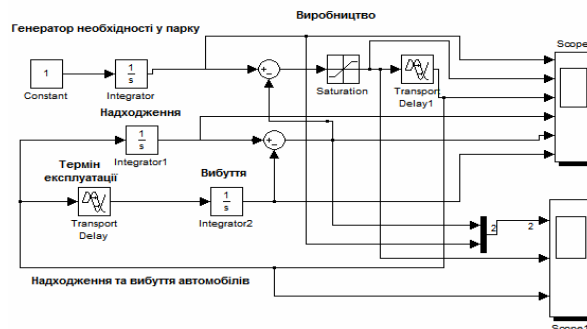


Рис. 2. Блок-схема імітаційної моделі кризи

Для порівняння потреби в обладненні та реальної кількості використовується блок мультиплексування Mux бібліотеки «Signal Routing». Блоки пов'язані між собою дугами з одиначною вагою узагальнених сигнальних графів, які дають можливість не тільки спрямувати інформаційний потік, визначити його знак та напрямок, а й отримати на виході наочні результати у вигляді графіків (рис. 3).

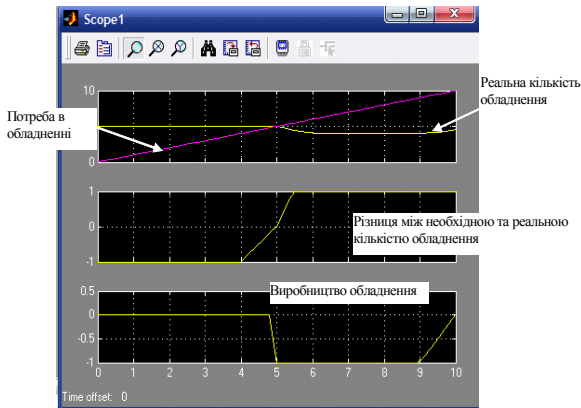


Рис. 3. Результати моделювання – задача 2

паутиноподібна модель, яка є окремим видом дискретно-стохастичної моделі (P-схема).

У спрощеному вигляді найбільш часто така модель будується для малих підприємств.

Це пов'язано з одним з обмежень, що використовується при її побудові: не враховуються запаси накопичені у попередніх періодах (тобто початок нульовий).

Саме це є найбільш характерним для малих підприємств, які не можуть створювати великі товарні запаси, по-перше, з причин додаткових витрат на зберігання, а по-друге - з-за виведення певної суми коштів з обігу, тому в моделі може бути прийнятий за початок нульовий відлік.

При побудові моделі припускають, що попит на T-му відрізку часу має лінійну залежність від поточної ціни, а також попит схильний до випадкового розкиду.

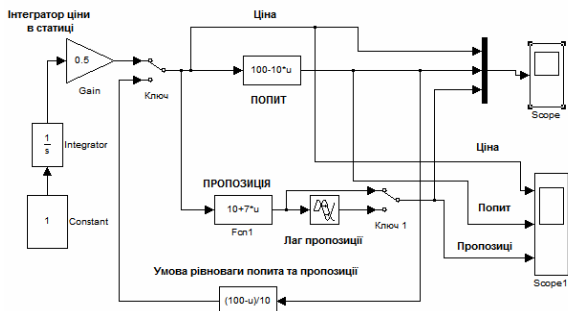
Для опису попиту використовується формула: $D_{md} = D_0 - K_d * P_{rc} + U$, де D_{md} - попит за поточний інтервал часу (T); D_0 - попит при ціні рівній 0; K_d - кривина лінії попиту; P_{rc} - ціна, яка буде визначатися на T-тому відрізку часу; U - випадкова величина, що задана законом розподілу.

За допущенням ціна залежить від лінійної комбінації цін на двох попередніх відрізках часу.

Отже використовуємо наступну залежність $S_{pl} = S_0 - K_s * P_{rc} + V$, де S_{pl} - пропозиція за поточний інтервал часу (T); S_0 - пропозиція при ціні рівній 0; K_s - кривина лінії пропозиції; P_{rc} - ціна, яка буде визначатися на T-му відрізку часу; V - випадкова величина, що задана законом розподілу.

За умови локальної рівноваги ринку $S_{pl} = D_{md} + W$, де W - випадкова величина з заданим розподілом, визначимо: $P_{rc} = (D_0 - S_{pl} + U + W) / K_d$.

Відповідно до математичної моделі будемо імітаційну модель (рис. 4), у якій використовуємо блоки підсилення дуг узагальнених сигнальних графів Gain, блоки функцій з відповідними формулами FCN, блоки ключів Manual Switch.



Аналіз результату свідчить, що потреба в обладненні неухильно зростає, а їх реальна кількість зменшується в результаті старіння парку обладнання. Це і повинно стимулювати виробництво. Однак, виробництво не тільки не встигає за попитом, а й має певні перебої в роботі, пов'язані з загальнодержавною політикою щодо інвестування державних коштів у розвиток підприємництва.

Задача 3. Дослідити умови стабільності цін на деякий продукт на основі аналізу цін за попередні періоди.

Для рішення цієї задачі використовується

паутиноподібна модель фірми (рівноважна ціна)

Отриманий результат згідно імітаційній моделі рис. 5 дозволяє показати вплив параметрів системи D_0, K_d на характер залежності ціни від часу

Рис. 4. Паутиноподібна модель фірми (рівноважна ціна)

Отриманий результат згідно імітаційній моделі рис. 5 дозволяє показати вплив параметрів системи D_0, K_d на характер залежності ціни від часу

Рис. 5. Результати моделювання – задача 3

Рис. 5. Результати моделювання – задача 3

Рис. 5. Результати моделювання – задача 3

Рис. 5. Результати моделювання – задача 3

Рис. 5. Результати моделювання – задача 3

Рис. 5. Результати моделювання – задача 3

Рис. 5. Результати моделювання – задача 3

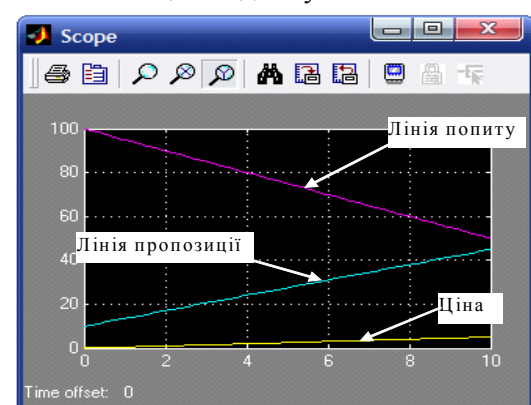


Рис. 5. Результати моделювання – задача 3

Очевидно, цінність Simulink полягає і в обширній, відкритій для вивчення і модифікації бібліотеці компонентів (блоків).

Вона включає джерела сигналів практично з будь-якими часовими залежностями, масштабуючі, лінійні і нелінійні процеси з різноманітними формами характеристик, квантуючі, інтегруючі і диференціюючі блоки системи.

Важливою перевагою пакету є можливість завдання в блоках довільних математичних виразів, що дозволяє вирішувати типові завдання,

користуючись прикладами пакету Simulink або ж просто задаючи нові вирази, що описують роботу модельованих користувачем систем і пристроїв.

Важливою властивістю пакету є і можливість завдання системних функцій (S-функцій) з включенням їх до складу бібліотек Simulink. Необхідно відзначити також можливість моделювання пристроїв і систем у реальному масштабі часу.

Висновок. Отже, реалізація побудови імітаційних моделей на прикладі трьох задач з використанням узагальнених сигнальних графів підтвердила реальність і доцільність використання пакету Matlab Simulink. Як програмний засіб Simulink - типовий представник візуально-орієнтованих мов програмування. На всіх етапах роботи, особливо при підготовці моделей систем, користувач практично не має справи із звичайним програмуванням. Програма в кодах автоматично генерується в процесі введення вибраних блоків компонентів, їх з'єднань і завдання параметрів компонентів.

Засоби візуалізації результатів моделювання в пакеті Simulink настільки наочні, що деколи створюється відчуття, реального запуску системи. Більш того, Simulink практично миттєво міняє математичний опис моделі у міру введення її нових блоків, навіть у тому випадку, коли цей процес супроводжується зміною порядку системи рівнянь і веде до істотної якісної зміни поведінки системи.

Як видно з наведених прикладів, імітаційне моделювання з застосуванням вищезазначеного пакету дозволяє компактно та наочно представляти інформацію про стан системи, що моделюється для швидкого аналізу та прийняття рішень. Оскільки система може бути розкладена на складові представлені у вигляді блоків та зв'язків між ними, то аналіз різних сценаріїв її поведінки забезпечується можливістю зміни параметри в кожному окремому блоці. Це дає можливість дослідити вплив кожного окремого параметру на дієздатність всієї системи. При цьому навіть неспеціалісти можуть змінювати сценарії поведінки системи, які задані наочною зрозумілою схемою у програмній області, швидко змінювати конфігурацію та програвати різні варіанти сценаріїв. Можливість порівняння реальної системи та створеної моделі на базі пакету Simulink дає можливість виокремити причини порушення нормального функціонування як еталону, так і моделі, що відповідно надає можливість користувачеві здійснити передбачення подій та вжити відповідні заходи по уникненню/досягненню результатів дій, що моделюються.

Оскільки технологія комп'ютерної техніки є надзвичайно динамічною як в часі, так і в можливостях, то щоб спеціаліст-практик міг своєчасно відреагувати на необхідність аналізу результатів своєї діяльності з огляду на перспективу, необхідно виховувати спеціаліста в душі потреби імітацій виробничих процесів в їх системному поєднанні. А це в свою чергу зобов'язує створення системи навчання студентів різних спеціальностей методикам аналітичної діяльності з використанням інформаційних систем.

Список літератури

1. MATLAB. The Language of Technical Computing. External Interfaces. The Math Works, Inc. USA. - 2000.
2. MATLAB. The Language of Technical Computing. Getting Started with MATLAB. The Math Works, Inc. USA. - 2000.
3. MATLAB. The Language of Technical Computing. Using MATLAB Graphics. The Math Works, Inc. USA. - 2000.
4. MATLAB. The Language of Technical Computing. Using MATLAB. The Math Works, Inc. USA. - 2000.
5. Simulink. Model-Based and System-Based Design. Using Simulink. The Math Works, Inc. USA. - 2002.
6. Simulink. Model-Based and System-Based Design. Writing S-Functions. The Math Works, Inc. USA. - 2002.
7. Дьяконов В. П. Simulink 5/6/7: Самоучитель / В.П. Дьяконов - М.: ДМК-Пресс. 2008. - 784 с.
8. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании / В.П.Дьяконов. - М.: Солон-Пресс. - 2003.
9. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения / В.П.Дьяконов - М.: Солон-Пресс. - 2002.
10. Дьяконов В. П. VisSim + Mathcad + MATLAB. Визуальное математическое моделирование / В.П.Дьяконов. - М.; Солон-Пресс. - 2004.
11. Емельянов А.А. Имитационное моделирование экономических процессов: Учеб. пособие / А.А. Емельянов, Е.А. Власова, Р.В. Дума; Под ред. А.А. Емельянова. — М.: Финансы и статистика, 2002. -368 с.
12. Кобелев Н.Б. Практика применения экономико-математических методов и моделей / Н.Б.Кобелев – Финстатинформ, 2000. – 246 с.
13. Лавров К. Н., Цыплякова Т. П. Финансовая аналитика. MATLAB 6. / К.Н.Лавров, Т.П.Цыплякова - М.: Диалог-МИФИ. /Под общей редакцией к.т.н. В. Г. Потемкина. 2001.
14. Легостаев Н.С., Четвергов К.В. Методы анализа и расчета электронных схем: Учебное пособие / Н.С.Легостаев, К.В.Четвергов - Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования. 2007.-217 с.

15. **Паринов С.И.** К теории сетевой экономики / **С.И.Паринов** – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2002. – 168 с.
16. **Свами М., Тхуласираман К.** Графы, сети и алгоритмы: Пер. с англ./ **М.Свами , К. Тхуласираман** - М.: Мир, 1984. - 455 с.
17. **Снетков Н.Н.** Имитационное моделирование экономических процессов: Учебно-практическое пособие / **Н.Н.Снетков** - М.: Изд. центр ЕАОИ, 2008. - 228 с.
18. **Терехин В.В.** Моделирование в системе Matlab: Учебное пособие / **В.В. Терехин**. - Новокузнецк: Кузбас-свузиздат, 2004. -376с.
19. **Цисарь И.Ф.** Лабораторные работы на персональном компьютере / **И.Ф. Цисарь**. - М.: Издательство «Эк-замен», 2002. - 224 с.
20. **Чен К.** MATLAB в математических исследованиях / **К.Чен , П.Джиблин , А.Ирвинг** -. М.: Мир. - 2001.

Рукопис подано до редакції 04.04.14

УДК 622.272:624.191.5

С.А. ХАРИН, д-р техн. наук, доц., ОКВУЗ «Институт предпринимательства «Стратегия»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭВМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ТЕМПЫ СТРОИТЕЛЬСТВА СТВОЛОВ

Для своевременного вскрытия нижележащих горизонтов обеспечение заданных темпов проходки горных выработок является важной задачей, связанной с ритмичной организацией работ. Поскольку на скорость проходки выработок в большинстве случаев, особенно, в крепких породах и при значительной площади поперечного сечения, заметное влияние оказывают буровые работы актуальным, как представляется, может быть исследование зависимости скорости проходки стволов от производительности бурового оборудования.

В этой связи представляет интерес разработка методов исследований, соответствующего программного обеспечения, которые позволили бы служить в качестве инструментов изучения вопросов организации строительства. Для проведения исследований разработана компьютерная программа. В качестве языка программирования избран Java - объектно-ориентированный язык программирования. Программы на Java транслируются в байт-код, выполняемый виртуальной машиной Java - программой, обрабатывающей байтовый код и передающей инструкции оборудованию как интерпретатор. В ходе исследования изменения скорости проходки ствола от эксплуатационной производительности бурового оборудования установлены соответствующие зависимости, охватывающие широкий круг условий. Отмечено также, что, начиная с определенного момента, рост производительности средств бурения практически не приводит к увеличению темпов проходки ствола и дальнейшее наращивание усилий в этом направлении нецелесообразно.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Устойчивое функционирование горного производства является условием эффективного развития экономики Украины. Задача реконструкции производственных мощностей в условиях значительных глубин разработки должна сопровождаться интенсивными усилиями в направлении исследований, направленных на совершенствование всех технологических процессов.

Анализ исследований и публикаций. Анализ ранее опубликованных результатов исследований и современного состояния практики проектирования и строительства горных выработок указывает на необходимость более широкого использования компьютерных технологий для детального учета различных особенностей сооружения подземных объектов и обеспечения оптимальных параметров ведения работ.

Постановка задачи. Разработать соответствующее программное обеспечение и исследовать вопросы организации проходки стволов глубоких шахт под влиянием изменения параметров бурового оборудования и горно-геологических условий, в частности, изменение темпов строительства.

Изложение материала и результаты. Для своевременного вскрытия нижележащих горизонтов обеспечение заданных темпов проходки горных выработок является важной задачей, связанной с ритмичной организацией работ.

Поскольку на скорость проходки выработок в большинстве случаев, особенно, в крепких породах и при значительной площади поперечного сечения, заметное влияние оказывают буровые работы актуальным, как представляется, может быть исследование зависимости скорости проходки стволов от производительности бурового оборудования.

В этой связи представляет интерес разработка методов исследований, соответствующего программного обеспечения, которые позволили бы служить в качестве инструментов изучения вопросов организации строительства.

Для проведения исследований нами разработана компьютерная программа, алгоритм которой представлен на рис. 1.

В качестве языка программирования избран Java [1], - объектно-ориентированный язык программирования, разработанный компанией Sun Microsystems (в последующем приобретен компанией Oracle).

Целесообразность такого выбора оправдывается следующими соображениями [1,2]. Программы на Java транслируются в байт-код, выполняемый виртуальной машиной Java - программой, обрабатывающей байтовый код и передающей инструкции оборудованию как интерпретатор.

Достоинством подобного способа выполнения программ является полная независимость байт-кода от операционной системы и оборудования, что позволяет выполнять Java-приложения на любом устройстве, для которого существует соответствующая виртуальная машина. Также особенностью технологии Java является гибкая система безопасности благодаря тому, что исполнение программы полностью контролируется виртуальной машиной.

Операции, которые превышают установленные полномочия программы вызывают немедленное прерывание.

Рассмотрим зависимость скорости проведения стволов, при прочих равных условиях, от эксплуатационной производительности бурового оборудования при следующих условиях: проходка осуществляется обычным способом с применением буровзрывных работ по совмещенной схеме. Стволы закреплены монолитным бетоном.

Для ствола диаметром в проходке $D=6$ м, при площади поперечного сечения $S=28,3$ м², проходимого в породах с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протоdjeяконова $f=12$ и эксплуатационной производительности (обозначим ее P) бурового оборудования 6 м/ч (рис. 1) имеет место скорость проходки горной выработки 14,1 м/мес (примем ее за базовую для данных условий).

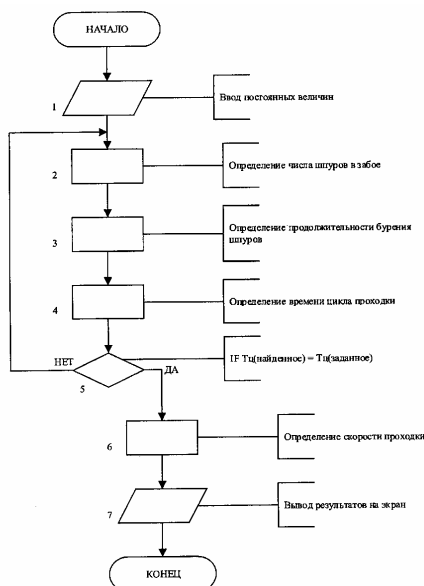


Рис. 1. Алгоритм разработанной программы

Переход к большей производительности средств бурения, при неизменных прочих условиях, увеличивает темпы проходки выработки. Так, например, при эксплуатационной производительности 8 м/ч скорость проходки выработки возрастает до 15,84 м/мес, при эксплуатационной производительности 12 м/ч скорость увеличится до 18,04 м/мес. Высокие уровни производительности бурового оборудования способствуют достижению заметно больших темпов проходки. Так, при $P=24$ м/ч скорость возрастет до 20,9 м/мес.

Характер зависимости v от P для ствола $D = 6$ м при $f=12$ может быть описан логарифмическим выражением $v = 4,3027 \ln(P) + 7,111$.

Аналогичным образом рассмотрим зависимость v от P для данного ствола, но при увеличении f до 18 (рис. 2,3).

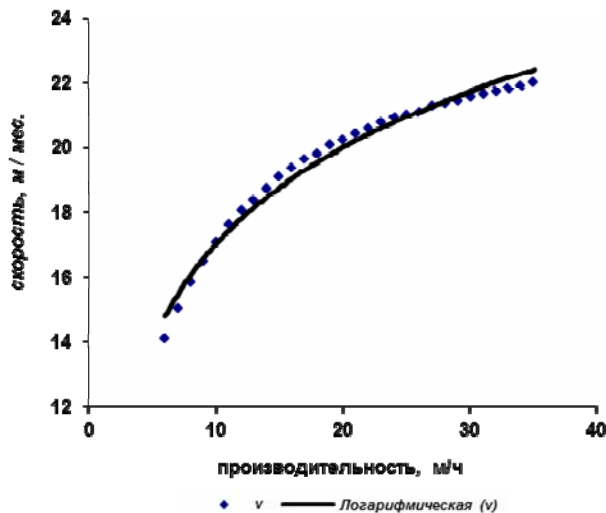


Рис. 1. Зависимость v от P для ствола $D = 6$ м при $f=12$

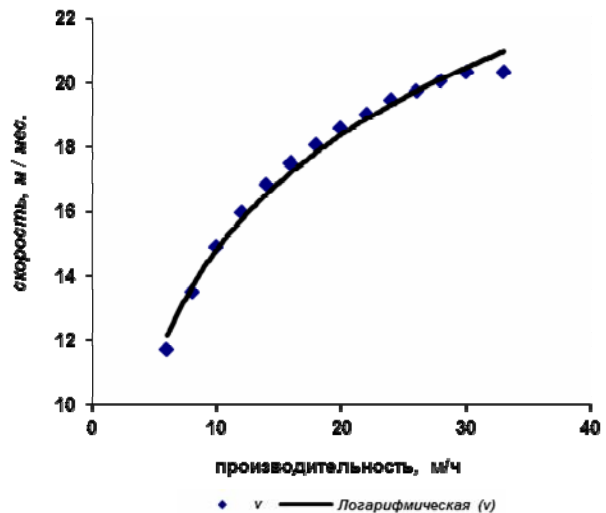


Рис. 3. Зависимость v от P для ствола $D = 6$ м при $f=18$

В этом случае при соответствующих значениях эксплуатационной производительности бурового оборудования будут иметь место более низкие скорости проходки, а общий характер зависимости v от P примет вид $v=5,1741\text{Ln}(P)+2,8785$.

Исследуем далее аналогичным образом влияние эксплуатационной производительности бурового оборудования на скорость проходки ствола $D = 8$ м, имеющего площадь поперечного сечения $S=50,2 \text{ м}^2$ при $f=12$ и $f=18$. В этом случае в целом будут повторяться тенденции, отмеченные нами ранее для ствола $D = 6$ м, но при меньших уровнях v для данных значений P .

Характер зависимости v от P для ствола $D=8$ м при $f=12$ и $f=18$ может быть описан соответственно выражениями $v=2,6461\text{Ln}(P)+5,1791$ и $v=3,0919\text{Ln}(P)+2,8646$.

Рассмотрим теперь степень изменения скорости проходки (обозначим Δ) ствола $D=6$ м при переходе от $f=12$ к $f=18$. При $P=6$ м/ч скорость проходки ствола при $f=12$ будет в 1,205 раза выше, чем при $f=18$.

Соотношение скоростей при более высоких значениях P будет постепенно уменьшаться. При достаточно больших значениях эксплуатационной производительности бурового оборудования соотношение скоростей проходки ствола существенно снизится, так, например, при $P = 30$ м/ч оно составит 1,06 раза.

В общем случае соотношение скоростей проходки ствола $D = 6$ м при $f=12$ и $f=18$ можно описать зависимостью $\Delta=-0,0879\text{Ln}(P)+1,3549$. В случае же $D=8$ м при $P=6$ м/ч $\Delta=1,184$; при $P=30$ м/ч $\Delta=1,0598$.

В общем виде зависимость соотношения скоростей для ствола $D=8$ м выглядит как $\Delta=0,0796\text{Ln}(P)+1,3182$.

Исследуем изменение соотношения скоростей (обозначим Z) при $D=6$ м и $D=8$ м при соответствующих уровнях коэффициента крепости пород. В то время как соотношение площадей сечения рассматриваемых стволов составляет 1,77 соотношение скоростей при $f=12$ и $P=6$ м/ч будет равно $Z=1,47$, а в случае $P=30$ м/ч возрастет до $Z=1,54$. Сходная картина наблюдается и для случая $f=18$.

В общем виде изменение соотношения скоростей может быть описано выражениями $Z=0,0028P+1,4722$ в случае $f=12$ и $Z=0,0034P+1,4431$ в случае $f=18$. Для наглядности сведем полученные ранее зависимости в табл. 1.

Отношение скорости проходки ствола при данном значении эксплуатационной производительности v_{pi} к скорости проходки ствола при предыдущем значении эксплуатационной производительности v_{pi} характеризует темп изменения скорости. Рост скорости проходки ствола $D=6$ м при $f=12$ вначале происходит сравнительно интенсивно (рис. 4а). Так, при увеличении производительности до 8 м/ч по сравнению с предыдущим ее показателем, т.е. 6 м/ч (обозначим этот случай как v_8/v_6 скорость возрастает в 1,123 раза, при v_{10}/v_8 рост будет уже меньшим - 1,077. При больших параметрах эксплуатационной производительности бурового оборудования

переход к каждому последующему ее значению приводит лишь к крайне незначительному увеличению скорости: при v_{30}/v_{28} оно составит 1,0084.

Исследуем вариант $D=6$ м при $f=18$. В данном случае, как и в предыдущем, интенсивность возрастания скорости проходки ствола вначале относительно высока (рис. 4а). Так, при увеличении производительности до 8 м/ч по сравнению с предыдущим ее показателем скорость возрастает в 1,15 раза, при v_{10}/v_8 рост будет уже меньшим - 1,105. При значительных параметрах эксплуатационной производительности бурового оборудования переход к каждому последующему ее значению также приводит лишь к небольшому увеличению скорости: при v_{30}/v_{28} оно составит 1,013.

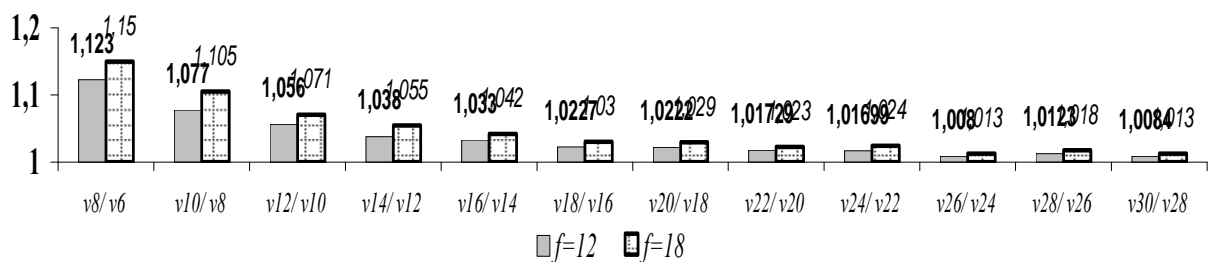
Сравнивая интенсивность роста скорости для $f=12$ и $f=18$ следует отметить, что в последнем случае она изменяется с более высоким темпом. Сходная картина имеет место и при $D=8$ м.

Таблица 1

Зависимости скорости проходки ствола от производительности бурового оборудования

Параметр	Диаметр ствола в проходке, м	Коэффициент крепости пород, f	Зависимость	Диапазон изменений величин	Выводы
Зависимость v от P	6	12	$v=4,3027\text{Ln}(P)+7,111$	При $P=6$ м/ч $v=14,1$ м/мес.; при $P=30$ м/ч $v=21,56$ м/мес.; $v_{30}/v_6=1,529$	Скорость проходки логарифмически зависит от производительности бурового оборудования. При росте f снижается v . Отношение скоростей, например, v_{30}/v_6 при более высоком f выше
		18	$v=5,1741\text{Ln}(P)+2,8785$	При $P=6$ м/ч $v=11,7$ м/мес.; при $P=30$ м/ч $v=20,33$ м/мес.; $v_{30}/v_6=1,738$	
	8	12	$v=2,6461\text{Ln}(P)+5,1791$	При $P=6$ м/ч $v=9,59$ м/мес.; при $P=30$ м/ч $v=13,99$ м/мес.; $v_{30}/v_6=1,459$	
		18	$v=3,0919\text{Ln}(P)+2,8646$	При $P=6$ м/ч $v=8,1$ м/мес.; при $P=30$ м/ч $v=13,2$ м/мес.; $v_{30}/v_6=1,63$	
Соотношение скоростей при $f=12$ и $f=18$	6	-	$\Delta=-0,0879\text{Ln}(P)+1,3549$	При $P=6$ м/ч $\Delta=1,205$; при $P=30$ м/ч $\Delta=1,061$	При росте P и увеличении f с 12 до 18 соотношение скоростей Δ снижается
	8	-	$\Delta=-0,0796\text{Ln}(P)+1,3182$	При $P=6$ м/ч $\Delta=1,184$; при $P=30$ м/ч $\Delta=1,0598$	
Соотношение скоростей при $D=6$ м и $D=8$ м	-	12	$Z=0,0028 P+1,4722$	При $P=6$ м/ч $Z=1,47$; при $P=30$ м/ч $Z=1,54$	При увеличении D с 6 до 8 соотношение скоростей Z растет с увеличением P
	-	18	$Z=0,0034 P+1,4431$	При $P=6$ м/ч $Z=1,44$; при $P=30$ м/ч $Z=1,54$	

Анализируя темпы изменения скорости проходки ствола при переходе к каждому последующему значению производительности проходческого оборудования, следует указать, что для всех случаев они падают по мере увеличения производительности; при одинаковом диаметре ствола такие темпы выше при большем значении f . Отсюда вытекает вывод о том, что при большей крепости пород увеличение эксплуатационной производительности бурового оборудования способно в относительно большей степени влиять на скорость проходки и зона интенсивного влияния P на v в этом случае шире.



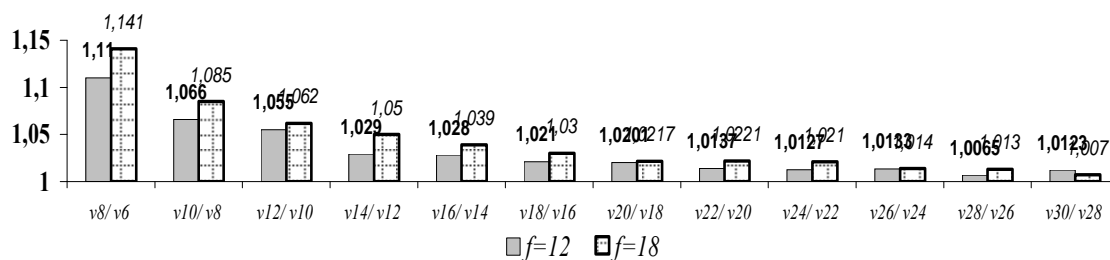


Рис. 4. Темп изменения v при каждом последующем P : а - при $D = 6$ м; б - при $D = 8$ м

Выводы и направления дальнейших исследований. Таким образом, в ходе исследования изменения скорости проходки ствола от эксплуатационной производительности бурового оборудования установлены соответствующие зависимости, охватывающие широкий круг условий. Отмечено также, что, начиная с определенного момента, рост производительности средств бурения практически не приводит к увеличению темпов проходки ствола и дальнейшее наращивание усилий в этом направлении нецелесообразно.

В ходе дальнейших исследований было бы полезно рассмотреть вопрос о зависимости оптимальных организационных параметров сооружения протяженных выработок от различных факторов.

Список литературы

1. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Java>.
2. Герберт Шилдт. Java. Полное руководство. - М.: Вильямс, 2012. - 1104 с.

Рукопись поступила в редакцию 04.02.14

УДК 669.162.16

Д.А. КАССИМ, канд. техн. наук, доц.

МетИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА АГЛОМЕРАТА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

Выполнен анализ возможностей достижения высокого уровня технико-экономических показателей работы доменной печи объемом 2700 м^3 при загрузке в печь высококачественного агломерата и прочного, мало истираемого кокса, совместно с применением технологии загрузки кускового антрацита, а также обеспечении температуры дутья на уровне $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ и давления газа под колошником до 200 кПа .

Проблема и ее связь с практическими задачами. Постоянные изменения в сырьевой базе коксования и производства железорудного сырья способствуют сохранению среди актуальных для исследования проблем вопрос оптимизации состава и качества шихтовых материалов для доменной плавки.

Наряду с повышением качества кокса наиболее эффективным мероприятием, позволяющим существенно улучшить технико-экономические показатели работы доменных печей, является улучшение металлургических свойств железорудной части доменной шихты.

Анализ исследований и публикаций. Агломерация остается доминирующим способом подготовки сырья к доменной плавке. Требования к качеству агломерата давно определены и практически не меняются. Это - максимально высокое содержание железа, минимальное количество вредных примесей, постоянство химического и гранулометрического составов, высокая восстановимость и газопроницаемость насыпной массы, высокая прочность и низкое содержание мелких фракций.

Из исследований Е.Ф. Вегмана известно, что наименьшей прочностью обладает агломерат основностью 1,3-1,4 [1]. По данным А.Н. Рамма [2] прочность офлюсованного агломерата минимальна в пределах изменения его основности от 0,9 до 1,4. Эти оценки подтверждены практикой при использовании офлюсованного агломерата разной основности. Так, например, по

данным авторов [3] при увеличении основности агломерата с 0,1 до 1,25 содержание фракции 0-5 мм повысилось с 6,0 до 21,0 %. При этом резкий рост содержания мелкой фракции имел место при увеличении основности выше 0,8 ед.

По информации И.Ф. Курунова [4] о материалах международного конгресса по теории и технологии доменной плавки, состоявшегося в 2009 году в Шанхае, в последнем десятилетии в Китае в доменные печи загружают шихту, состоящую из 65-80 % офлюсованного агломерата и 20-35 % окатышей, на некоторых печах используют также до 5-10 % руды. При этом в Китае производится только высокоосновный агломерат ($\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,7-2,55$) с высоким показателем холодной прочности 72-76,5 %, содержанием железа 55,5-58,5 % и долей фракции 0-5 мм 3,3-4,1 %. В доменные печи Японии также загружаются окатыши и высококачественный агломерат с высоким содержанием железа и основностью 1,7-2,11. Шихта большинства доменных печей Северной Америки состоит из офлюсованных и/или неофлюсованных окатышей и руды. Агломерат применяется только на 11 доменных печах в количестве 4-61 %. Большинство доменных печей Западной Европы работают на шихте состоящей из агломерата, окатышей и железной руды. Шихта большинства доменных печей России состоит из 60-90 % агломерата и 10-40 % окатышей. Содержание фракции 0-5 мм в агломерате - 10-15 %. Основность агломерата (CaO/SiO_2) составляет 1,15-1,7 ед.

В 2009 году в агломерате, производимом на металлургических предприятиях Украины, содержание железа изменялось в диапазоне 51,83-56,94 % при изменении основности агломерата от 1,2 до 1,77 по CaO/SiO_2 . При этом агломерат с основностью 1,67-1,77 производят только на аглофабрике металлургического комбината “Азовсталь”, в шихте доменных печей которого используют до 70-75 % окатышей. Агломерат приблизительно такой же основности в свое время производили и на агломерационной фабрике НКГОК-2, (в настоящее время ГОК-2 “АрселорМиттал Кривой Рог”).

Постановка задачи. Анализ современных требований к свойствам агломерата подтвердил, что потенциальный эффект от значительного увеличения качества агломерата достаточно велик, поэтому в настоящей работе поставлена задача исследовать и выполнить сравнительный анализ результатов работы доменной печи №8 ПАО “АрселорМиттал Кривой Рог” (АМКР) при загрузке в нее агломерата НКГОК-2.

Изложение результатов исследований. Аглофабрика НКГОК-2 была введена в эксплуатацию в марте 1962 года. В 1974 году в связи с необходимостью обеспечения высококачественным сырьем крупнейшей в мире на тот период времени доменной печи №9 объемом 5000 м³ была начата реконструкция аглофабрики №2 по проекту института Гипросталь. Реконструкция была завершена в 1976 году. Аггоспек с агломерационной ленты последовательно проходит стадию дробления в щековой дробилке, горячее грохочение, охлаждение на линейном пластинчатом охладителе и на последней стадии - окончательное грохочение перед отправкой в доменный цех. С этого периода на доменную печь №9 стал поступать охлажденный, освобожденный от мелочи высокоосновный агломерат.

В периоды проведения различных ремонтов доменной печи №9 высококачественный агломерат НКГОКа-2 поступал и на доменную печь №8 объемом 2700 м³, которая обычно работала на агломерате ЮГОКа или НКГОКа-1 основностью 1,2-1,25, отличающемся худшими прочностными качествами и большим содержанием фракции 0-5 мм (17-25 %). Технико-экономические показатели доменной плавки на печи №8 в этот и последующие периоды загрузки в нее агломерата НКГОК-2 (ГОК-2) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технико-экономические показатели доменной печи объемом 2700 м³

Показатели	Периоды						
	18.02.77-23.02.77	24.09.80-4.11.80	17.08.97-31.08.97	01.12.08-31.12.08	01.04.09-30.04.09	01.06.09-30.06.09	29.05.10-04.06.10
1	2	3	4	5	6	7	8
Номер периода	1	2	5	6	7	8	9
Длительность периода, сут.	6	42	15	31	30	30	7
Производительность,	6012	5232	3586	4798	4785	4803	5108

т/сут.							
Приведенная производительность, т/сут.		6048	5083	6867	6498	6289	6638
Расход кокса, кг/т	474	594	646	546	457	462	471
Приведенный расход кокса, кг/т		535	483	375	365	390	372
Расход антрацита, кг/т	0	0	0	0	35	42,3	35,3
Интенсивность (К+А), кг/м ³ · сут.	1055	1151	858	970	872	898	958
Дутье: расход, м ³ /мин	4915	4894	4388	5048	4654	4616	4741
давление, кПа (изб.)	335	340	197	270	272	259	244
температура, °С	1095	959	868	839	934	920	881
Расход природного газа, м ³ /т	79	88	73,2	65,3	64	66,4	62
Содержание кислорода в дутье, %	26,5	25,9	25,0	25,1	25,2	25,9	27,0
Анализ чугуна, %:							
Si	0,79	0,80	1,11	0,88	0,91	0,75	0,72
Mn	0,66	0,62	0,33	0,32	0,33	0,28	0,48
S	0,042	0,034	0,025	0,015	0,015	0,02	0,016
P	0,056	0,036	0,039	0,065	0,076	0,066	0,094
Текущие простои, %	0,23	2,36	2,8	2,14	2,14	1,82	0
Тихий ход, %	0	2,26	1,0	0,09	0	0	0
Содержание Fe во всей шихте, %	55,1	53,76	56,39	53,85	54,31	54,01	53,96
Рудная нагрузка на кокс, кг/кг	3,14	2,76	2,71	3,32	3,86	3,7	3,45
Расходы, кг/т: железная руда	0	0	0	2,1	4,7	3,7	0
агломерат ЮГОК	0	0	0	0	0	0	0
агломерат МП	0	0	0	140	0	0	0
агломерат ГОК №1	0	0	0	140	2,1	3,7	777
агломерат ГОК №2	1075	1247	1053	1465	1638,3	1577,1	796
окатыши	655	444	695	0	0	0	0
шлак обогащенный	0	0	0	0	41,8	41,5	38,0
скрап металлический	0	0	0	0	52,7	50,5	54,0
МОЖ	0	0	0	41,6	39,4	46,5	37,0
известняк	0	27,4	70	22,5	8,4	25,7	18,6
Качество кокса, %: зола	10,1	10,5	10,7	13,5	13,3	12,3	13,4
сера	1,73	1,46	1,34	0,77	0,8	0,91	0,94
M ₂₅	88,0	88,0	87,0	86,7	84,3	85,3	82,5
M ₁₀	5,9	6,4	7,1	8,8	9,3	8,9	9,1
+80 мм	4,1	4,0	9,8	16,4	10,1	11,3	5,6
-25 мм	2,2	2,5	3,4	4,7	5,9	5,5	8,4
CSR	нет св.	нет св.	нет св.	46,2	40,2	39,8	40,0
CRI	нет св.	нет св.	нет св.	38,4	41,9	41,2	43,0
Фракция -5 мм, %:							
агломерат ЮГОК	–	–	–	–	–	–	–
агломерат МП	–	–	–	20,4	–	–	–
агломерат ГОК №1	–	–	–	14,5	13,2	13,4	14,8
агломерат ГОК №2	10,5	8,6	9,0	5,3	4,7	4,3	8,6
окатыши	6,1	5,3	5,1	–	–	–	–
Средневзвешенная фракция -5 мм, %	6,5	7,7	7,4	7,3	4,7	4,3	11,7

Впервые рядовой агломерат ЮГОКа заменили на грохоченный, освобожденный от мелочи, охлажденный, высокоосновный агломерат (основностью 1,57), НКГОКа-2 в феврале 1977 г. [5, 6].

За этот период времени доменная печь была в различном техническом состоянии [7], на печи изменяли диаметр и количество фурм, сменился тип засыпного аппарата, изменялась конструкция горна и система охлаждения, изменялась система загрузки и сильно выросла масса подачи, изменялись способы подвода природного газа в фурму печи и т.д. Дополнительно к технологическим факторам на работу доменной печи влияли и кризисные явления в экономике Украины, когда производительность печи значительно ограничивалась.

С 1980 года основность агломерата ГОК-2 стала снижаться до уровня 1,38-1,4 и в настоящее время основность этого агломерата составляет 1,22 ед., но технология дробления аглоспека, его охлаждения, горячего и холодного грохочения осталась, и сегодня этот агломерат – наиболее качественный в Украине.

Самая высокая фактическая производительность доменной печи была получена в первом (февраль 1977 г.) периоде использования агломерата НКГОК-2 - 6012 т/сут., а самый низкий фактический расход кокса в седьмом периоде (апреле 2009 года) - 457 кг/т. В первом периоде загрузка агломерата ГОК-2 совпала с испытанием на печи технологии чередования фурм различного диаметра (190 и 207 мм) [6,8]. В периоде, когда был достигнут минимальный расход кокса в печь стали загружать антрацит, а в агломерате ГОК-2 снизилось содержание фракции 0-5 мм до 4,7 %.

Учет влияния изменения технологических факторов на удельный расход кокса и производительность печи, т.е. приведение показателей плавки всех периодов к условиям работы печи в первом периоде по методике [9], показал, что даже в период кризиса в горно-металлургическом комплексе в августе 1997 года, когда производительность печи ограничивалась и составила в среднем 3586 т/сут., а расход кокса был 646 кг/т, приведенные показатели работы печи были на достаточно хорошем уровне: приведенная производительность - 5083 т/сут., приведенный расход кокса 483 кг/т.

Самые лучшие приведенные показатели работы печи - производительность 6867 т/сут. (шестой период) и удельный расход кокса 365 кг/т (седьмой период) пришлись на период вывода печи на нормальный режим работы после последнего капитального ремонта с реконструкцией [7].

Выводы и направления дальнейших исследований. Выполненные в работе исследования позволили сделать вывод о том, что при использовании в доменной плавке кокса с показателями качества, соответствующими первому периоду, обеспечении температуры дутья на уровне 1100 °С и давления газа под колошником до 200 кПа, а также при использовании технологии загрузки в печь кускового антрацита, удельная производительность печи может составлять 2,4-2,45 т/м³·сут., а удельный расход кокса - 365-390 кг/т чугуна, что соответствует высокому уровню современной доменной плавки.

Анализ возможности получения прочного агломерата для современной доменной плавки показал, что существуют два реальных пути повышения прочности агломерата, в рамках которых необходимо вести дальнейшие исследования: механическая обработка агломерата после спекания по технологии, применяемой на АФ №2; производство агломерата основностью $\geq 1,6$ или 0,8-0,9 ед.

Первый путь связан с большими капитальными затратами на реконструкцию аглофабрик, а также с необходимостью повторной агломерации значительной доли аглоспека. Второй путь – более предпочтителен, но требует при основности агломерата $\geq 1,6$ использования в шихте доменной плавки неофлюсованных окатышей или кусковой железной руды, а при основности 0,8-0,9 - увеличения расхода сырого известняка в доменной шихте, что при существующей крупности загружаемого в печь известняка приводит к дополнительному расходу кокса на тонну чугуна. Возможен также вариант использования в шихте доменной плавки агломератов двух основностей, но в этом случае могут возникать организационные затруднения.

Список литературы

1. Вегман Е.Ф. Окискование руд и концентратов. – М.: Металлургия. – 1976. – 224 с.
2. Рамм А.Н. Современный доменный процесс. – М.: Металлургия. – 1980. – 304 с.
3. Плевако В.С., Емельянов А.В., Гринвальд А.А. Качество сырья и эффективность доменного производства, днепропетровск: Промінь. – 1971. – С.8.
4. Курунов И.Ф. Состояние и развитие доменного производства Китая, Японии, Северной Америки, Западной Европы и России (по материалам пятого международного конгресса по теории и технологии производства чугуна) // Бюллетень черная металлургия оао “Черметинформация”. – 2010. – №3. – С. 32-49.
5. Прокофьев И.А. Работа доменной печи с использованием освобожденного от мелочи высокоосновного агломерата / И.А. Прокофьев, И.Г. Товаровский, В.И. Бондаренко и др. // Сталь. – 1979. – №5. – С. 332-333.
6. Донсков Е.Г. Работа доменной печи на фурмах различного диаметра с использованием освобожденного от мелочи высокоосновного агломерата // Е.Г. Донсков, В.П. Лялюк, Р.Д. Каменев и др. // Металлургическая и горно-рудная промышленность. – 1982. – №3. – С. 7-9.

7. Шеремет В.А. Опыт эксплуатации, выдувки, ремонта и пуска после реконструкции доменной печи объемом 2700 м³ / В.А. Шеремет, В.П. Лялюк, А.В. Кекух и др. // Бюллетень Черная металлургия ОАО «Черметинформация». – 2010. – №3. – С. 50-59.

8. Лялюк В.П. Исследование работы доменных печей при чередовании фурм различного диаметра // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2001. – №5. – С. 11-15.

9. Товаровский И.Г., Лялюк В.П. Эволюция доменной плавки. – Днепропетровск: Пороги, 2001. – 424 с.

Рукопись поступила в редакцию 01.10.13

УДК 622.785: 669.162

В.П. ЛЯЛЮК, д-р техн. наук, проф., Ф.М. ЖУРАВЛЕВ, Д.А. КАССИМ, В.П. СОКОЛОВА, кандидаты техн. наук, доц., МетИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет»
П.И. ОТОРВИН, канд. техн. наук, ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»
В.Н. ЗАХАРЧЕНКО, канд. техн. наук, Объединение предприятий «Металлургпром»

ОЦЕНКА КОЛЕБЛЕМОСТИ КАЧЕСТВА АГЛОМЕРАТА АГЛОЦЕХОВ АМКР

Агломерационные цеха аглодоменного департамента ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» нуждаются в глубокой реконструкции с использованием как новой технологии так и нового технологического оборудования, начиная с рудного двора и заканчивая обработкой готовой продукции, с целью производства высококачественного агломерата для современной доменной плавки.

Ключевые слова: агломерат, содержание железа, основность, прочность, оборудование.

Особенности доменной плавки с высокими технологическими показателями и низкими экономическими затратами в значительной мере определяются качеством кокса. Вторым по значимости в структуре себестоимости чугуна является качество железорудных материалов, которое должно обеспечивать получение заданных свойств чугуна (химический состав, температуру) и высоких технико-экономических показателей доменной плавки.

В то же время результаты многих исследований и мирового опыта показали, что повышение качества агломерата является одним из самых эффективных направлений совершенствования технологии доменной плавки [1]. Причем, без качественного агломерата современные энергосберегающие технологии в доменном производстве не обеспечивают кардинальное снижение расхода кокса, уменьшение себестоимости и повышение конкурентоспособности товарного чугуна на внутреннем и внешних рынках.

Сравнение состояния технологии доменной плавки в Украине и за рубежом, показывает, что, в Украине из-за нестабильных, прежде всего сырьевых условий доменной плавки, доменные печи работают с высоким (до 0,8-0,9 %) содержанием кремния в передельном чугуне, при расходе известняка - 50-70 кг/т.

Кроме того, на доменных печах металлургических комбинатов Украины выше и удельный расход железорудных материалов, причем различие этого показателя между передовыми индустриально развитыми странами и Украиной составляет порядка 200-300 кг/т: 1787-1784 кг/т на украинских заводах и 1452-1536 кг/т на доменных печах Германии и Великобритании [2]. Не лучше ситуация у доменщиков Украины и в сравнении с родственными металлургическими предприятиями России. Отставание показателей качества украинского агломерата от современного уровня, достигнутого на зарубежных предприятиях, приводит к потерям выплавки чугуна доменных цехов до ~7 млн т чугуна в год и к перерасходу кокса до 5,4 млн т/год [3].

В условиях развития ГМК Украины сохраняется традиционный сортмент окучкованных железорудных материалов доменной плавки: только агломерат необходимой основности; высокоосновный агломерат и низкоосновные окатыши, либо агломерат, низкоосновные окатыши и сырой флюс. Производственные мощности всех агломерационных цехов, введенных в эксплуатацию в 50-60-х годах прошлого столетия, технологически и морально устарели и не могут обеспечить доменные цеха необходимым количеством качественного агломерата, тем более в условиях необходимости увеличения в аглошихте мелкодисперсных материалов [4].

Современные требования к качеству агломерата для доменного производства сводятся к следующему:

по физическим свойствам: высокая прочность на удар (более 75 %), низкая истираемость (менее 4 %) в холодном состоянии, минимальное ухудшение этих показателей в процессе восстановления и высокая пористость;

по свойствам в процессе нагрева и восстановления: высокая прочность при низкотемпературном (до 800 °С) восстановлении, высокая восстановимость, высокая температура начала размягчения и узкий (80-150 °С) температурный интервал между размягчением и плавлением;

по химическому составу: максимальное содержание железа и низкое (до 5-7 %) содержание FeO; высокая основность, обеспечивающая вывод сырого известняка из доменной шихты;

узкий стабилизированный гранулометрический состав (крупность 10-50 мм, содержание мелочи 0-5 мм не более 2-5 %);

постоянство химического состава: стандартные отклонения от среднеарифметического значения по содержанию железа $Fe_{cp} \pm(0,2-0,25) \%$ и по основности $(CaO/SiO_2)_{cp} \pm(0,02-0,025)$ д.ед. модуля в партиях 500 т.

Стабильность содержания железа и основности, оценивается среднеквадратичным отклонением от среднеарифметического значения этих показателей. Кроме этого снижение колебаний содержания FeO в агломерате до $\pm 0,75 \%$ обеспечивает снижение удельного расхода кокса в размере 7-10 кг/т чугуна [5].

В современных условиях на металлургических заводах Украины количество мелочи в скипах достигает 15-25 %. В тоже время известно, что на каждый выведенный из железорудной шихты 1% фракции 0-5 мм можно ожидать увеличения производительности печи на 1 % при снижении расхода кокса на 0,5 % [6].

В Украине агломерационные фабрики имеют высокую (70-90 %) степень износа и морально устарели, в их составе нет современных технологических схем, и прежде всего, эффективного оборудования для усреднения и дозирования компонентов шихты, а также их смешивания и окомкования, что сказывается на высокой колеблемости металлургических свойств производимой продукции и снижает эффективность доменной плавки [3].

Как уже отмечалось агломерат, производимый на аглофабриках Украины, не соответствует современным требованиям доменной плавки. Не является исключением и агломерат трех агломерационных цехов аглодоменного департамента (АДД) ПАО “АрселорМиттал Кривой Рог” (АМКР) введенных в эксплуатацию в 1951 и 1962 гг.

Авторами данной работы изучена колеблемость качества агломерата АЦ МП, АЦ №1 и АЦ №2, поступающего на доменные печи (ДП) №7 и №8 доменного цеха №1 АМКР по среднемесячным данным за период 2006-2011 годы согласно следующих показателей: содержание Fe, SiO₂, основности (CaO/SiO₂) и содержанию фракции 0-5 мм.

Колеблемость показателей оценивалась по годовым значениям среднеквадратического отклонения σ для однородных показателей и коэффициента вариации v в случае сравнения колеблемости различных показателей качества, имеющих неодинаковую среднюю величину.

На рис 1-4 приведены среднеквадратические отклонения содержания Fe, SiO₂, основности и фракции 0-5 мм в агломерате разных агломерационных цехов, поступившем в приемные бункера шихтоподачи ДП №7, а на рис. 6-9 в агломерате, поступившем в приемные бункера шихтоподачи ДП №8. На рис. 5 и 10 приведены коэффициенты вариации этих показателей агломерационной шихты, состоящей из агломератов АЦ МП, АЦ №1 и АЦ №2 аглодоменного департамента, загруженных в доменные печи ДП № 7 и ДП № 8.

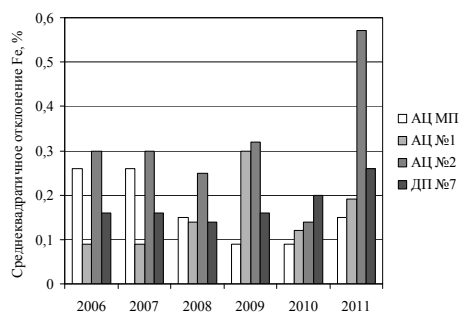


Рис. 1. Колеблемость содержания Fe в агломерате АЦ МП, АЦ №1, АЦ №2 и аглошихте ДП №7 по годам

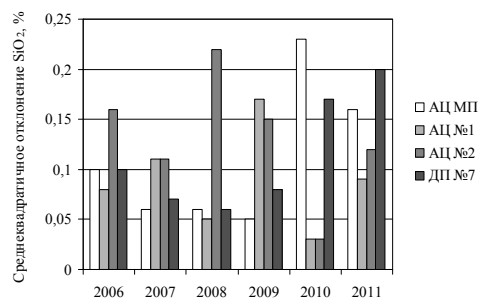


Рис. 2. Колеблемость содержания SiO₂ в агломерате АЦ МП, АЦ №1, АЦ №2 и аглошихте ДП №7 по годам

Наиболее стабильны показатели: содержание Fe и содержание SiO₂. Так, коэффициент вариации содержания Fe в большинстве случаев не превышает 1% (АЦ №2), а в шихте доменных печей – не более 0,5-0,6% (см. рис. 5, 10). Самый высокий коэффициент вариации содержания SiO₂ характерен для шихты ДП №7 и составил всего 2,27 % в 2011 (см. рис. 5) Среднеквадратическое отклонение содержания железа (σ_{Fe}) в агломерате шихты ДП №7 в среднем за рассматриваемый период составляет 0,18 % (0,14-0,26 %). При этом наибольшие значения этого показателя (0,53-0,57 %) характерны для агломерата АЦ №2. Наиболее стабильно содержание железа в агломерате АЦ МП (см. рис. 1, 6), среднее значение $\sigma_{Fe} = 0,17 \%$. Наиболее высокие значения σ_{SiO_2} (0,22-0,29 %) также характерны для агломерата АЦ №2 (см. рис. 2 и 7).

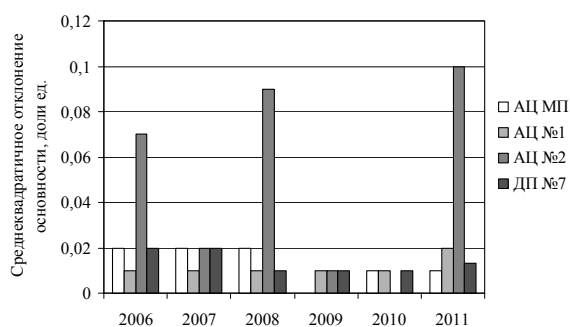


Рис. 3. Колеблемость содержания CaO/SiO₂ в агломерате АЦ МП, АЦ №1, АЦ №2 и аглошихте ДП №7 по годам

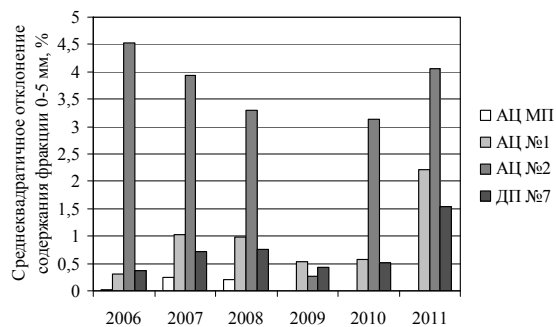


Рис. 4. Колеблемость содержания фракции 0-5 мм в агломерате АЦ МП, АЦ №1, АЦ №2 и аглошихте ДП №7 по годам

Основность агломерата наиболее нестабильна для АЦ №2 ($v_{осн}$ до 7,6 %, $\sigma_{осн}$ до 0,1 д.ед.). Однако из-за небольшого долевого участия этого агломерата в шихте ДП №7 основность шихты в целом стабильна, коэффициент вариации 0,52-1,76 % (рис 5); для ДП №8 – до 2,4 9 % (рис. 10).

Наибольшая колеблемость характерна для содержания фракции 0-5 мм. Так, коэффициент вариации этого показателя в 2011 году для шихты ДП №7 составляет 7,82 %, для шихты ДП №8 – 18,85 % (см. рис. 5 и 10). Это обусловлено значительной нестабильностью этого показателя для агломерата АЦ №2 ($v_{0,5} = 37,1-42,8 \%$). По данным рис. 4 видно, что среднеквадратическое отклонение содержания фракции 0-5 мм в агломерате АЦ №2 в среднем составляет 3,20 % (0,27-4,52 %), в агломерате шихты ДП №7 – 0,72 % (0,37- 1,54 %). Для агломерата шихты ДП №8 (см. рис. 9) этот показатель несколько выше и составляет в среднем 2,13 % (0,54-2,96 %). Высокая колеблемость качественных показателей агломерата агломерационных цехов аглодоменного департамента АМКР связана прежде всего с отсутствием современной системы усреднения шихтовых материалов на рудном дворе АЦ МП и АЦ №3 АДД, поставляющего шихту АЦ №1 и 2.

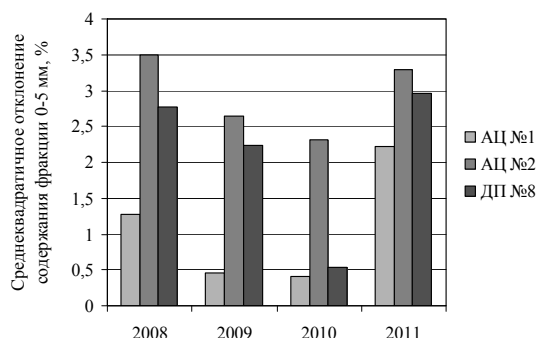


Рис. 9. Колеблемость содержания фракции 0-5 мм в агломерате АЦ №1, АЦ №2 и аглошихте ДП №8 по годам

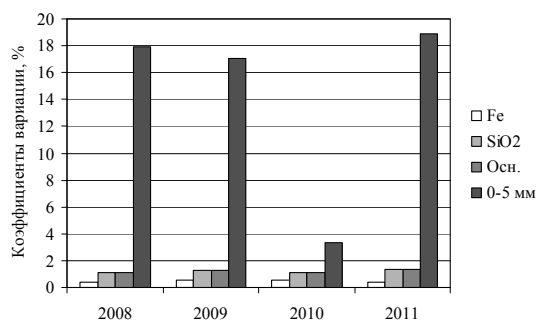


Рис. 10. Колеблемость показателей качества в шихте ДП №8 из агломератов трех фабрик по годам

Например, в Японии на заводе фирмы “Ниппон кокан” в Фукуяме колебания содержания железа в смеси между штабелями составляют не более $\pm 0,05 \%$, кремнезема менее $\pm 0,03 \%$, а основности аглошихты не более $\pm 0,03$ д. ед. Японские металлурги отмечают, что особенно

важным показателем качества агломерата является стабильность его основности, по их данным снижение колебания основности с $\pm 0,05$ до $\pm 0,025$ д. ед. обеспечивает повышение производительности доменных печей на 0,5 % и уменьшение удельного расхода кокса на 0,3 % [14].

Таким образом, одним из основных средств достижения стабильного химического и минералогического состава агломерата является высокоэффективное усреднение каждого шихтового материала в штабелях на открытом складе.

На рудном дворе АЦ МП в штабель вместе с железорудными материалами закладываются отличающиеся от них по химическому составу добавки: прокатную окалину, марганцевую руду и др. без четкого весового соотношения (согласно расчета шихты) между материалами.

Для исключения отрицательного влияния этих добавок на однородность смеси целесообразно осуществлять предварительное усреднение каждой из добавок в отдельных штабелях, а затем их дозировать согласно рассчитанного соотношения и смешивать, после чего полученную смесь добавок направлять в расходные бункера шихтового отделения, куда направляются и остальные компоненты аглошихты.

Для уменьшения колебаний состава смеси по длине штабеля необходимо предусматривать укладку слоями меньшей и одинаковой толщины.

Строгая регламентация последовательности укладки материалов, их количества и способности перемешиваться друг с другом также являются обязательными условиями высокой однородности смеси и соответственно качества агломерата.

Забор материала из штабеля и подача его в расходные бункера шихтового отделения должен осуществляться роторными заборщиками с торца сформированного штабеля, начиная сверху вниз равномерно по всему сечению штабеля, а не одним экскаватором снизу как это осуществляется в настоящее время.

Существенное влияние на стабильность химического состава агломерата оказывает обеспечение высокой точности дозирования шихтовых материалов из бункеров и эффективное их смешивание до однородности не ниже 96-98 % в шихтовом отделении АЦ МП и АЦ №3.

Для решения этой задачи необходимо внедрять современную комплексную систему контроля и автоматического управления шихтовым отделением на базе современных ЭВМ, а также высокоэффективные смесители шихты.

В целом аглоцеха аглодоменного департамента ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» нуждаются в глубокой реконструкции с использованием нового оборудования: укладчики и заборщики материалов, весовые автоматические дозаторы, консольные и трубные виброконвейеры, эффективные смесители (роторные и др.) и окомкователи, а также оборудование агломашин.

Список литературы

1. **Мищенко И.М.** Состояние агломерационного производства предприятий Украины и основные направления повышения его технического уровня / **И.М. Мищенко, А.З. Крижевский, Н.С. Хлапонин** и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1990. – №2. – С. 1-4.
2. **Ефименко Г.Г., Черный В.Г.** Доменное производство Украины и передовых индустриальных стран мира – состояние, проблемы, перспективы развития // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2007. – №6. – С. 7-13.
3. **Мищенко И.М., Хлапонин Н.С., Шаповалова Н.Г.** Направление развития агломерационного производства Украины // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2006. – №2. – С. 12-16.
4. **Ефименко Г.Г.** Новое направление в производстве железорудных материалов для доменного передела / **Г.Г. Ефименко, Н.В. Игнатов, В.П. Иващенко** и др. // *Новини науки Придніпров'я*. – Май. – 2010. – С. 144-148.
5. **Савицкая Л.И.** Развитие агломерационного производства в странах Западной Европы // *Обзорная информация. Серия Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу*. – М.: ЦНИИ ЧМ, 1982. – Выпуск 2. – 24 с.
6. **Товаровский И.Г. Лялюк В.П.** Эволюция доменной плавки. – Днепропетровск: Пороги, 2001. – 424 с.
7. **Савицкая Л.И.** Экономия энергоресурсов в аглодоменном производстве // *Обзорная информация. Серия Подготовка сырых материалов к металлургическому переделу и производство чугуна*. – М.: ЦНИИ ЧМ. – 1983. – Выпуск 5. – 37 с.

Рукопись поступила в редакцию 01.10.13

А.С. ГРОМАДСКИЙ, д-р техн. наук, проф., В.Д. АФАНАСЬЕВ, канд. техн. наук, доц.,
Д.И. КУЗЬМЕНКО, аспирант, Криворожский национальный университет

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В БУРОВОМ ИНСТРУМЕНТЕ

Проблема и ее связь с практическими задачами. Около 25 % железных руд в Украине добывается подземным способом. Наиболее распространенным и эффективным способом разрушения горных пород средней и высокой крепости являются буровзрывные работы, этим способом отбивается около 50 % руды.

Трудоемкость буровзрывных работ составляет 15-30 % общей трудоемкости очистной выемки руды. С увеличением крепости пород в первую очередь возрастает трудоемкость буровых работ при разработке подземных руд.

Сокращение сроков их проведения и увеличение производительности труда требуют непрерывного совершенствования буровой техники.

Для бурения шпуров (40-70 мм) в породах средней крепости и выше используются буровые установки с выносными вращательно-ударными механизмами.

При этом энергия ударника в виде волны деформации сжатия передается по составному буровому инструменту к забою. С целью повышения скорости бурения скважин были созданы конструкции мощных выносных вращательно-ударных узлов.

Анализ исследований и публикаций. Проблемой повышения эффективности буровзрывных работ занимались известные ученые в отрасли горных машин и механики бурения [1-4]. Технический переворот в области бурения скважин связан с внедрением в горной промышленности гидроударных буровых машин (ГБМ) вращательно-ударного действия, что позволило увеличить энергию удара с 200-250 Дж (у ПБМ) до 500-800 Дж.

Однако повышение энергии удара ограничивается прочностью составного бурового инструмента, так как диаметр скважин не изменился, то большую ударную мощность передают через штангу и соединение прежних размеров.

Невозможность применения мощного бурового оборудования при проведении подэтажных выработок, объем которых составляет 70% от общего объема проходческих работ на шахтах.

Поэтому весьма актуальным становится вопрос модернизации бурового инструмента, которая позволила бы увеличить его работоспособность и повысить производительность труда при бурении скважин.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является повышения эффективности передачи породоразрушающих ударных импульсов от перфоратора к породоразрушающим элементам буровой коронки для увеличения эффективности разрушения породы за счет выбора рациональных геометрических параметров корпуса коронки.

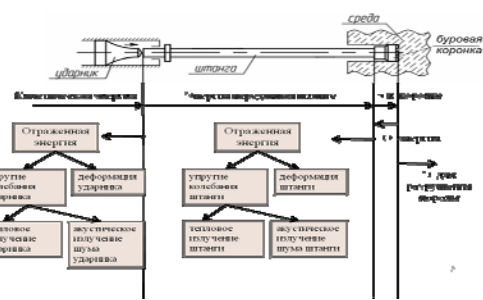
Изложение материала и результаты. Рассмотрим процесс передачи энергии удара в системе поршень-штанга-порода. Поршень-ударник буровой машины наносит удар по штанге, при этом передавая часть своей энергии штанге, а часть энергии отражаясь от области контакта между ударником и штангой возвращается ударнику.

Эта энергия расходуется на деформацию самого ударника, часть переходит в тепло, а часть в акустическое излучение шума.

Энергия, переданная штанге расходуется на деформацию штанги, на тепловое излучение и акустическое излучение шума.

Основная часть энергии передается коронке, а часть теряется (отражаясь обратно в штангу).

Энергия, переданная коронке расходуется на разрушение породы, деформацию коронки, тепловое излучение и излучение акустического шума. Часть энергии идущей на разрушение возвращается в систему поршень-штанга-коронка-порода, рис. 1.



использовании метода конечных элементов.

Все расчетные схемы коронок были построены в среде SolidWorks с учетом требований, выдвигаемых пакетом COSMOSWorks.

Радиус кривизны коронки	Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4	Схема 5
	$R \rightarrow +\infty$	$R = +8914$	$R = +7827$	$R = +6740$	$R = +5653$
Радиус кривизны коронки	Схема 6	Схема 7	Схема 8	Схема 9	Схема 10
	$R = +4566$	$R = +3479$	$R = +2392$	$R = +1305$	$R = +218$
Радиус кривизны коронки	Схема 11	Схема 12	Схема 13	Схема 14	Схема 15
	$R \rightarrow -\infty$	$R = -8914$	$R = -827$	$R = -6740$	$R = -5653$
Радиус кривизны коронки	Схема 16	Схема 17	Схема 18	Схема 19	Схема 20
	$R = -4566$	$R = -3479$	$R = -2392$	$R = -1305$	$R = -218$

Рис. 2. Результаты математического моделирования

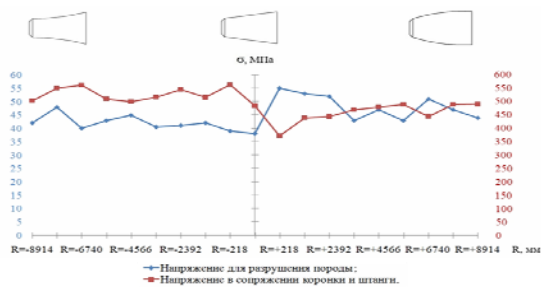


Рис. 3. Распределение напряжения в буровом инструменте

к разрушению корпуса коронки при наличии концентраторов напряжений и микротрещин после термообработки.

Коронки с повышенными напряжениями на породоразрушающих элементах теоретически обеспечат повышенную эффективность разрушения горной породы пропорционально отношению напряжений на породоразрушающих элементах, по сравнению с коронками, с меньшими напряжениями на породоразрушающих элементах, в которых разрушение породы осуществляется в основном за счет бокового скалывания.

На рис. 4 представлены результаты исследований влияния геометрических параметров пазов для выноса шлама на передачу энергии ударных импульсов к породоразрушающим элементам буровой коронки.

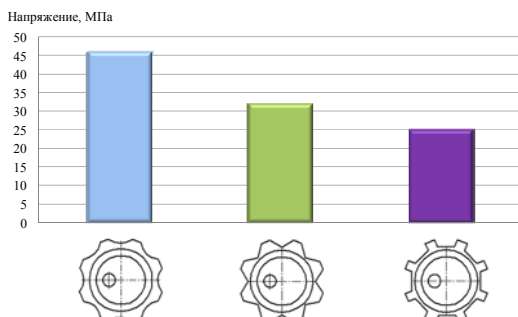


Рис. 1. Процесс передачи энергии удара в системе поршень-штанга-коронка-порода

В зависимости от физико-механических свойств породы и материала бурового инструмента возвращается от 20 до 40% энергии.

Для исследования напряжений в элементах корпуса коронки выполнено виртуальное компьютерное моделирование с использованием пакета COSMOSWorks. Пакет COSMOSWorks основан на

Для определения влияния геометрических параметров корпуса коронки на процесс прохождения ударного импульса было рассмотрено 20 схем радиусов коронок (10 схем с отрицательной кривизной и 10 схем с положительной кривизной, рис. 2).

На рис. 3 показано распределение напряжений в буровом инструменте в зависимости от радиуса кривизны корпуса коронки.

Из рисунка видно, что коронки с положительной кривизной корпуса ($R=+218$) обеспечивают лучшую передачу энергии бойка к породоразрушающим элементам, величина напряжений в районе породоразрушающих элементов коронки составляет 55 МПа, в то время как величина напряжений в коронках с отрицательной кривизной корпуса ($R=-218$) составляет порядка 39 МПа.

В коронках с отрицательной кривизной корпуса присутствует зона перенапряжения корпуса коронки в сопряжении коронки и буровой штанги.

Величина этого напряжения порядка 564 МПа.

Такая величина напряжения может привести к разрушению корпуса коронки при наличии концентраторов напряжений и микротрещин после термообработки.

Рис. 4. Влияние геометрических параметров пазов для выноса шлама на процесс передачи энергии ударных импульсов к породоразрушающим элементам буровой коронки

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее эффективен корпус коронки с круглыми боковыми пазами для выноса бурового шлама.

Величина напряжения на породоразрушающих штырях (элементах) составляет 46 МПа. В то время

как величина напряжений на штырях коронки с треугольными пазы составляет порядка 32 МПа, трапецеидальными - 25 МПа.

Выводы. Наиболее благоприятны с точки зрения рационального распределение напряжений по корпусу коронки схемы с положительным радиусом кривизны $R > 0$.

Все рассмотренные схемы корпусов с отрицательной кривизной корпуса $R < 0$ (схемы 11-20) имеют повышенной напряжении в зоне сопряжения коронки и штанги.

Круглые боковые пазы для выноса бурового шлама обеспечивают лучшую передачу ударного импульса от поршня-ударника к породоразрушающим элементам буровой коронки.

Список литературы

1. Ратинников Е.Ф. Исследование энергетических законов разрушения горных пород при бурении. «Известия вузов, Горный Журнал», 1968. - 12-20 с.
2. Арцимович Г.В. Исследование и разработка породоразрушающего инструмента для бурения. Изд-во «Наука» Сибирское отделение: Новосибирск, 1978.
3. Остроушко И. А. Разрушение горных пород при бурении. Госгеолиз-дат, М., 1952.
4. Барон Л. И., Веселов Г. М., Конышин Ю. Г. Экспериментальные исследования процессов разрушения горных пород ударом. Изд-во АН СССР. М., 1962.
5. Иванов К.И. Прохождение ударных импульсов через буровой инструмент. Горный породоразрушающий инструмент (Сб. статей), К.- 1966.

Рукопись поступила в редакцию 18.04.14

УДК 332.6: 631.95

А.Ю. ПАЛАМАР, аспирантка, Криворізький національний університет
М.С. МАЛАНЧУК, канд. техн. наук, Національний університет «Львівська політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ НОРМАТИВНОЇ ГРОШОВОЇ ОЦІНКИ В МЕЖАХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ РОЗТАШОВАНИХ В ЗОНІ ВПЛИВУ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Розглядається порядок ведення нормативної грошової оцінки земель в межах населених пунктів. Акцентовано увагу на особливості застосування локального коефіцієнту, що враховує екологічний фактор. Наводиться аргументація залежності нормативної грошової оцінки земель від екологічної ситуації певної території та ступеня порушення земної поверхні. Чим складніша екологічна ситуація на території, тим менша її нормативна грошова оцінка.

Постановка проблеми. Забруднення навколишнього середовища, крім серйозних негативних наслідків для здоров'я людей, призводить і до значних матеріальних втрат, що виражається в зниженні вартості не лише нерухомості, але й вартості земельних ділянок, виникненні додаткових витрат, пов'язаних із ліквідацією наслідків заподіяної шкоди, прямих втратах доходу від погіршення якості та зменшення прибутковості різних категорій земельних угідь або природних об'єктів тощо.

Встановлення різного роду природоохоронних обмежень господарської діяльності на деяких територіях, заборона розміщення промислових об'єктів, обмеження обсягів транспортного руху, вимоги щодо компенсації завданого збитку та інші обставини екологічного характеру впливають на землекористування та достовірність обчислення вартості оцінки земельних ділянок [1].

Як показує досвід розвинених країн, ринок нерухомості досить чітко реагує на новий фактор формування вартості - стан навколишнього природного середовища. Таким чином, в умовах становлення ринку землі в Україні набуває актуальності дослідження впливу екологічної ситуації на ринкову ціну земельних ділянок. Саме в цьому постає питання вивчення більш детального впливу екологічного фактору на ціну землі при введенні локальних коефіцієнтів.

Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Дослідженню напрямів становлення ринку землі та методології грошової оцінки земель в Україні присвячені праці таких відомих вітчизняних дослідників, як А.С.Даниленко, Ю.Д.Білик, В.Ф.Сайко, Ю.Ф.Дехтяренко, М.Г.Лихогруд, Ю.М.Манцевич, Ю.М.Палеха, С.І.Дорогунцов, Д.С.Добряк та ін. [2].

Виклад матеріалу дослідження. Швидка, можна навіть сказати, швидкісна урбанізація як глобальна проблема з'явилася вже кілька десятиліть тому, і розвиток великих міст в мегаполіси призвело до народження основних джерел перетворення і забруднення навколишнього середовища, а також зміна міського простору. У термінах оцінки земель і під екологічним фактором, або фактором навколишнього середовища, розуміють будь-яке природне явище чи якісний стан навколишнього середовища і його окремих компонентів, що впливає на ринкову вартість земельних ділянок [3].

Нормативна грошова оцінка земель використовується для визначення розміру земельного податку, державного мита при міні, спадкуванні та даруванні земельних ділянок згідно із законом, орендної плати за земельні ділянки державної та комунальної власності, втрат сільськогосподарського та лісгосподарського виробництва, а також під час розроблення показників та механізмів економічного стимулювання раціонального використання та охорони земель [4]. А отже потребує якісного виконання та особливого підходу до кожного об'єкта оцінки.

Території різних населених пунктів мають свої особливості щодо структури земельного фонду та використання земель. Значна частина територій таких міст, як: Кривий Ріг, Донбас, Луганськ припадає на землі промисловості. Тому більшість територій таких міст мають певні порушення, і територій що мають характеристики комфортного проживання залишається все менше і менше.

Отже важливе місце в оцінці земель даних територій має займати екологічний фактор.

Наприклад, до екологічних факторів можна віднести такі умови та параметри навколишнього природного середовища, як рівень забруднення води, повітря, ґрунту (включаючи радіоактивне); наявність зелених масивів, привабливого ландшафтного вигляду ділянки, наявність або відсутність поблизу смітників, наявність чи відсутність поряд несприятливих промислових об'єктів (скажімо, сміттєспалювальних заводів) тощо.

До факторів навколишнього середовища також відносять такі природні умови місцевості, які пов'язані з кліматичними, гідрологічними, гідрогеологічними і гірничо-геологічними особливостями території [5-6].

До гірничо-геологічних параметрів відносять наявність таких явищ, як карст, зсуви, підвищена сейсмічність, складний рельєф, будівельні якості ґрунтів і підстилаючої породи, гідрогеологічні умови та ін.

Крім природних та антропогенних явищ і процесів, які безпосередньо впливають на вартість земель, потрібно враховувати опосередкований вплив цих факторів на формування вартості, що проявляється у встановленні різного роду обмежень, вимог та обтяжень екологічного характеру, а також можливості виникнення фінансової й матеріальної відповідальності за заподіяну екологічну шкоду та збиток або додаткові витрати на відновлення порушеної якості середовища, ліквідацію забруднень, зміну технологій і обладнання.

Диференціюючи екологічні чинники, що впливають на грошову оцінку земель за особливостями їхнього походження та сферою впливу, можна виділити три класи екологічних факторів, які слід враховувати при оцінці земель:

екологічні фактори, що безпосередньо впливають на вартість земель в даний момент або здатні змінити її вартість після їх виявлення у майбутньому, якщо в цей час вони не виявлені;

обмеження у використанні нерухомого майна, які пов'язані із збереженням екологічних властивостей об'єктів нерухомості та навколишніх екотопів;

юридичні зобов'язання, що пов'язані або із здійсненням виплат, або з проведенням робіт щодо ліквідації заподіяного збитку внаслідок забруднення і засмічення земель.

Загальноприйнятої класифікації таких факторів нині не існує [7]. У практиці оцінки земель також не склалася чітка й однозначна класифікація екологічних факторів, які б безпосередньо впливають на оцінку земель. В умовах нерозвинутого ринку землі більшого значення набуває перший клас факторів, який враховується або через місце розташування об'єкта нерухомості (об'єкт перебуває в екологічно чистому чи екологічно забрудненому районі), або як самостійний елемент порівняння, що потребує коригування (наприклад, наявність чи відсутність поряд із ділянкою екологічно небезпечних об'єктів).

Фактори, що безпосередньо впливають на грошову оцінку земель, залежно від виду впливу можна умовно поділити на позитивні, тобто такі параметри навколишнього середовища, які

підвищують вартість земельної ділянки, й негативні, а саме якісні та кількісні параметри, що знижують її вартість.

До негативних екологічних факторів належать усі наслідки і прояви негативного впливу на навколишнє природне середовище. В основному це хімічне забруднення води, повітря, землі, псування чи знищення родючого шару ґрунту, знищення зелених насаджень тощо.

До особливих видів такого негативного впливу відносять забруднення діоксинами, пестицидами, радіоактивне, шумове, електромагнітне, вібраційне та теплове. До негативних екологічних факторів також можна віднести розташування ділянки поряд із непривабливими в естетичному і небезпечними в екологічному відношенні промисловими об'єктами.

Перелік таких екологічних факторів може бути досить широким, і в кожному конкретному випадку оцінювачу необхідно визначити, який саме фактор впливає на вартість конкретної земельної ділянки. Слід також зазначити, що досить часто враховують лише три із наведених факторів – якість повітря, наявність зелених насаджень і відсутність промислових об'єктів, на основі чого формується уявлення людей про якість навколишнього середовища й відповідно про престижність даних районів і ціни на нерухомість та грошової оцінки земель. Слід підкреслити те що даний фактор (екологічний), є одним із чотирьох груп факторів, які враховуються тільки при визначенні комплексного індексу цінності територій, що не завжди можна вважати об'єктивною характеристикою.

В містах сконцентрованої промисловості можуть бути свої вагові коефіцієнти, при визначенні значення екологічного коефіцієнту. На сучасному етапі формування, нормативна грошова оцінка земель враховує відповідні фактори для населення Криворіжжя:

викиди в повітря – 0,34;

забруднення земель – 0,20;

забруднення водних горизонтів – 0,26;

вплив шуму – 0,13;

вплив електромагнітних коливань – 0,07.

При розрахунку значень коефіцієнтів забруднення повітря використовувався метод потенціалів (95% достовірності від розрахунків по програмі інституту Воєйкова), інші показники групи одержані методом суми показників властивостей. Сумарний показник E_i (екологічний стан території по окремим земельним ділянкам), одержано як суму добутоків відповідних чинників та їх «вагових» співвідношень. Але тільки викидам в повітря віддають лише 0,34, що приходить лише $\frac{1}{4}$ частина результатів по факторній оцінці при визначенні комплексного індексу цінності території (I_i). На мою думку воно не достатньо чітко відображає вплив екології на стан земель [8].

Отже це в свою чергу не цілком правдиво відображає вартість землі. Оскільки Кривий Ріг - великий потужний промисловий комплекс, з великою чисельністю проживання людей, то нормативну вартість землі необхідно розраховувати з застосування екологічних факторів, а саме з врахуванням зон комфортного проживання міста, про яку говорилося в попередніх роботах автора.

Дія екологічних факторів може проявлятися як на локальному так і на регіональному рівні. Локальний рівень припускає підвищення вартості земельних ділянок та нерухомості залежно від розташування стосовно того чи іншого джерела екологічного впливу. На регіональному рівні дія перерахованих екологічних факторів проявляється в підвищенні вартості землі й нерухомості у певному районі, який займає значну територію стосовно одиничного землеволодіння або мікрорайону.

Серед локальних коефіцієнтів які впливають на оціночну вартість конкретної земельної ділянки немає екологічних факторів, є тільки присутні санітарно-гігієнічні фактори. Тому на нашу думку для великих промислових міст потрібно враховувати коефіцієнт, який буде характеризувати зони комфортного проживання.

Проаналізувавши та дослідивши територію м. Кривий Ріг та з використанням раніше складеної карти зон комфортності проживання, можна сказати, що коефіцієнт комфортного проживання ($K_{лк}$), повинен залежати від відповідних зон проживання:

сприятлива;

умовно сприятлива;

не сприятлива;

вельми несприятлива;
дуже несприятлива.

Кожна із зон оцінюється по п'яти критеріям екологічної оцінки стану геологічного середовища: хімічне забруднення ґрунтів, техногенне навантаження природних ландшафтів, техногенне навантаження, хімічне забруднення підземних вод четвертинного водоносного горизонту та підтоплені території. Всі критерії рівнозначні при наявності лише одного із двох критеріїв, для виділення зон, перевагу віддавали таким як: хімічне забруднення ґрунтів, техногенна зміна природних ландшафтів, як найбільш вагомо впливаючи на життєдіяльність населення [5].

В результаті математичних розрахунків та із застосуванням програмного комплексу Surfer, що дав можливість проінтерполювати та отримати креслення моделі значень даного коефіцієнта, отримали значення локального коефіцієнта Клк, який представлений в табл. 1

Таблиця 1

Значення локального коефіцієнта Клк, який характеризує розташування земельної ділянки в зонах комфортності проживання міста Кривий Ріг

№	Тип екологічної ситуації (Клк)	Значення коефіцієнта, Клк
1	Сприятливий	0,98
2	Умовно сприятливий	0,81
3	Не сприятливий	0,75
4	Вельми несприятливий	0,45
5	Дуже несприятливий	0,30

Висновки та напрямок подальших досліджень. Стан навколишнього природного середовища можна розглядати як один із найважливіших, а в деяких випадках — навіть як визначальний фактор, що впливає на ціну земельної ділянки в промислових районах [9]. Цей фактор має визначатися, по-перше, на основі глибокого аналізу всієї багатоманітності екологічних впливів на землю та нерухоме майно і, по-друге, - із застосуванням чіткої класифікації цих впливів, яка б дала змогу уніфікувати процедури їхньої оцінки. Отже, застосування запропонованого значення коефіцієнта дасть можливість достовірніше обчислити вартість земель тих територій що є порушеними в різних відношеннях, але не використовуються як землі промисловості. Це свідчить про те, що нормативна грошова оцінка земель із особливими характеристиками залежить від зон комфортності проживання (що характеризується коефіцієнтом Клк), що дасть можливість оцінити їх об'єктивну вартість з урахуванням ступеня їхнього техногенного порушення. Такий підхід дасть можливість реально визначити орендну плату чи земельний податок для тих земельних ділянок які є забрудненими та порушеними, але не використовуються як землі досліджень та розробок, гірничої промисловості та гірничих розробок і як землі промисловості [10].

Список літератури

1. **Л.М. Казаченко., Р.О. Гонцій.** Задачі землеустрою в ході земельної реформи // Міжнародна практична конференція «Землепорядна освіта, наука, виробництво сьогодення і перспективи очима молодих вчених», НАУ, Київ, 2003. – С. 120-123
 2. **С.І. Дорогунцов, О.С Новоторов, Г.С Ніколаєнко.** Оцінка земельно-ресурсного потенціалу України і проблеми забезпечення його ефективного використання: Наукова доповідь / РВПС України НАН України. - Київ, 1999.- С. 61
 3. **С.І. Дорогунцов, М.А. Хвесик, П.П. Пастушенко.** Екосередовище і сучасність. - Т.1: Природне середовище у сучасному вимірі: Монографія. - К.: Кондор, 2006. - 424 с.123, с.67
 4. **В.А Коптюч.** Конференція ООН по оточуючій середі і розвитку (Ріо-де-Жанейро, июнь 1992): Информационный обзор, РАН, 60. - Новосибирск, 1992. - 263 с.
 5. **Л.Г. Мельник.** Екологічна економіка: Підручник. - Суми: ВТД «Універс. книга», 2002. - 346 с.243,с.178
 6. **Л.М. Казаченко.** Зв'язок оцінної вартості земель населеного пункту з методами виявлення забруднюючих речовин у ґрунтах //Науковий вісник НАУ. - № 66. - Київ, 2003. - С. 78-82.
 7. **І.П. Манько.** Грошова оцінка земель як важливий чинник регулювання земельних відносин / **Манько І.П.** // Землепорядний вісник. - 2005. - №3. - С. 60-62.
 8. **Д.С. Добряк.** Грошова оцінка земель як важливий чинник регулювання ринку сільськогосподарських земель / **Добряк Д.С., Вітвіцька В. М.** // Землеустрій і кадастр. - 2010. - № 1. - С. 5-16.
 9. **Дмитро Сацький.** Масова оцінка землі - справедлива та ефективна база для розрахунку земельного податку / Дмитро Сацький // Землепорядний вісник. - 2010. - № 3. - С. 44-47.
 10. **Д.І. Бабміндра.** Грошова оцінка земель повинна здійснюватися на ринкових засадах / **Бабміндра Д. І., Слєфтеріаді Т. І** // Землеустрій і кадастр. - 2010. - № 1. - С. 16-19.
- Рукопис подано до редакції 03.03.14

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ЗАПОЛНЕНИЯ ПУСТОТ ЗАКЛАДОЧНЫМ МАТЕРИАЛОМ

Рассмотрены результаты исследований, посвященных определению параметров закладочных скважин, пробуренных с поверхности.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Отработка месторождений Кривбасса долгое время проводилась открытым и подземным способами. В некоторых случаях, подземные горные работы достигли бортов действующих карьеров, и под бортами действующих карьеров образовались подземные пустоты. Такая ситуация сложилась на карьере №1 ПАО «ЦГОК», Первомайском карьере ПАО «СевГОК». В предыдущих исследованиях было установлено [1], что возможность отработки бортов, опасных на предмет выхода пустот в виде воронок на поверхность, возможна только в случае их погашения из безопасной зоны путем закладки. Поэтому возникла необходимость определить основные параметры закладочных скважин, способных обеспечить заданную производительность и проходимость закладочного материала, представленного дробленой скальной массой..

Анализ исследований и публикаций. Самотечная закладка применяется при разработке крутопадающих месторождений, когда закладочный материал может размещаться в выработанном пространстве под действием собственной силы тяжести.

Применение самотечной закладки выработанного пространства на рудных и угольных шахтах осуществляется либо через горные выработки, либо через закладочные скважины, которые бурятся с дневной поверхности. При использовании горных выработок (диаметром свыше 3 метров), основное внимание уделяется гранулометрическому составу закладочных горных пород, который бы позволил обеспечить требуемую плотность закладки. Установлено, что для достижения высокой плотности закладочного массива необходимо применять закладочный материал с максимальным размером куска не более 250 - 300 мм, а содержание глинистых пород не должно превышать 20%. При этом содержание мелких частиц должно быть не более 10-15%, а фракции от 0 до 20 мм не более 30%. При мелкокусковом закладочном материале усадка достигает 25%, а при крупнокусковом 40% [2].

Практикой разработки мощных крутопадающих пластов в Кузнецком угольном бассейне (Россия) установлено, что в процессе заполнения выработанного пространства самотечным способом происходит расслоение закладочного материала по крупности кусков. Установлено, что в зависимости от угла падения пласта, формы кусков, влажности закладочного материала и т.п, куски породы, обладающие большей массой проходят более длинный путь, чем куски породы меньшей массы.

При использовании закладочных скважин и труб, кроме выше перечисленных требований, необходимо чтобы закладочный материал и технология его доставки к пустотам исключала возможность образования пробок. Так в работе [3] отмечается, что максимальный размер куска в закладочном материале не должен превышать 0,25 внутреннего диаметра закладочной скважины. В работах [4,5] дана информация о способах получения дробленого материала заданной крупности.

Постановка задачи. Определение параметров закладочных скважин и закладочного материала для обеспечения максимальной производительности закладочных работ при погашении пустот с поверхности.

Изложение материала и результаты. Экспериментально установлено, что массивные куски закладочного материала, имеющие окатанную форму, катятся по поверхности закладочной скважины, а куски пластинчатой формы скользят по поверхности скважины вниз [6,7].

В случае скольжения кусков породы по наклонной плоскости дифференциальные уравнения движения данного тела можно представить в следующем виде [8]

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} = mg \sin \alpha - F_{mp}, \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} = mg \cos \alpha - N, \end{cases} \quad (1)$$

Подставляя значение силы трения в первое дифференциальное уравнение системы и сократив в этом уравнении массу тела m , получим

$$\frac{dV}{dt} = g(\sin \alpha - f \cos \alpha)$$

Учитывая, что в левой части выше приведенного уравнения находится величина, определяющая ускорение тела, можно утверждать, что его значение постоянно, а значит, тело будет двигаться равноускоренно.

Для определения конечной скорости тела, в дифференциальном уравнении произведем разделение переменных, а затем проинтегрируем в соответствующих пределах

$$\int_0^V dV = \int_0^t g(\sin \alpha - f \cos \alpha) dt$$

Предполагая, что в начальный момент времени скорость тела равна нулю, получим:

$$V = g(\sin \alpha - f \cos \alpha) t, \text{ или } dx = g(\sin \alpha - f \cos \alpha) t dt$$

Интегрируем это уравнение в предположении, что в начальный момент времени x равно нулю

$$\int_0^L dx = \int_0^t g(\sin \alpha - f \cos \alpha) t dt$$

И получим

$$L = g(\sin \alpha - f \cos \alpha) \frac{t^2}{2}$$

где L - протяженность закладочной скважины, м; t - время прохождения сыпучего материала через закладочную скважину, с.

Учитывая, что при расчетах технологических параметров процесса закладки выработанного пространства, длина скважины и ее угол наклона известны, время прохождения сыпучего материала, с учетом выше приведенного выражения, может быть определено из следующего выражения

$$t = \sqrt{\frac{2L}{g(\sin \alpha - f \cos \alpha)}} \quad (2)$$

На рис. 1 представлена зависимость времени движения сыпучего материала в закладочной скважине от ее длины при различных значениях ее угла наклона, а на рис. 2 - от величины коэффициента внешнего трения.

Экспериментально установлено, что при движении даже сухих мелких породных фракций между ними возникают силы молекулярного сцепления, которые могут существенно превышать силу тяжести. Это приводит к тому, что скорость сыпучего материала у стенки на 40% меньше, чем в середине, а в некоторых случаях вдоль стенок трубы образуется неподвижный слой сыпучего материала [9].

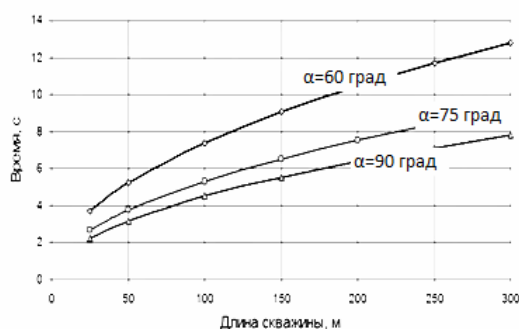


Рис. 1 Зависимость времени движения сыпучего материала по скважине от ее длины при различных углах наклона

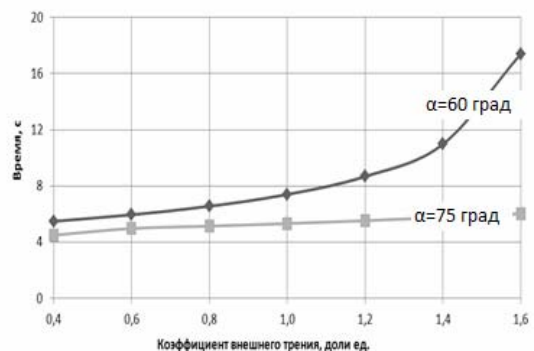


Рис. 2 Зависимость времени движения сыпучего материала по скважине длиной 100 метров от различных значений коэффициента внешнего трения сыпучего материала

В работе [10] приведены результаты определения углов внешнего трения отбитой железной руды об породный монолит при осуществлении ее выпуска.

В результате было установлено существенное снижение угла внешнего трения при увеличении крупности отбитой железной руды, что и отражено на графике, который приведен на рис. 3.

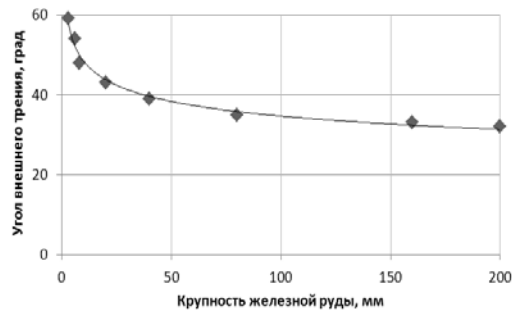


Рис. 3. Зависимость угла внешнего трения от крупности руды

Выполненная аппроксимация данных работы [10], позволила получить аналитическое выражение для описания данной зависимости угла внешнего трения φ^1 разрушенной скальной породы от ее крупности d (в мм) следующего виде

$$\varphi^1 = 67,7 d^{0,145}, \text{ град.} \quad (3)$$

Качество аппроксимации данной зависимости: $R^2 = 0,986$.

Использование аналитической зависимости (3), позволяет численно определить закономерность изменения времени скольжения отдельных фракций сыпучего материала по поверхности закладочной скважины в зависимости от их линейных размеров.

В этом случае, с учетом выражений (2) и (3) получим следующее выражение для определения времени скольжения отдельных фракций сыпучего материала по поверхности закладочной скважины в зависимости от их линейных размеров в следующем виде

$$t = \sqrt{\frac{2L}{g[\sin \alpha - \text{tg}(67,7 d^{0,145}) \cos \alpha]}} \quad (4)$$

где L – длина закладочной скважины, м; d – линейный размер куска породы в закладочном материале, мм; α – угол наклона скважины, град.

На рис. 4 приведена зависимость времени скольжения сыпучего материала по поверхности закладочной скважины с углом наклона 75° , в зависимости от линейных размеров кусков породы.

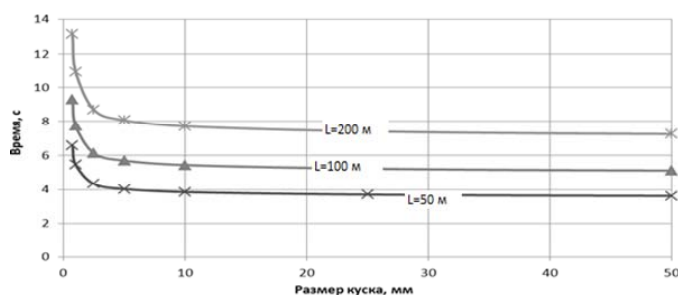


Рис. 4. Закономерности изменения времени движения фракций сыпучего материала в закладочной скважине от их размера

Данная зависимость однозначно показывает, что в процессе скольжения сыпучего материала по поверхности закладочной скважины произойдет его разделение по фракциям.

Большие куски породы покатаются по поверхности скважины и за короткое время достигнут выработанного пространства. Средние куски породы будут скользить по поверхности скважины и за более длительное время достигнут выработанного пространства. Мелкие куски породы ($d \leq 4$ мм) будут медленно скользить по поверхности скважины и при определенных условиях их движение прекратится совсем. Очевидно, что в этом случае образование породной пробки в скважине с течением времени более чем вероятно, и при проектировании параметров закладки такого развития событий необходимо избегать.

Совместное решение уравнений (2-4) позволило получить эмпирическое соотношение позволяющее определять максимальный размер куска породы, который уже не будет скользить по поверхности закладочной скважины в зависимости от ее угла наклона в следующем виде

$$d \leq (67,7/\alpha)^{6,9}$$

где d – линейный размер куска породы в закладочном материале, мм; α – угол наклона скважины, град.

При осуществлении процесса закладки пустот сыпучим материалом самым главным технологическим параметром является производительность закладочного оборудования. Очевидно,

что эта производительность должна быть по возможности максимальной, чтобы минимизировать время заполнения пустот.

При этом она не должна быть такой значительной, чтобы возникла даже вероятность образования в закладочной скважине свода естественного равновесия, т.к. в этом случае произойдет закупорка скважины и дальнейшая подача сыпучего материала прекратится, а дорогостоящая закладочная скважина будет потеряна.

Условием, при котором исключаются предпосылки закупорки закладочной скважины дробленной горной породой является то, что через ее поперечное сечение в единицу времени должно проходить ровно столько закладочного материала, сколько его подается питательным устройством, т.е.

$$Q = j S V$$

где Q - производительность питательного устройства, $\text{м}^3/\text{с}$; j - коэффициент заполнения скважины, обычно принимаемый 0,35-0,5 [9]; S - расчетная площадь поперечного сечения закладочной скважины; V - скорость перемещения потока горной породы по закладочной скважине, $\text{м}/\text{с}$.

Из приведенных решений следует, что закладочный материал будет двигаться с ускорением, поэтому пропускная способность скважины будет увеличиваться от ее начала к устью скважины, что находится в районе выработанного пространства.

В связи с этим логично определять предельную пропускную способность закладочной скважины именно в ее начале.

Тогда расстояние, которое пройдет поток закладочного материала за единицу времени будет равен

$$\Delta L = V_0 t + 0,5 a t^2$$

С учетом того, что начальную скорость закладочного материала можно считать равной нулю, а также выше приведенных результатов аналитического описания процесса движения сыпучего материала, выше приведенная формула может быть приведена к следующему выражению

$$\Delta L = g (\sin \alpha - f \cos \alpha) \frac{t^2}{2}$$

Тогда за первую секунду своего движения в закладочной скважине поток сыпучего материала пройдет расстояние

$$\Delta L = 4,9 (\sin \alpha - f \cos \alpha) ,$$

где ΔL - расстояние, пройденное потоком сыпучего материала за первую секунду своего движения, $\text{м}/\text{с}$.

Тогда искомая производительность закладочного комплекса будет равна, ($\text{м}^3/\text{с}$)

$$Q = 4,9 (\sin \alpha - f \cos \alpha) j S$$

В соответствии с результатами работы [3], расчетная площадь сечения S закладочной скважины может быть определена по следующей эмпирической формуле

$$S = \frac{\pi}{4} (D - 1,5 d_{cp})^2 ,$$

где D - диаметр отверстия истечения, м ; d_{cp} - средний размер куска, м

На основании полученных выражения построены аналитические зависимости предельной производительности закладочной скважины от ее угла наклона (рис. 5) и диаметра (рис. 6).

При этом необходимо подчеркнуть, что определяемая производительность является теоретической.

Очевидно, что эксплуатационная производительность закладочных скважин будет существенно ниже, ввиду неизбежной потери времени на различные технологические операции не связанные напрямую с процессом закладки сыпучего материала.

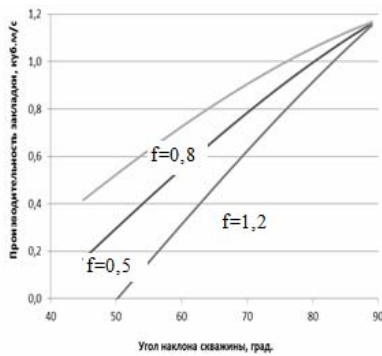


Рис. 5. Зависимость производительности закладочной скважины от ее угла наклона при различных значениях коэффициента внешнего трения

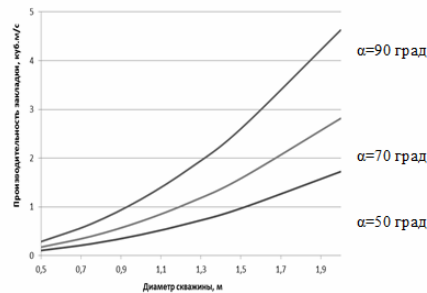


Рис.6 Зависимость производительности закладочной скважины от ее диаметра при различных значениях угла наклона

Из приведенных формул следует, что куски разного размера будут двигаться с разным ускорением, а значит, производительность закладочного процесса для различных фракций гранулометрического состава закладочного материала будет различна, а в целом будет зависеть от величины среднего куска закладочного материала.

Выводы и направления дальнейших исследований. Полученные теоретические зависимости позволяют определить максимальный и минимальный размер куска подаваемой в скважину дробленой горной массы, а также определить возможную теоретическую пропускную способность скважины в зависимости от ее диаметра и угла наклона. В дальнейших исследованиях планируется разработка технологических схем организации закладочных работ на площадках уступов карьеров.

Список литературы

1. **Перегудов Ю.В.** Анализ эффективности ведения открытых горных работ на крутопадающих месторождениях в зонах возможного обрушения// Гірничий вісник, 2013. – Вип.96. – Кривий Ріг : КТУ. – С. 49-54.
2. **Перегудов Ю.В.** Анализ геомеханических процессов и обеспечение безопасности совместной разработки месторождений в зоне возможного воронкообразования// Вісник Криворізького технічного університету, 2012. – Вип.30. – Кривий Ріг : КТУ. – С. 14-18.
3. **Вяткин А.П.** и др. Транспортабельность закладочных смесей по трубам в самотечно-пневматическом режиме. –М.: Цветметинформация, 1975, -37с.
4. **Андреев Е. Е., Тихонов О. Н.** Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению. — СПб., СПГТУ, 2007.
5. Пат. 2347616 РФ. Щековая дробилка двойного дробления/**А. Н. Петухов, П. С. Желобков, А. И. Дашкевич**; опубл. 27.02.2009, Бюлл. № 6.
6. Справочник по горнорудному делу. М.: Недра, 1983, - 816 с
7. **Саханов А.П.** Особенности и пути совершенствования самотечной закладки Кузбассе. –М.: Углетехиздат, 1958, - 51 с
8. **Воронков И.М.** Курс теоретической механики. М.: Гостехиздат, 1954
9. **Гячев Л.В.** Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах. М.: Машиностроение, 1968
10. **Барон Л.И.** Характеристики трения горных пород. М.: Наука, 1967, -208 с. ил.

Рукопись поступила в редакцию 17.02.14
УДК 622.1:622.831.3

О.В. ДОЛГІХ, канд. техн. наук, доц., Т.О. ПОДОЙНІЦИНА, ст. викладач
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ПРОБЛЕМИ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ МАРКШЕЙДЕРСЬКОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА ЇЇ ПЕРЕДБАЧЕННЯ

Розглянуто питання використання теорії нейронних мереж при прогнозуванні величин деформацій, виходу провалів на денну поверхню від впливу підземних гірничих робіт. Для підвищення якості прогнозування на основі використання сучасних статистичних методів важливою задачею є якісна інтерпретація маркшейдерської інформації та її передбачення.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Останнім часом з'являються нові легкі та надійні маркшейдерсько-геодезичні прилади. Зміни матеріальної бази

для виконання маркшейдерських робіт дозволяють зменшити час на польові та камеральні роботи, підвищити ступінь автоматизації та точність вимірювального і обчислювального процесів.

Аналіз досліджень та публікацій. Камеральна обробка маркшейдерських даних, завдяки програмним засобам Digitals, Credo DAT та іншим, що працюють на основі AutoCAD, значно спрощується. Маркшейдеру у більшості випадків непотрібно вибирати метод зрівнювання, довірчі інтервали й інші конкретні налаштування, які, звісно, є в «меню налаштувань». Для опрацювання більшості вимірів підходить їх стандартний набір, або параметри, які налаштовуються одноразово.

Постановка задачі. Але на протязі десятків років залишається актуальною задача інтерпретації даних. На теперішній час, навіть при укомплектуванні маркшейдерських служб гірничих підприємств, які виконують роботи по спостереженню за зсувами, приладами на порядок точнішими за ті, які вони мають, то в обробці вимірів істотних змін може не бути. Змінитися може те, що у величинах, наприклад, осадок, з'явиться ще одна цифра після коми. В одному випадку, це суттєво не може змінити результат прогнозування, в іншому – інколи десята частина міліметра, особливо коли це стосується дослідження великого масиву, може бути передвісником істотних процесів.

Викладення матеріалу та результати. Але на протязі десятків років залишається актуальною задача інтерпретації даних. На теперішній час, навіть при укомплектуванні маркшейдерських служб гірничих підприємств, які виконують роботи по спостереженню за зсувами, приладами на порядок точнішими за ті, які вони мають, то в обробці вимірів істотних змін може не бути. Змінитися може те, що у величинах, наприклад, осадок, з'явиться ще одна цифра після коми. В одному випадку, це суттєво не може змінити результат прогнозування, в іншому – інколи десята частина міліметра, особливо коли це стосується дослідження великого масиву, може бути передвісником істотних процесів.

Результатом досліджень є встановлення необхідності паралельно із класичними методами застосовувати інші, складніші та дорожчі, але найбільш логічні. Для цього важливим є створення сучасної системи інтерпретації даних. На рис. 1 наведено осадки реперів профілю за 11 років.



Рис. 1. Осадки реперів

рності (сезонні чи інші види деформацій), а друга – оцінювання величин деформацій за відхиленнями від загальної закономірності. В

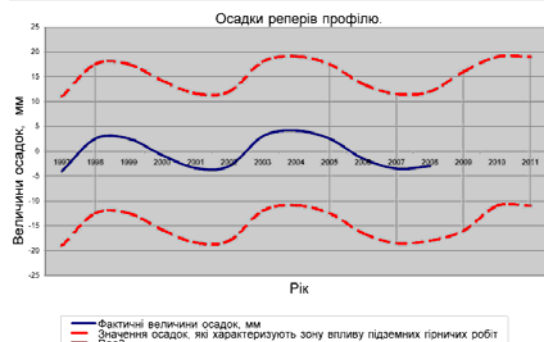


Рис. 2. Фактичні осадки реперів

З аналізу наведеного графіка осадок реперів можна зробити висновок про те, що у 2008 більш логічним було б очікувати значення осадки на рівні +1 мм, у 2009 – приблизно + 4 мм, у 2010 – + 4,5 мм. Такий логічний висновок не закріплений інструкцією, а у звітах за 2009-2012 роки слід було б очікувати такі величини деформацій.

Відомо, що спочатку необхідно визначати закономірність процесу деформацій, а потім – оцінювати величини деформацій. Отже, задача розпадається на дві частини: перша – визначення закономірності (сезонні чи інші види деформацій), а друга – оцінювання величин деформацій за відхиленнями від загальної закономірності. В задачі, що розглядається, найважливішим є передбачення інформації, яке більш успішно може вирішуватися за допомогою нейронних мереж і нечітких систем, порівняно з класичними методами, що використовуються (рис. 2).

Величини деформацій більші за 15 мм негативно впливають на споруди, спричиняють тріщини і інші негативні явища, але не впливають на безпеку і цілісність споруд.

Розглядаючи питання вибору ефективного методу прогнозування деформацій, необхідно проаналізувати пропонувані та загальноприйнятні методи та визначити, який з них може дати

більше даних для передбачення деформаційних процесів. Можна прийняти на рівні гіпотези,

що якщо будь-яка критична кількість реперів зазнає деформацій, що буде у протиріччі з загально визначеними положеннями, то можливо в надрах проходять процеси що можуть спровокувати, наприклад, стрімке обвалення масиву, так як це трапилось на шахті ім. Орджонікідзе, або інші непередбачувані процеси.

Для наведеного прикладу у 2009, 2010, 2011 рр. значення осадок – +1 мм, +4 мм, +4,5 мм відповідно, не перевищують допустимих значень і тому, при прогнозуванні їх не можна вважати передвісниками глобальних катастрофічних подій. У висновках за результатами спостережень небезпечних об'єктів необхідно розраховувати також вірогідність катастрофічних подій, таких як стрімке обвалення тощо.

З іншого боку, визначення закономірностей такого роду не є тривіальною задачею з явним рішенням. Цьому багато причин.

По-перше, складні процеси у надрах, іноді є причиною змінення загальної закономірності зсувного процесу, наприклад, зафіксовані випадки, коли закономірність осідання репера за 40 років, навіть при достатньо грубому візуальному оцінюванні, змінювалася 2, 3, а іноді і 4 рази, та при цьому ніяких катастрофічних явищ не траплялося;

По-друге, періодичність спостережень за реперами низька – від одного разу на рік до дванадцяти, що буває рідко. Розглянувши припущення, що якщо деформації між серіями спостережень мають лінійну залежність, то їх можна згустити, використавши лінійну інтерполяцію і тим самим збільшити передісторію. Але це не завжди дає вірний прогноз і може спотворити результати. Інший шлях вирішення це: підвищення кількості спостережень; застосуванням оптико-волоконних та інших автоматизованих систем, за допомогою яких можна отримати результати хоч на кожен день. Як зазначалося вище, якщо ці системи і були б впроваджені на таких об'єктах, то це не принесло б очікуваного ефекту через недосконалу системи інтерпретації цих даних.

По-третє, розташування реперів не завжди є оптимальним для прогнозування складних процесів у надрах, а закладання нових не дасть потрібного ефекту ще декілька років, поки не набереться достатня кількість статистичних спостережень.

Окрім зазначених причин, є труднощі наукового і технічного характеру, такі як:

визначення способу та детальності згладжування деформаційних графіків;

обчислення мінімальної та необхідної кількості попередніх спостережень і оцінка можливості прогнозування у випадку, коли даних недостатньо;

якщо моделювання виконується за допомогою нейронних мереж, то необхідно вирішити проблему їх перенавчання.

Інакше кажучи, необхідно, щоб нейронна мережа мала здатність узагальнювати результати для нових спостережень. У дійсності, мережа навчається мінімізувати помилку у навчальній множині, і під час відсутності ідеальної й нескінченно великої навчальної множини це зовсім не те ж саме, що мінімізувати «справжню» помилку на поверхні помилок у заздалегідь невідомій моделі явища (Bishop, 1995).

Якщо мережа перенавчена, то створена модель вже не передбачує значення наступного циклу, а просто їх повторює, а це означає що втрачається сама головна перевага нейронних мереж – незалежність від будь яких моделей.

«Перенавчити» нейронну мережу та розглядаючи величини деформацій за період з 1997 по 2002 рік (рис. 3,4) і будуючи прогноз на 6 наступних років, отримаємо другі частини графіків ідентичними і дещо зміщеними. Як видно за величинами деформацій, які дійсно відбулися (пунктирна лінія), точність такого прогнозу низька.

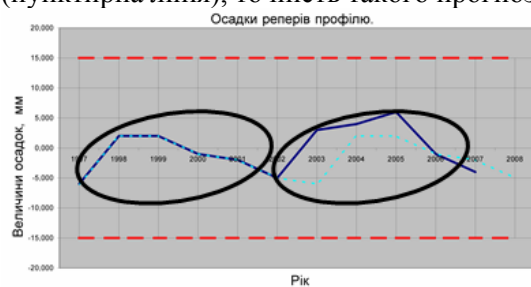


Рис. 3. Прогнозування осадок реперів (приклад 1)

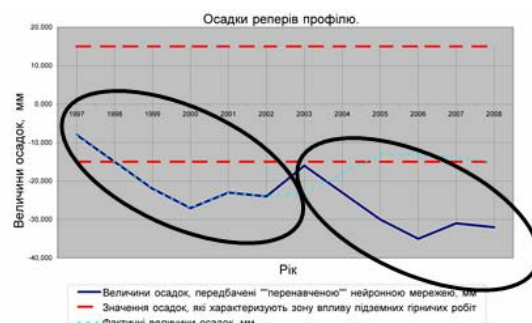


Рис. 4. Прогнозування осадок реперів (приклад 2)

Отже при прогнозуванні слід уникати занадто високого ступеня «підгонки» результату. В прикладах (див. рис. 3,4) є ще один недолік прогнозування такого типу деформацій – недостатня передісторія. Звісно, що маючи 6 циклів спостережень, неможливо побудувати прогнозовані значення шести наступних.

Практика показує, що при визначенні закономірностей зсувних процесів для одного і того самого об'єкту, репери, навіть однієї профільної лінії, мають різні закономірності. «Поведінка» деяких реперів добре характеризується простими лінійними закономірностями (рис. 5). Зрозуміло, що за принципами науковості, при інших однакових умовах, необхідно брати найпростіше. Тому у даному випадку слід або використати просту лінійну залежність, або оптимально настроїти нейронну мережу (вибрати мінімальну складність), щоб не «засмічувати» зайвими розрахунками.

Є приклади неявної закономірності (рис. 6). В таких випадках логічним буде не підбирати способи апроксимації «вручну», а одразу створювати нейронні мережі.

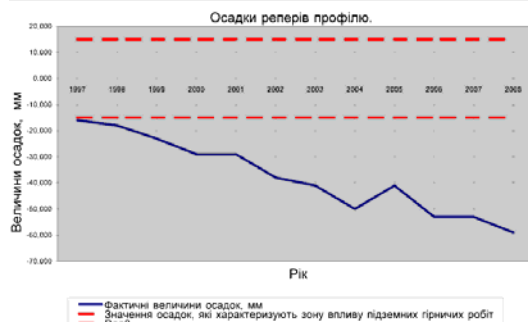


Рис. 5. Використання лінійної закономірності

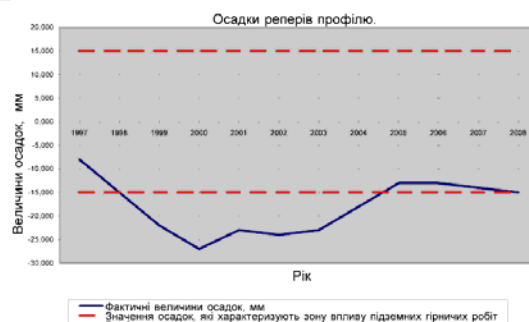


Рис. 6. Використання неявної закономірності

Важливою характеристикою будь-якого прогнозу є його довго строковість. Будь-який прогноз на досить тривалий час (в даному випадку на 6 років), створюється таким чином, що спочатку створюється прогноз на один рік, потім ці результати використовуються як вихідні дані при прогнозуванні на наступний рік. Звісно, що таким чином, похибка прогнозу збільшується за арифметичною залежністю.

Висновки та напрям подальших досліджень. Із зазначеного можна зробити наступні висновки:

без науково обґрунтованих параметрів побудови нейронних мереж для маркшейдерських даних, неминуче з'являться великі помилки через перенавчання або недостатнє навчання мереж;

для маркшейдерських даних, які є дуже специфічними, без наукового обґрунтування оптимального періоду, на який можна зробити прогноз, неможливе вирішення конкретних інженерно-технічних задач;

для вирішення кожного класу задач маркшейдерії, необхідно знати оптимальний та мінімально допустимий об'єм передісторії, так як кожна із задач, що вирішується, за структурою даних несхожа на іншу, це викликає необхідність мати надійні критерії, хоча б на кожен клас задач, що вирішується;

необхідно визначити, наскільки параметри, критерії тощо, що розроблені, наприклад, для економічної теорії, придатні до застосування в маркшейдерії.

Список літератури

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976.
2. Калинина В. Н., Соловьев В. И. Введение в многомерный статистический анализ: Учебное пособие / ГУУ. – М., 2003. – 66 с.
3. Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. – М.: Физматлит, 2002.
4. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М., 2004.

Рукопис подано до редакції 12.03.14

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗНІМАЛЬНИХ РОБІТ У СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Показано шляхи автоматизації знімальних робіт, які можна застосовувати для підвищення ефективності маркшейдерського забезпечення гірничих робіт як частини управління технологічними процесами у кар'єрах. Обґрунтовано створення математичної моделі забезпечення, яка враховує тип та рівень автоматизації приладів та пристроїв.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На формування ефективної роботи гірничодобувного підприємства та собівартість кінцевої продукції впливають багато чинників. Такими чинниками є автоматизація найбільшої кількості технологічних процесів там де це економічно доцільно, та автоматизація процесів збору даних, зокрема маркшейдерського забезпечення робіт для здійснення контролю та управління технологічними процесами. Так, для маркшейдерського забезпечення за видобуванням існує багато різноманітних методик, приладів та пристроїв, як можна поділити на групи, що мають певний рівень автоматизації знімальних робіт. Проблема постає у виборі найбільш доцільної комбінації методик, приладів і науковому обґрунтуванні необхідної кількості персоналу для маркшейдерського забезпечення (з урахуванням рівня автоматизації та вимог нормативних документів), а також у підвищенні ефективності та оперативності контролю за стійкістю бортів, екскаваторними, відвальними та буро-вибуховими роботами.

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз показав, що автоматизація маркшейдерського забезпечення робіт та впровадження сучасних технологій знімальних робіт є основним спрямуванням для підвищення ефективності управління технологічними процесами, роботи маркшейдерських служб та відділів, підвищення точності, оперативності, своєчасного реагування на відхилення від проектів, покращення умов праці маркшейдерів, культури ведення робіт і рівня безпеки праці.

Постановка завдання. Розробка родовищ корисних копалин пред'являє високі вимоги до точності, якості та оперативності маркшейдерського забезпечення технологічних процесів. Для того щоб відповідати цим вимогам, необхідно вибрати правильну модель забезпечення, яка перш за все включає вибір приладів та пристроїв.

Викладення матеріалу та результати. У теперішній час набувають найбільшої актуальності лазерні прилади з можливістю дистанційного керування шляхом радіозв'язку і передачі даних засобами *Wi-Fi*, *Internet* та *Bluetooth* технологій, при цьому область застосування охоплює спостереження за сейсмічними процесами у земній поверхні і забезпечення гірничих робіт. Обладнання для маркшейдерського забезпечення робіт може бути стаціонарним, мобільним та переносним.

Стаціонарні системи спостереження, що включають лазерні сканери, які встановлюють на спеціальні опори які можуть бути вмонтовані у інженерну споруду з якою передбачається вести спостереження або які встановлюють на постійно закріплених наземних спостережних станціях, де здійснюється безперервний контроль за зсувами земної поверхні. Такі системи повинні мати постійне джерело живлення та дистанційне керування шляхом дротового поєднання спостережної станції та управляючого комп'ютеру. Встановлення стаціонарних лазерних сканерів може бути виправданим за умов постійних важкопрогнозованих зсувів земної поверхні, з метою негайного реагування, запобігання руйнування техніки і людських жертв, у випадках коли не можливо повністю ізолювати зону небезпечного впливу або якщо є велика імовірність розповсюдження такої зони на більшу частину родовища. При цьому спеціально підібране та налаштоване програмне забезпечення дозволить службам диспетчеризації родовища своєчасно реагувати на відповідні сигнали про небезпеку і залучати спеціалістів.

Мобільне обладнання може бути: бортовим гідрографічним, повітряним *2D* і *3D*, автомобільним *2D* і *3D*. На сьогодні одним з найбільших виробників такого обладнання є компанія *Riegl*. Особливістю мобільних систем є принцип накопичення даних подібний до фотограмметричних методів, разом із відсутністю недоліків пов'язаних із спотворенням зображень у певній

частині об'єктиву, можливість мати одне цільне зображення замість багатой кількості фотознімків і порівняно більш точним визначенням перевищень між точками сканування, що робить цей метод таким, який може розглядатися альтернативним до аерофотознімання. Найбільшу ефективність повітряні сканери демонструють при зйомці ситуації з дуже складним рельєфом, тому використання доцільне для накопичення даних при створенні 3D області ведення гірничих робіт (кар'єрів і відвалів) або поверхні акваторії дна водосховищ і шламосховищ - для створення топографічних карт та планів місцевості будь-якої складності, у якості як контрольного заміру, так і мобільного спостереження за станом бортів кар'єру. Мобільні сканери за розмірами та конструкцією можуть бути для пілотних та безпілотних летальних апаратів (БПЛА). Характерними особливостями сканерів для БПЛА є спрощені конструкції, зменшена вага, дальність і швидкість роботи, разом з тим вони здатні виконувати всі ті ж задачі, які виконують їх відповідники для пілотованої техніки у менших обсягах і призначені для більш локального застосування у порівняно крупних масштабах. Використання БПЛА сканування може бути виправданим у місцях, де знаходження людини є неможливим, негативно впливає на ведення гірничих робіт або є небезпечним, з метою підвищення ефективності маркшейдерського забезпечення робіт: в зонах активного воронко-утворення, великого скупчення техніки і машин безпосередньо задіяних у технологічних процесах, у місцях падіння гірничої маси у результаті роботи екскаваторів і бульдозерів, для зменшення пересувань знімальних бригад по території кар'єру.

Переносні лазерні прилади використовуються для повсякденних нужд маркшейдерії. Для них характерна невелика вага (разом з кейсом до 10 кг) та можливість переносу для встановлення на місцевості, що потребує проведення певного забезпечення у якості знімальних робіт або виносу у натуру. Такими приладами виступають електронні тахеометри, переносні лазерні сканери, лазерні рулетки, лазерні нівеліри, при чому останні два класи приладів не є предметом даної статті. Через відносну простоту використання, доступність, порівняно низьку вартість та оперативність роботи тахеометри є найбільш розповсюдженими для проведення будь-яких видів маркшейдерських робіт у глибоких кар'єрах по відношенню до інших вимірювальних пристроїв.

Електронні тахеометри за рівнем автоматизації можна розділити на 3 групи. До першої групи можна віднести класичні тахеометри, що мають базовий рівень автоматизації, прості обчислювальні модулі та програмне забезпечення, і можуть не мати вбудованих *Bluetooth* та *Wi-Fi*. За класами точності: точні і високоточні, можуть вимірювати відстань по призмі до 2.5-5 км і до 150-500 м у безпризмовому режимі (в залежності від моделі). До цього класу можна віднести *SOKKIA SET, CX, FX, NET; TOPCON GPT, GTS; Trimble TS* та інші. Для роботи з приладами цієї групи у більшості випадків необхідна бригада, що складатиметься мінімум з двох осіб: одна оператор тахеометру, інші - для фіксування ситуації у полі. Використання електронних тахеометрів цієї групи є актуальним при помірній активності просування гірничих робіт, групуванні екскаваторів на певних ділянках кар'єру, невеликому проміжку часу що необхідний для пересування і достатньої кількості персоналу для здійснення маркшейдерського забезпечення (недостатня кількість може бути обумовлена хворобами або відпустками певних спеціалістів), а збільшення активності робіт або значне збільшення часу на пересування по кар'єру у випадку використання тахеометрів цієї групи передбачає збільшення штату маркшейдерської служби родовища або підприємства.

До другої групи можна віднести безпосередньо роботи-тахеометри з наявним серводвигуном, системою пошуку призми, можливістю дистанційного керування. Важливими характеристиками, що відрізняють їх від першої групи - це можливість здійснення робіт з мінімальною дозволеною кількістю персоналу, відстань на якій можна здійснювати дистанційне керування, при чому можливість зменшити кількість персоналу для проведення зйомки або виносу у натуру не має негативного впливу на точність і якість робіт, хоча іноді може мати негативний вплив на оперативність. Представниками групи виступають *SOKKIA SX, SXR; Trimble S, RTS* та інші подібні до них. Більша частина з цих приладів здатна завдяки вище зазначеним технологіям *Bluetooth* і *Wi-Fi* оперативно передавати інформацію на комп'ютер для контролю та подальшої обробки даних. Використання таких тахеометрів доцільно при періодично тимчасовій або постійній високій активності ведення гірничих робіт і при підвищених вимогах до маркшейдерського забезпечення при незмінній кількості людино-годин, що на нього витрачаються. Так, використовуючи два роботи- тахеометри, розташованих на відповідних станціях для забезпечення

однієї ділянки місцевості, можна покрити значну площу, виконуючи роботу бригадою, що складається з двох осіб. А у випадку, коли необхідний винос у натуру можна залучити до маркшейдерського забезпечення неспеціалістів з метою збереження рівня безпеки праці, при цьому безпосередньо винос буде здійснювати лише одна особа.

До третьої надсучасної групи належать роботи-тахеометри з функцією сканування місцевості. По суті такий пристрій являє собою комбінацію електронного тахеометра і лазерного сканера, що робить його універсальним, спроможним виконувати цикл геометричних вимірювань, доцільність та область використання збігається з другою групою автоматизації, що доповнена можливістю з високою точністю вести спостереження за стійкістю бортів, вивчати сейсмічні процеси земної поверхні та точно встановлювати коефіцієнт розпушення при веденні буровибухових робіт, визначати об'єми гірничої маси, що перемістилися за рахунок вибуху. Тахеометри 3-ї групи рівня автоматизації є найбільш універсальними і високотехнологічними. Їх використання буде виправдане у разі активного ведення гірничих робіт при наявності небезпечних зсувів гірських порід на певних ділянках родовища, що потребують детального та своєчасного фіксування і вивчення, з метою забезпечення якісного управління технологічними процесами, культури та безпеки праці, відповідного рівня точності і оперативності. До групи належать *TOPCON IS*, *Trimble VX* і подібні до них. Треба зазначити, що у режимі сканера прилад працює у значно меншому діапазоні відстаней, в залежності від моделі в середньому досягає від 1-го до 250 м. Усі моделі мають функції пошуку призми та дистанційного керування.

Можливість сканування місцевості з великою щільністю дозволяє не знаходитися на небезпечних ділянках, що потребують фіксування даних ситуації або проводити маркшейдерське забезпечення таким чином, що не гальмує і не призупиняє технологічні процеси на час проведення маркшейдерської зйомки.

Тепер розглянемо переносні лазерні сканери. Технології лазерного сканування є останніми розробками в сфері маркшейдерії і картографування, основним призначенням мають накопичення великої кількості даних про ситуацію за короткий час для створення точної тривимірної моделі інженерних споруд, рельєфу та ситуації місцевості. Завдяки спеціальному програмному забезпеченню можливо створювати та поповнювати моделі, вивчати навіть незначні зміни у порівнянні з попередніми даними, та адекватно реагувати на відповідні зміни: зсуви рельєфу, воронко-утворення, просідання та порушення геометрії споруд, виникнення мікротріщин та деформацій. Треба підкреслити здатність сканерів фіксувати усі вище зазначені елементи під водою, що робить їх також перспективними для використання на шламосховищах. Представниками виступають *Riegl VZ*, *Leica HDS*, *C* та інші.

Через наявність такої кількості сучасних приладів, що мають різний рівень автоматизації, а більшість з них має широку сферу можливого застосування виникає необхідність створення математичної моделі і розрахункових формул, що дозволять визначати кількість необхідного персоналу та приладів для здійснення маркшейдерського забезпечення, які будуть враховувати не тільки фізичні параметри родовища, кількість та якість транспорту на якому переміщуються працівники, об'єми видобутку і буровибухових робіт але і рівень автоматизації та тип обладнання, яке передбачається використовувати на відповідному родовищі. Без такої моделі може бути вибрано обладнання, що перевищує потреби виробництва, або навпаки характеристики не є достатніми для ефективного забезпечення маркшейдерських робіт та функціонування системи управління технологічними процесами. Обґрунтування використання певного виду та кількості маркшейдерських приладів та оснащення є важливою складовою частиною при формуванні ефективної системи управління технологічними процесами, у якій не останню роль відіграє маркшейдерське забезпечення робіт. Також слід врахувати можливість комбінованого використання пристроїв з різним рівнем автоматизації, що дасть змогу зменшити економічні витрати або розширити функціонал одних пристроїв іншими заповнюючи певні недоліки або неефективність у виконанні певного виду робіт. Так, сканер буде більш ефективним при спостереженні за стійкістю бортів кар'єру, у той час коли електронний тахеометр дасть змогу з необхідною точністю здійснювати винос у натуру. Таким чином при маркшейдерському забезпеченні гірничих робіт можна використовувати, сканер для вирішення знімальних задач на невеликі відстані, там де потрібна велика щільність знімання (зйомка масиву у цілику та у розпушеному вигляді), роботизований тахеометр для виносу точок у натуру та зйомки відвалів, а у місцях де

відбуваються постійні зсуви поверхні і неможливо закріпити надійну точку, використовувати GNSS технології для визначення координат станцій.

Можливість здійснення робіт однією людиною завдяки автоматизованим технологіям не є універсальною. Більшість роботів-тахеометрів не спроможні на дистанційне керування на відстані більше 200-300 м, тому чинник виконання робіт за межами зазначених відстаней і частота виконання таких робіт повинен бути врахований при побудові моделі маркшейдерського забезпечення управління технологічними процесами, що безпосередньо буде впливати на кількість необхідного персоналу, доступний час для здійснення поставлених задач не завдаючи шкоди оперативності отримання даних, обробці результатів, вибору оптимального комплексу обладнання для усіх маркшейдерських служб та відділів підприємства.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Рівень оснащення, кількість та тип обладнання, яке передбачається для здійснення маркшейдерського забезпечення буде впливати на кількість спеціалістів, які потрібні для ефективного функціонування системи управління технологічними процесами, а вибір і комбіноване використання приладів потребує створення математичної моделі функціонування такої системи, що дозволить обрати найбільш доцільну конфігурацію яка буде складатися з оптимальної кількості та типу приладів, програмного забезпечення до них, можливості залучення служб диспетчеризації для спостереження за процесами небезпечних зсувів гірничих робіт та відповідної кількості персоналу яка необхідна для ефективного функціонування маркшейдерського забезпечення. Таке забезпечення базується на більш глибокому вивченні впливу рівня його автоматизації, впливу цього рівня на якість і оперативність, що приведе до створення моделі функціонування, яка буде враховувати усі описані параметри.

Список літератури

1. zakon2.rada.gov.ua [Електронний ресурс] : Інтернет-портал. Закон України. - К. : Верховна рада України, 1991-2014. Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/1127-14>. - Назва з екрану.
2. Инструкция по производству маркшейдерских работ. М.: Недра, 1987. 240с.
3. Долгих Л.В., Долгих О.В. Перспективный напрям автоматизації робіт маркшейдерського забезпечення кар'єру. Сборник научных трудов 2005-2006 г.г., „Научное обеспечение развития горнорудных предприятий на современном этапе”, - Кривий Ріг: ГП НИГРИ, 2006. с. 149-157.
4. Інтернет ресурс:[http:// www.ostenrieder.de/ media/file/ Articles/ Terrestrial%20Laser% 20Scanning%20for% 20Applications%20in%20Surfac% 20Mining%20.pdf](http://www.ostenrieder.de/media/file/Articles/Terrestrial%20Laser%20Scanning%20for%20Applications%20in%20Surfac%20Mining%20.pdf)
5. Інтернет ресурс: <http://lagf.org/2012/proceeding/Werner.pdf>

Рукопис подано до редакції

УДК 622.1: 622.216

П.И. ФЕДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., А.В. ПЕРЕМЕТЧИК, канд. техн. наук, доц.,
Т.А. ПОДОЙНИЦЫНА, старший преподаватель, Криворожский технический университет

ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И ПЛАНИРОВАНИЕ ДОБЫЧИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рассмотрена проблема перспективного и текущего планирования добычи железных руд на основе разработанного горно-геометрического метода прогнозирования качественных показателей железорудных месторождений. В качестве математического обоснования принимается система уравнений многомерного случайного геохимического поля, реализованная в виде многомерного эвристического алгоритма прогнозирования.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В период эксплуатации месторождения производят перспективное и текущее планирование горных работ. Основой их, как и на этапе проектирования горного предприятия, является комплекс горно-геометрических графиков.

Перспективное планирование добычи полезного ископаемого используется, как правило, при составлении прогнозных планов развития добычных работ на квартал, полугодие, год, три, пять и более лет. От правильно запланированного развития горных работ, учитывающего размещение качества и сортность руды в недрах, зависит рациональная разработка месторождения с минимальными потерями и разубоживанием полезного ископаемого. Обогажительные, агло-

мерационные, окомковательные фабрики и доменные печи приспособлены к переработке однородного сырья и не приспособлены к частому изменению режима работы. Поэтому необходимо как можно более длительно подавать однородное сырье, а это всецело зависит от правильно запланированной программы развития горных работ.

Качество и технологические показатели полезного ископаемого не остаются постоянными на площади распространения месторождения. Они меняются по числу и степени проявления. Правильный учет этих факторов, установление зон и участков проявления каждого из них имеет исключительно большое практическое значение для перспективного планирования.

Ежегодно на горнорудных предприятиях составляются годовые программы горных работ, на основании которых утверждаются плановые показатели деятельности предприятия.

Одним из важнейших элементов программы горных работ является установление не только средних значений, но и размещение их в пространстве залежи, в данном случае в контурах годовой отработки.

Это необходимо не только для правильного определения количества руды и концентрата с заданным качеством, но и для правильного планирования развития горных работ в целях равномерного снабжения перерабатывающих цехов рудой определенного состава, в целях выбора наивыгоднейших схем развития очистных работ, транспортных схем и т. д., в целях сокращения потерь и снижения разубоживания. Для перспективного планирования на год, полугодие, квартал используются как прогнозные технологические планы типов руд, так и качественные горно-геометрические планы в изолиниях средних содержаний. В контурах годовой отработки геологической службой рудника оконтуриваются блоки примерно равного среднего значения по скважинам и пробам, входящим в контур блока того или иного показателя.

Далее определяют среднее значение показателя в каждом блоке и среднее из всех блоков, слагающих годовую контур.

Планирование годовой программы добычных работ осуществляют по данным эксплуатационной разведки, без заполняющих ее и в большинстве опробуемых взрывных скважин. При интенсивной отработке месторождения не всегда удается выдержать принятые параметры разведочной сети. Поэтому остаются участки, которые либо вовсе не имеют разведочных скважин, либо имеют их, но недостаточно. В таких случаях на эти участки составляется прогноз размещения качественных показателей.

Текущее планирование добычи с заданным содержанием компонента исходит из перспективного, является его уточнением, конкретизацией на месте. При этом по наличию более детальной информации о месторождении исправляют неточности, допущенные при долгосрочном планировании. Основой его является составление месячных, недельных и ежесуточных шихтовочных планов, которые составляются геологической службой горного предприятия по данным геологических качественных планов, массового опробования и непосредственного осмотра рудного забоя. В плане работ на месяц детально определяют блоки для добычи, их качественную характеристику и экскаваторы, которые должны работать в этих блоках.

Анализ исследований и публикаций. В качестве примера приведем методику управления качеством отгружаемых руд на обогатительные фабрики ОАО «ЮГОК». Она включает в себя следующие, приведенные ниже основные виды работ и организационно-технические мероприятия.

Получение исходных данных по качеству руд: опробование взорванной горной массы и забоев карьера для текущего планирования. Годовой объем опробования 400-500 проб. Этому виду опробования предшествует выделение, привязка (оконтуривание) и документация технологических разновидностей руд по всему фронту работ экскаваторов. Этот вид работ выполняет геологическая служба рудника; опробование сливов классификаторов. Отбор проб по секциям выполняет через 2 часа ОТК комбината. Периодическое контрольное опробование сливов классификаторов геологическими службами рудника и управления комбината.

Планирование качественных показателей: составление годовых программ развития горных работ с учетом обеспечения фабрик рудой планового качества, а также усреднения руд по технологическим типам, обоснованное математической статистикой. Выполняет технический отдел комбината, рудника, геологическая и маркшейдерская службы; планирование объемов и качества добываемой руды на месяц согласно годовой программы. Этот вид работ выполняет технический отдел, геологическая и маркшейдерская службы рудника; составление недельно-

суточных графиков работы экскаваторов до данным эксплуатационной разведки и опробования взорванной массы. Поскольку фактическое суточное и сменной продвижение экскаваторов расходится с плановым, составляются также сменные заявки, которые корректируют недельно-суточный график на основе положения экскаваторов и качественной характеристики их забоев на начало каждой смены. Выполняют производственный и геологический отделы рудника.

Анализ выполнения качественных показателей, подразделяющиеся на: ежемесячные и ежеквартальные анализы работы предприятия на совещаниях при генеральном директоре (главном инженере) комбината; анализ выполнения плановых показателей добычи руды на ежедневных освещенных проводимых главным инженером (директором) комбината.

Оперативный контроль качества отгружаемой руды, состоящий из: контроля выполнения недельно-суточных графиков подачи руды на фабрики. Этот вид работ осуществляет производственный отдел и геологическая служба комбината; контрольного опробования фабрик и забоев карьера, выполняющегося совместно геологической службой и ОТК комбината; контроля работы экскаваторов в сложных забоях (геологическая служба рудника).

Постановка задачи. Видно, что основой для полноценного управления качеством руды, отгружаемой на РОФ, для рационального освоения месторождения, является знание характера размещения качественных показателей месторождения. Эксплуатационная разведка ведется только на основе опробования взорванной массы, и, следовательно, не способна уточнить данные детальной разведки с целью выявления характера размещения качественных показателей на еще не отработанных участках. Все это требует использования специальной методики прогнозирования.

Изложение материала и результаты. Предложенный по результатам исследований горно-геометрический метод прогнозирования качественных показателей железорудных месторождений был проведен с последующим его использованием на карьере ОАО «ЮГОК».

Эксперимент проводился в пределах осей 80 – 108 по простиранию и 89 – 109 в крест простирания горизонтов – 165 – 180 м, – 180 – 195 м и – 195 – 210 м, что соответствует геологическому участку 1. Геологический участок 1 расположен в северо-восточной части месторождения, его южной границей является зона окисления пород. В структурном отношении он представляет собой восточное крыло синклинали структуры залежи. 1-й участок ограничен с востока Тарапаковским разломом, а западная его граница совпадает с границей месторождения.

Участок характеризуется выдержанным залеганием пород, слабым развитием складчатых нарушений. Породы падают в северо-северо-восточном направлении под углом 10-30°, т.е. согласно с общим погружением структуры месторождения.

В южной части участка, т.е. при переходе кварцитов четвертого железистого горизонта в сланцы четвертого сланцевого горизонта проявляется ряд открытых складок, размеры и положение кою отчетливо проявляется на карте месторождения чередующихся выходов сланцев (антиклинали) и кварцитов (синклинали).

Исходная геологическая информация была получена с погоризонтных планов горных работ масштаба 1:1000. Эксплуатационная разведка велась по опробованию взорванной массы. При этом использовались участки опробования неправильной формы и различных размеров. Размеры участков в поперечнике колебались от 20 до 50 метров. В качестве аргументов используемых для прогнозирования по методике многомерного эвристического алгоритма прогнозирования (МЭАП) [1] были взяты содержания железа общего и железа, связанного с магнетитом по скважинам детальной разведки, а также планово-высотные координаты центров участков опробования. Скважины детальной разведки также пробурены по нерегулярной сети опробования. Межскважинные расстояния составляют от 50 до 200 метров. С помощью крайгинга были построены изолинии содержаний $Fe_{общ}$ и Fe_{mt} в межскважинном пространстве. Методы крайгинга детально реализованы в электронном пакете SURFER. В данном случае использовался пакет SURFER 7.04. В этом же вычислительном пакете в центре каждого участка опробования по взорванной массе было определено значение $Fe_{общ}$ и Fe_{mt} , исходя из имеющейся электронной модели изолиний. Все полученные значения были сведены в электронные таблицы, что стало основой для построения прогнозной функции по методике МЭАП. При этом на каждом этапе построения прогнозной функции степень доверия вычисленным по ней результатам была пропорциональна обратному расстоянию от центра участка опробования по взорванной массе до ближайшей скважины детальной разведки, так как чем больше это расстояние, тем больше

ошибка интерполирования. Таким образом, результаты построения функции, имеющие большую точность, имели больший приоритет при оценивании качества построенной прогнозной функции.

На базовой совокупности исходных данных были определены зависимости содержания Fe_{mt} во взорванной массе от содержаний $Fe_{общ}$ и Fe_{mt} , определенных по скважинам детальной разведки, и от планово-высотных координат точек. Затем по методике МЭАП были получены уравнения прогнозных функций.

Как видно из найденных зависимостей, имеет место зависимость содержания железа, связанного с магнетитом во взорванной массе от содержания железа, связанного с магнетитом по данным опробования скважин детальной разведки, так как из всех аргументов, участвовавших в процедуре МЭАП, значимые числовые коэффициенты были определены только для этой величины. Наличие двух функциональных зависимостей говорит о том, что в процессе вычислений на рассмотренном участке были выделены два типа руд, имеющих различные свойства.

Нахождение и группировка участков, соответствующих по своим свойствам этим зависимостям на моделируемой совокупности данных были произведены по процедуре МЭАП. При этом данные содержаний по скважинам детальной разведки были проинтерполированы на узлы квадратной сетки 50×50 м. Интерполирование производилось в электронном пакете SURFER по процедуре крайгинга. По процедуре МЭАП в узлах квадратной сетки были найдены прогнозные значения содержаний железа, связанного с магнетитом во взорванной массе. В пакете SURFER по процедуре крайгинга эти значения были проинтерполированы, что явилось основой для перспективного планирования. На основе интерполирования были построены планы изолиний прогнозного содержания магнетитового железа в масштабе 1:2000. Высота сечения была принята исходя из масштаба плана, сложности гипсометрии, изменчивости показателя, требований технологии и составила 0,5% содержания. Получение прогнозных данных для текущего планирования производилось методом уточнения полученной электронной модели согласно данных эксплуатационной разведки в точках, пространственное положение которых определялось, исходя из производственных нужд, и имело нерегулярный характер.

Относительная погрешность прогноза значения содержаний железа, связанного с магнетитом во взорванной массе по разработанному способу для нужд перспективного планирования не превышает 6,8%.

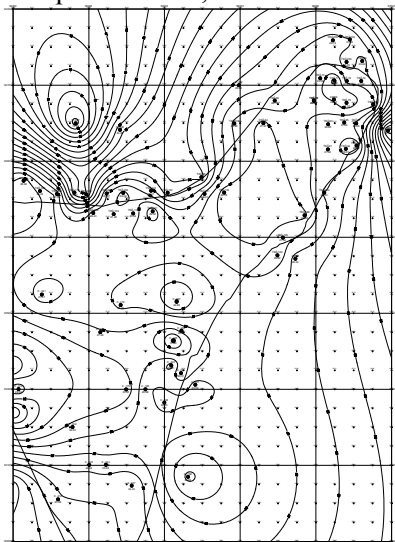


Рис. 1. План изолиний прогнозного содержания магнетитового железа гор. – 180 – 195 м карьера ЮГОКа

Положительные результаты прогноза на рассмотренном участке послужили основой для использования разработанных методов на других участках карьера ОАО «ЮГОК».

Технико-экономической оценкой установлено, что, в результате повышения точности прогнозов, необходимых для перспективного и текущего планирования, коэффициент потерь руды на рассматриваемых участках месторождения в среднем снизился на 0,03%. Также коэффициент засорения руды в среднем снизился на 0,03.

Выводы и направление дальнейших исследований. На основании разработанных теоретических принципов многомерной геометризаци доказана возможность улучшения эффективности прогнозирования качественных показателей железорудных месторождений, и рационализации их освоения.

Высокая эффективность прогнозирования может быть обеспечена использованием в качестве модели месторождения многомерного случайного геохимического поля, математически реализованной с помощью многомерного эвристического алгоритма прогнозирования.

Список литературы

1. **Переметчик А.В.** Разработка эвристического алгоритма прогнозирования геологических показателей месторождений полезных ископаемых // Разработка рудных месторождений: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Кривой Рог: КТУ. – 2004. – Вып. 85 – С. 194 – 200.
2. **Букринский В.А.** Геометрия недр: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985. Рукопись поступила в редакцию 14.03.14

Н. В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц., М. П. СЕРГЕЕВА, старший преподаватель
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Приводится эффективность внедрения и направления развития системы обработки автоматизированной маркшейдерско-геологической информации на различных горнодобывающих предприятиях на основе компьютерных технологий.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Построение рациональной структуры системы обработки маркшейдерско-геологических данных при управлении качеством полезного ископаемого с применением компьютерных технологий требует рассмотрения ряда аспектов проблемы. Решение функционального аспекта, что отражает взаимосвязь процессов управления по уровням производства, фазам и периодам управления определяет выбор состава комплексов функциональных задач. Информационный аспект предусматривает создание и актуализацию динамической системы накопления и движения первичных и производных данных. Организационно-технический аспект связан с обоснованием рационального уровня автоматизации обработки информации, выбору технических средств и вариантов их использования.

Сложность геолого-геоморфологических и горных условий разрабатываемого месторождения железистых кварцитов Кривбасса открытым, подземным или комбинированным способами - геологического строения и вещественного состава, организационно-технологической структуры разведки при добыче, процессов формирования рудопотоков и качества полезного ископаемого - определяет существенные различия в объеме и составе переработанной информации, методах и содержании решаемых задач на горнодобывающих предприятиях. Поэтому главным условием эффективного развития систем обработки маркшейдерско-геологических данных является обеспечение методической, функциональной и информационной совместимости задач различных уровней, фаз и периодов управления на основе единых принципов их организации для горнодобывающих предприятий Кривбасса.

Анализ исследований и публикаций. Детальный анализ работ по созданию автоматизированных систем обработки информации, управления технологическими процессами и производством показывает, что наиболее эффективные результаты можно достичь двумя путями: максимальной типизации общесистемных решений и созданием максимального количества стандартных алгоритмических модулей. Задача типизации и унификации заключается в определении структуры системы на основе анализа объекта управления, создании типовых проектов системы для горнодобывающих предприятий со стандартных агрегатов с практической настройкой функциональной части систем на базовых горнодобывающих предприятиях и с последующим тиражированием этих систем для однородных объектов. При этом создание типовых модулей позволяет в каждом конкретном случае формировать (генерировать) необходимую структуру системы в зависимости от специфики горнодобывающих предприятий.

Постановка задачи. В результате обследования и анализа действующей системы обработки маркшейдерско-геологических данных на горнодобывающих предприятиях по добыче полезного ископаемого открытым, подземным или комбинированным способами ее декомпозиции по функциональной, временной, производственно-технологической, ресурсной и других признаках определены единые принципы выделения различных элементов системы и формирование структуры автоматизированной обработки информации. Установлена также необходимость централизации решения маркшейдерско-геологических задач в рамках самостоятельной функциональной системы.

Изложение материала и результаты. Функционирование маркшейдерско-геологической системы управления качеством добываемого полезного ископаемого на единой математической, методической, информационной и технической основе обеспечивает возможность автоматизации обработки информации о качестве полезного ископаемого на всех уровнях управле-

ния и этапах формирования качества полезного ископаемого. Поэтому маркшейдерско-геологическое управление качеством полезного ископаемого можно рассматривать как процессы обработки соответствующей информации при принятии решений в контурах генерального, перспективного, текущего и оперативного управления. Тогда экономический эффект, создаваемый внедрением автоматизированной системы обработки маркшейдерско-геологической информации, будет представлять собой определенную часть общего эффекта АСУП и комплексной системы управления качеством полезного ископаемого на горнодобывающем предприятии [1,2].

Структура экономического эффекта от внедрения в производство автоматизированной системы обработки маркшейдерско-геологической информации предопределена составом решаемых задач и их спецификой. Состав показателей, характеризующих источники экономической эффективности, связан с приведением в действие различных резервов производства при внедрении маркшейдерско-геологических задач, которые образуют следующие обособленные группы по факторам повышения эффективности:

Задачи, обеспечивающие оптимизацию проектирования и планирования горных работ (геостатистическая оценка качества полезного ископаемого в недрах, автоматизированная геометризация, прогнозирование качества полезного ископаемого по направлениям развития горных работ и др.).

Задачи, связанные с повышением уровня и стабильности качества полезного ископаемого за счет совершенствования статистического контроля, анализа и регулирования (прогнозирование качества полезного ископаемого по уровням формирования, статистическое регулирование, расчета кондиций и стандартов на качество полезного ископаемого).

Задачи, обеспечивающие условную экономию затрат от снижения расходов по обслуживанию производства за счет сокращения объемов ручных камерально-вычислительных, горнографических и горно-маркшейдерских работ, ускорения процессов поиска, сортировки, представления данных на основе использования информационных моделей месторождения, рудного тела или его участка (планирование и учет изменения балансовых запасов полезного ископаемого, моделирование горно-геологических объектов).

Решение маркшейдерско-геологических задач направлено на информационное обеспечение процессов управления качеством полезного ископаемого. Поэтому совершенствование этого информационного обеспечения, достигаемое за счет автоматизации обработки данных, выражается в повышении ее ценности - полноты, точности, достоверности и оперативности [3].

Эффективность задач маркшейдерско-геологического обеспечения оптимального проектирования и планирования горных работ, совершенствования технологического контроля и регулирования качества полезного ископаемого может быть оценена точностью их решения, полнотой и достоверностью информации, т. е. показателями, повышающими надежность оценки объемно-качественных параметров балансовых запасов полезного ископаемого и соответственно надежность проектирования, планирования и регулирования добычных работ.

Повышение точности и оперативности получения маркшейдерско-геологической информации приводит к более эффективному решению основных задач горного производства по управлению качеством полезного ископаемого, обеспечению ритмичности выполнения плановых заданий, увеличению выпуска товарной рудной продукции и концентрата, улучшению их качества, а также к снижению себестоимости добычи и переработки полезного ископаемого.

Эффективность маркшейдерско-геологического управления качеством добываемого полезного ископаемого в значительной степени определяется тем, насколько уровень автоматизации решения задач и организационные формы использования вычислительной техники соответствуют размерам и структуре предприятия, его горно-геологическим особенностям, условиям формирования рудопотоков и качества полезного ископаемого, объемам перерабатываемой информации. Это обуславливает затраты на создание и внедрение системы, возможность получения в итоге определенного экономического эффекта на горнодобывающем предприятии. Комплексный показатель сложности маркшейдерско-геологического управления может служить основой для определения рациональных параметров автоматизированной системы обработки информации (рис. 1).



Рис.1. Направление развития автоматизированной обработки маркшейдерско-геологической информации на различных горнодобывающих предприятиях

По структуре система обработки информации может быть одно-, двух- или трехстадийной в зависимости от того, обеспечивает она только стадию эксплуатации либо охватывает также проектирование и предпроектную стадию. Одностадийные системы целесообразно создавать на действующих горнодобывающих предприятиях. Они предназначены для обработки маркшейдерско-геологической информации, получаемой при эксплуатационной разведке месторождения, рудного тела или его участка в результате эксплуатационного опробования и документации. Двухстадийные системы предусматривают обработку информации, используемой при проектировании и эксплуатации горнодобывающих предприятий. Наиболее сложные - трехстадийные системы позволяют организовать обработку всей геологоразведочной и горной графической маркшейдерской информации, получаемой на горнодобывающих предприятиях, начиная со стадии детальной разведки.

По уровню функционального развития системы могут быть локальные, комбинированные и комплексные. Первые включают задачи только какого-либо одного из функциональных комплексов. В первую очередь целесообразно создавать их для обеспечения функции учета состояния и движения балансовых запасов и качества полезного ископаемого, требующей переработки большого объема первичной информации.

Комбинированные системы, являясь переходными от локальных до комплексных по степени функционального развития, включают задачи двух-трех комплексов, решаемые на единой информационной базе.

В комбинированных системах комплексы представлены частично только первоочередными задачами, эффективно реализуемыми на компьютерных технологиях. Наиболее развитые комплексные системы содержат задачи, реализующие все функции маркшейдерско-геологического обеспечения горных работ горнодобывающего предприятия. Локальные системы всегда являются одностадийными, комбинированные и комплексные системы могут быть двух- и трехстадийными.

Системы существенно отличаются составом решаемых задач. В наиболее простых системах задачи моделирования горно-геологических объектов, планирования и учета изменения балансовых запасов полезного ископаемого решаются традиционными методами.

Применение компьютерных технологий способствует сокращению объема ручных камерально-вычислительных и маркшейдерских горно-графических работ, повышению оперативности получения данных. Более сложные системы включают задачи, решаемые на основе модифицированных математических методов (автоматизированная геометризация, геостатистическая оценка качества полезного ископаемого балансовых запасов в недрах) и позволяющие повысить как оперативность, так и точность итоговой информации. Наиболее развитые и эффективные системы включают принципиально новые задачи прогнозирования качества полезного ископаемого по уровням формирования рудопотоков, статистического анализа, контроля и регулирования качества полезного ископаемого в балансовых запасах.

Включение их в состав системы повышает точность информации, обеспечивает ее полноту, создает реальную основу для оптимизации проектных и плановых технологических решений. Системы, состоящие из задач, которые решаются традиционными методами, могут быть только локальными. Системы с принципиально новыми задачами и задачами, решаемыми модифицированными методами, могут быть как локальными, так комбинированными и комплексными.

Степень полноты системы по составу задач, применяемые методы их решения определяют уровень информационного развития системы. В этом отношении системы задач, реализующих традиционные и модифицированные методы, могут быть созданы на основе простых моделей. Системы с принципиально новыми задачами должны строиться на основе иерархических моделей. Это определяет общий уровень автоматизации обработки данных. Построение систем на основе простых моделей не требует интеграции обработки данных. Системы, использующие, иерархические модели, должны быть построены на основе банка данных.

Анализ направлений развития автоматизированной системы обработки горной графической маркшейдерско-геологической информации позволяет для горнодобывающих предприятий различных групп сложности уже при проектировании обосновать структуру системы (рис. 1).

Для горнодобывающих предприятий, относящихся к группам простых и средней сложности, рекомендуется создавать одностадийные системы локального функционального назначения, предусматривающие использование модифицированных и традиционных методов решения задач на основе первичных моделей.

Такие частично автоматизированные системы с разовым вводом и использованием информации можно реализовать с использованием компьютерных технологий. Для предприятий сложных и очень сложных целесообразно создание завершенных по стадиям формирования качества (двух- и трехстадийных) систем, комплексных и комбинированных по степени функционального развития, включающих принципиально новые задачи, с решением их на базе иерархических информационных моделей. Такие системы должны быть построены на основе банков данных с централизованным использованием компьютерных технологий.

Выводы и направление дальнейших исследований. Развитие работ по созданию автоматизированной системы обработки информации при маркшейдерско-геологическом управлении качеством добываемого полезного ископаемого на основе типовых проектных решений должно проводиться по следующим этапам:

разработка банка данных;

создание пакетов прикладных программ функциональных комплексов задач;

разработка способов генерации типовых модулей применительно к различным условиям горнодобывающих предприятий.

Список литературы

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ / Министерство угольной промышленности СССР, Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела. - М.: Недра, 1987. 240 с.
2. Методика определения экономической эффективности автоматизированных систем управления предприятиями и производственными объединениями / ГКНТ СМ СССР, Госплан СССР, АН СССР. М., Статистика, 1976.
3. Ясин Е. Г. Теоретические проблемы развития информационных систем. - В кн.: Модели данных и системы баз данных. М., Наука, 1979, с. 5-30.

Рукопись поступила в редакцию 17.02.14

УДК 528.482.4

О.Є. КУЛІКОВСЬКА, д-р техн. наук, доц., В.В. СТЕЦЕНКО, канд. геол.-мінер. наук, доц.,
Криворізький національний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗВИТКУ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНОГО ПУНКТУ №1 ДП «КРИВОРІЗЬКА ТЕПЛОЦЕНТРАЛЬ»

Розглянуто особливості розвитку деформаційних процесів газорозподільного пункту №1, однієї із споруд технологічного комплексу ДП «Криворізька теплоцентраль», та обґрунтовано необхідність проведення систематичного геодезичного моніторингу. Отримані дані рекомендується використовувати при складанні графіків планово-попереджувальних ремонтів досліджуваної споруди.

Постановка проблеми. Нормальна, безаварійна робота технологічного комплексу ДП «Криворізька теплоцентраль» залежить від стійкості основних будівель і споруд цього комплексу. Однак, унаслідок конструктивних особливостей, природних умов і діяльності людини інженерні споруди ДП «Криворізька теплоцентраль» в цілому та їх окремі елементи, зазнають

різного виду деформації. Під постійним тиском від маси споруд ґрунти в основі їх фундаменту поступово ущільнюються (стискаються) і відбувається зміщення у вертикальній площині або осідання споруди. Крім тиску від власної маси, осідання споруд викликане й іншими причинами: карстовими і зсувними явищами, зміною рівня ґрунтових вод, роботою важких механізмів, рухом транспорту, сейсмічними явищами і т.ін. Особливої уваги заслуговує та обставина, що споруди розташовані в безпосередній близькості від кар'єрів №1 і № 2 ПАТ «ЦГЗК», шахти ім. Фрунзе, інших об'єктів, на яких проводиться видобуток рудної маси з використанням масових вибухів.

Тому відповідно до вимог методичних вказівок [1], на підставі договору між адміністрацією ДП «Криворізька теплоцентраль» та ДВНЗ «Криворізький національний університет» навесні 2013р. розпочато проведення високоточних геодезичних спостережень осідання фундаментів будівель котлотурбінного цеху (КТЦ), районної котельні (РК) № 5 та газорозподільного пункту № 1 (ГРП-1) районної котельні № 2.

Для досягнення поставленої мети щодо встановлення ділянок, на яких може виникнути перерозподіл навантажень, що призведе до критичних деформацій, які вплинуть на безпечну роботу підприємства, визначені наступні задачі: відновити стаціонарні геодезичні полігони для продовження проведення систематичних геодезичних вимірювань; розробити методику визначення швидкостей осідань фундаментів інженерних споруд; підготувати моделі їх переміщення; розробити рекомендації щодо попередження виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах спостереження.

Аналіз останніх досліджень. Починаючи з 1986 року фахівцями Криворізького гірничорудного інституту були розпочаті роботи щодо дослідження стійкості основних інженерних споруд Криворізької ТЕЦ [2-5], стали застосовуватися високоточні прилади, виконано серію спостережень з визначення відміток осадкових марок і глибинних реперів. Протягом 1986-1990 рр. на РК № 1 і 1992-1994 рр. на РК №5 виконано інструментальні спостереження за деформаціями фундаментів цих об'єктів, які стали складовою частиною планово-попереджувальних ремонтів. Згодом, у зв'язку з фінансовими труднощами підприємства, геодезичні спостереження було призупинено до теперішнього року.

Викладення основного матеріалу. Існуючу систему осадкових марок і реперів на території інженерних споруд ДП «Криворізька теплоцентраль» було закладено у період післявоєнної відбудови [3]. При цьому застосовувалася система висот, основою якої була будівельна сітка. Пізніше відмітки реперів і марок було скоординовано з державною системою координат, у результаті чого їх позначки стали обчислюватися у Балтійській системі висот. Розгляд раніше виконаних фахівцями виробничо-технічного відділу робіт показав, що всі вимірювання проводилися нівелірами технічної точності [5]. У зв'язку з цим, середня квадратична похибка визначення висотного положення осадкових марок в окремих випадках могли значно перевищувати величини осідань фундаментів будівель і споруд. Отже, результати спостережень були недостатньо достовірні, а самі вимірювання не дозволяли забезпечити точність, пропонувану до них відповідними інструкціями та рекомендаціями [3].

У відповідності до вимог [1] допустима похибка визначення вертикальних деформацій основ фундаментів інженерних споруд теплоцентралі (ТЦ) дорівнює ± 1 мм. Тоді величина граничної похибки визначення абсолютної відмітки m_H може бути знайдена з виразу

$$m_H \leq \frac{m_{H_{доп}}}{\sqrt{n}},$$

де $m_{H_{доп}}$ - допустима похибка визначення вертикальних деформацій основ фундаментів, мм; n - кількість визначень. Підставивши у вищезазначену формулу значення $m_{H_{доп}} = \pm 1$ мм і $n=2$, отримаємо величину граничної похибки нівелювання точки, яка буде дорівнювати $\pm 0,7$ мм.

Попередні розрахунки обґрунтування точності спостережень із застосуванням рекомендацій [7-10] дозволили визначитися із їх методикою та обрати відповідні інструменти: а саме, застосовувався метод геометричного нівелювання короткими візирними променями із використанням високоточного оптичного нівеліра АТ-Г2 [11].

Оптичний нівелір Торсон АТ-Г2 оснащений компенсатором, гарантує стабільність і точність у будь-яких умовах роботи, високу ступінь захисту від проникнення вологи IPX7, компенсатор оснащений магнітним демпфером, для точного наведення на рейку використовується гвинт нескінченної наводки. З метою підвищення точності одержуваних результатів використовувалася мікрометренна насадка. Отримана гранична похибка визначення відмітки осадкової

марки нівеліром АТ-G2 не перевищує граничних похибок вимог, що пред'являються до точності визначення вертикальних деформацій основ і фундаментів (± 1 мм) досліджуваних інженерних споруд.

Як показали дослідження 2013 р. на території КТЦ-1 збереглися тільки два куща реперів висотної основи, на ділянках РК №2 і РК №5 - взагалі втрачені, що викликало необхідність закладки додаткових кущів реперів.

Газорозподільний пункт № 1 (ГРП-1) районної котельні № 2 ДП «Криворізька теплоцентраль» розташований на території Саксаганського району міста Кривий Ріг. Ділянка знаходиться в межах гірничого відводу шахти ім. «Артема». Площа будівлі складає 123,48 м². Рельєф поверхні ділянки має рівнинний характер із загальним уклоном на південь, закінчуючись крутим берегом притоку річки Саксагань, який на поточній час являє собою шламосховище. Ділянка пересічена в широтному напрямку яром (рис. 1).

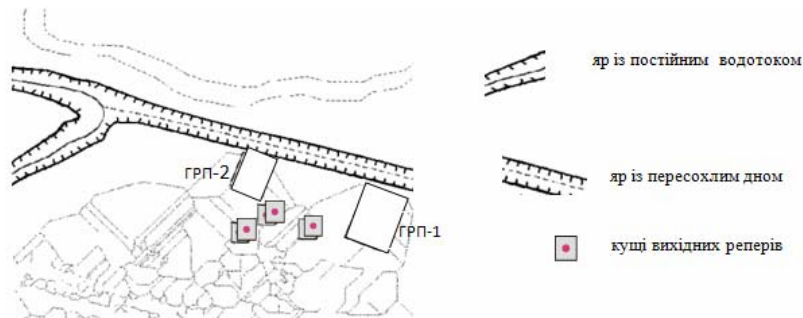


Рис. 1. Геоморфологічні умови території ГРП-1

У верхній і середній частині яру в багатьох місцях слабо врізане дно, на значній довжині воно пересохле. У нижній частині відбувається об'єднання яру з постійним потоком води техногенного походження. Майже по всій

довжині яру сильно заростає водяною рослинністю, яка особливо розвивається на пересохлих ділянках. Складені береги є насипними ґрунтами, у багатьох місцях, особливо у місці об'єднання яру з постійним потоком води техногенного походження, здебільшого задерновані, місцями заросли окремими деревами і чагарником.

Неогенові і палеогенові відкладення поширені не повсюдно, вони, зазвичай, приурочені до понижень рельєфу кристалічних порід у межах залягання кристалічних порід Гданцівської і Глеюватської свит (західна частина ділянки). Як вказувалось вище, на осадових породах кайнозою залягають насипні ґрунти, що представлені суглинками, камінням різного гранулометричного складу та різноманітним будівельним матеріалом. Потужність цього пласта за проведеннями геологічними спостереженнями складає більш ніж 10 м.

У гідрогеологічному відношенні ділянка представлена одним водоносним комплексом порід. У цілому водоносний комплекс неоген-палеогенових відкладів безнапірний. Наявність лінз слабопроникних глин та алевритів створює місцевий напір підземних вод, який може досягати 10 м і більше. Загальна потужність водовмісних порід коливається від 2,5 до 30 м. Глибина залягання рівня підземних вод змінюється в межах від 1-5 м (у долинах річок) до 20-40 м (на вододільному плато). Відклади осадового чохла переважно дренавні. Тут відбувається поглинення поверхневого стоку, а по контуру - ще й розвантаження підземних вод у кристалічні породи. Живлення водоносного комплексу осадових порід здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, техногенних витоків, а також за рахунок перетоку з водоносного комплексу кристалічних порід, що залягає нижче. Потік підземних вод спрямований із півночі на південь і розвантаження відбувається у балку, зони зсування та обвалювання порід, а на вододілах - у водоносний комплекс, що залягає нижче.

Слабопроникні відклади кори вивітрювання кристалічних порід докембрію представлені каолінами та дресвяно-глинистими породами. Середня потужність становить 15-20 м. На найбільш підвищених ділянках кристалічних порід й у долинах рік слабопроникні відкладення відсутні.

На основі детальної геолого-гідрогеологічної вивченості ділянок закладено нові пункти геодезичної основи. Після оновлення геодезична вихідна мережа представляє собою мережу із трьох кущів ґрунтових реперів, закладених у, фактично, не стискуваних ґрунтах нижче глибини промерзання ґрунтів на 0,7-1,0 м. При цьому репери закладалися поза зоною розповсюдження напруг у ґрунтах, що створюються вагою близьких споруд, тобто на відстані що дорівнює не

менше половини глибини закладення його котловану. При нівелюванні короткими візирними променями відстань від інструмента до рейки, як правило, не перевищувала 25 м [13].

Схеми розміщення реперів вихідної основи та осадових марок на території ГРП-1 котельні № 2 відображено на рис. 2. Осадкові марки представляють собою металеві штирі, які виготовлені з бурової сталі завдовжки 150-200 мм, що забетоновані у несучих конструкціях споруди на висоті 0,3-1,0 м від поверхні землі. Місця їх закладки вибиралися таким чином, щоб організувати можливість вільного підходу до марок.

Для забезпечення необхідної точності спостережень за вертикальними деформаціями досліджуваних споруд контролювалася стійкість висотної геодезичної основи [14-17].

Існуючі методи аналізу стійкості реперів можна розділити на дві групи [18, 19]. До першої з них відносяться методи, в основі яких лежить принцип незмінної відмітки одного з найбільш стійких реперів мережі. В основу другої групи покладено принцип незмінної середньої відмітки всіх реперів мереж або групи найбільш стійких реперів. У зв'язку з тим, що у деяких випадках потрібно оперативно визначати відмітки осадових марок щодо одного з вихідних реперів, то необхідно з достатньою точністю знати позначку кожного з вихідних пунктів, а це можливо тільки при аналізі стійкості висотної основи одним із способів другої групи.

Ділянка у геолого-структурному відношенні має досить рухому структуру. У геологічній будові ділянки беруть участь кристалічні породи, осадкові породи кайнозою та насипні ґрунти [12]. На розмитій поверхні докембрійських кристалічних порід горизонтально залягають пухкі кайнозойські відкладення (знизу вгору): сірувато-зелені в'язкі глини з лінзами охристої глини та щебенем кристалічних порід, потужність від 1,5 до 10,9 м (сармат); пісок дрібнозернистий кварцовий, місцями глинистий, сірувато-жовтого і жовтувато-бурого кольору, потужність від 1 до 26 м (сармат); вапняк ноздреватий жовтого кольору, потужність до 5 м (понт); червоно-бурі глини піскуваті, місцями в'язкі, містять кристали гіпсу і вапняні конкреції, потужність від 2 до 28 м (пліоцен); жовті та бурі глини з дендритами марганцю, потужність від 1-3 до 23 м; світло-жовті лесовидні суглинки з включенням вапняних конкрецій і кристалів гіпсу, потужність від 1-3 до 15 м; ґрунтовий чорнозем потужністю від 0,5 до 2 м.

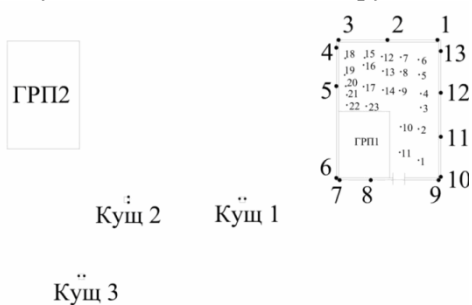


Рис. 2. Схеми розміщення реперів вихідної основи та осадових марок на території ГРП-1 РК № 2

У 2013 р. виконано 3 цикли геометричного нівелювання по програмі I класу між реперами висотного обґрунтування. Обчислення зрівняних відміток вихідних реперів реалізовано у програмному комплексі Digitals [20]. Результати наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Висотні відмітки вихідних реперів на промисловому майданчику ГРП-1

Назва репера	Відмітки реперів по циклам, м		
	Цикл 1	Цикл 2	Цикл 3
	26.04.13 р.	16.05.13 р.	25.06.13 р.
Гр1	100,2961	100,2955	100,2972
Гр2	100,2744	100,2755	100,2764
Гр3	99,9910	99,9978	99,9971
Гр4	99,9736	99,9724	99,9711
Гр5	100,0000	100,0000	100,0000
Гр6	99,9743	99,9752	99,9743

Визначення найбільш стійкого репера здійснено методом Костехеля [18]. Результати обчислення приведено у табл. 2.

Найбільш стійким є репер Гр5, так як він має найменше значення суми квадратів обчислених поправок. Вибір Гр5 в якості вихідного для обчислення відміток інших точок спостереження можна пояснити і його найбільшою віддаленістю від будівлі ГРП-1.

Тому, в розрахунках за початковий прийнято репер Гр5, умовна відмітка якого складає 100,0000 м.

Розрахунок стійкості реперів висотної основи

Назва репера	Поправки v , мм						[v]
	Гр1	Гр2	Гр3	Гр4	Гр5	Гр6	
Гр1	0,13	0,13	0,00	0,00	-0,20	-0,40	0,23
Гр2	-0,20	0,30	-0,10	0,20	0,00	-0,20	0,22
Гр3	0,13	-0,20	0,00	0,40	0,20	0,00	0,26
Гр4	0,10	0,30	0,00	0,00	-0,20	-0,40	0,30
Гр5	0,13	0,13	0,00	-0,20	0,30	0,10	0,17
Гр6	0,10	0,30	0,00	0,00	0,30	0,20	0,23

Оскільки зміна висот реперів між поточним і початковим спостереженнями не перевищує подвійної середньої квадратичної похибки визначення різниці висот, то це свідчить про відносну стабільність реперів висотної основи, так як два місяці тому ці реperi були закладені.

З метою подальших досліджень рекомендується продовжити роботи щодо визначення стабільності реперів висотної основи, так як період між моментом закладання їх та початком виконання циклів спостережень складає менше трьох місяців, як того вимагає Інструкція [8].

Отже, можна зробити попередній висновок про те, всі реperi, які закладені у поточному році практично стабільні (стійкі) і тому можуть слугувати вихідною висотною основою при визначенні вертикальних деформацій марок.

У квітні-червні 2013 р. на території ГРП-1 було проведено три цикли спостережень.

У результаті виконаних спостережень встановлено, що зміщення осадкових марок за досліджуваний період знаходилися у межах від $-5,1$ до $+0,5$ мм, а обчислені швидкості осідання марок знаходяться в межах від $-27,0$ до $+6,2$ мм/міс.

При цьому максимальні швидкості вертикальних деформацій, що перевищують граничні, мали місце у районі марок 8,9,10 (рис. 3).

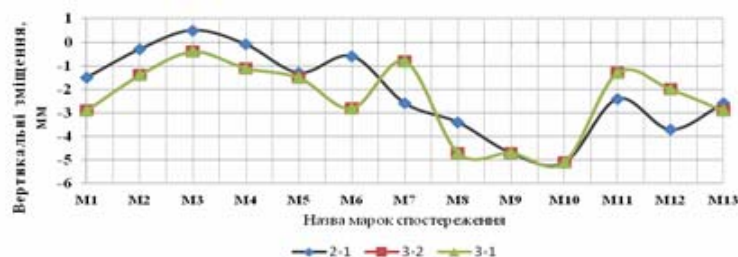


Рис. 3. Вертикальні деформації осадкових марок у фундаменті ГРП-1

Особливе занепокоєння викликають вертикальні деформації марок, що знаходяться всередині будови ГРП-1 (рис. 4). Нижче наводяться графіки (див. рис. 3) осідання марок, закладених у фундаменті споруди за період з 26.04.13 р. до 25.06.13 р.



Рис. 4. Фото окремих тріщин та деформованих ділянок підлоги на об'єкті ГРП-1 (ділянки марок в23, в22)

Використання програмного комплексу SURFER дозволило представити одержані результати спостереження марок M1-M13 та в1-в23, які закріплені всередині самої споруди ГРП-1, у вигляді контурних карт по циклах спостережень, які представлено відповідно на рис. 5-7.

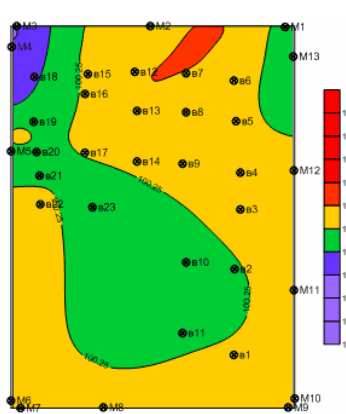


Рис. 5. Контурна карта висотного положення осадових марок ГРП-1 (цикл 1, 26.04.2013 р.)

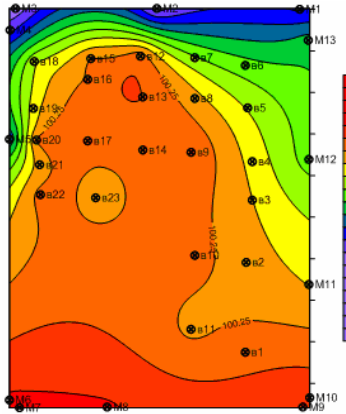


Рис. 6. Контурна карта висотного положення осадових марок ГРП-1 (цикл 2, 17.05.2013 р.)

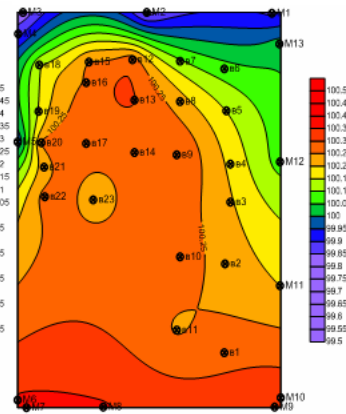


Рис. 7. Контурна карта висотного положення осадових марок ГРП-1 (цикл 3, 17.05.2013 р.)

Застосування модуля 3-D Wireframe надало можливість створити тривимірні моделі вертикальних деформацій, які більш наочно показують деформаційні процеси на ділянці розташування об'єкту ГРП-1 (рис. 8,9).

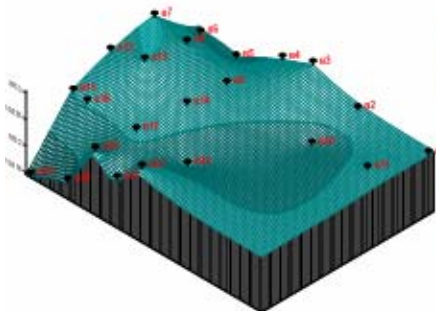


Рис. 8. 3-D Wireframe модель висотного положення осадових марок v1-v23 ГРП-1 (цикл 1, 26.04.2013 р.)

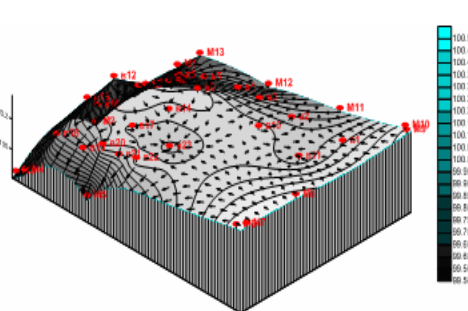


Рис. 9. 3-D Wireframe модель висотного положення осадових марок v1-v23 ГРП-1 (цикл 3, 25.06.2013 р.)

За обчисленими значеннями вертикальних зміщень створено моделі розвитку вертикальних деформаційних процесів із часом (рис. 10,11).

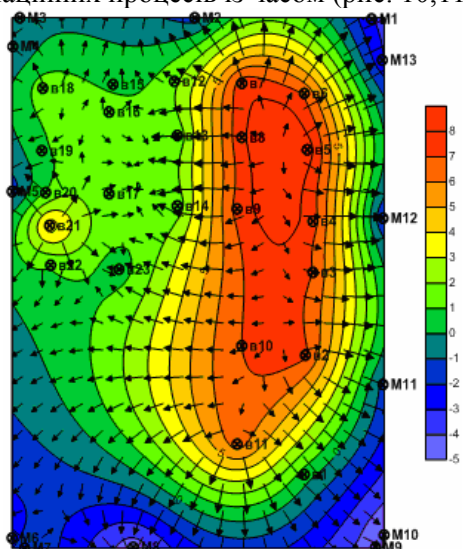


Рис. 10. Контурна карта розвитку вертикальних деформаційних процесів осадових марок ГРП-1 (цикли 2-1)

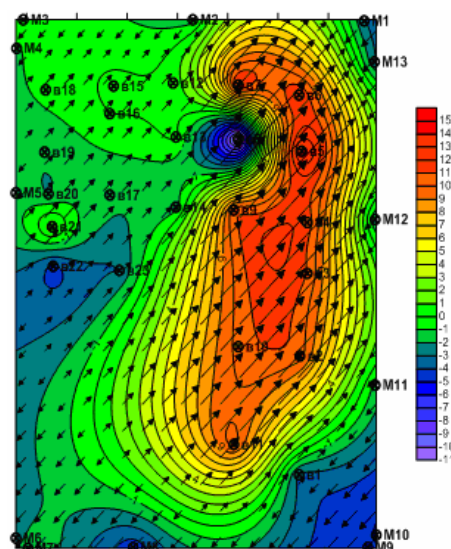


Рис. 11. Контурна карта розвитку вертикальних деформаційних процесів осадових марок ГРП-1 із нанесенням векторів зміщень (цикли 3-1)

Висновки. Аналіз моделей (див. рис. 10,11) свідчить про активізацію деформаційних процесів із часом. Вертикальні зміщення мають як додатній знак, так і від'ємний. Підняття ха-

рактерне ділянкам, на яких розміщено марки в7, в8, в6, в5, в4, в3, в11, в10, в9, значне опускання випробували марки М8, М9, М10.

Детальний дослідження контурних карт розвитку зміщень осадових марок із нанесенням векторів деформацій дозволяє чітко пояснити наявність тріщин як у стінах будови ГРП-1, так і на підлозі, всередині споруди. На даній ділянці, при проведенні спостережень за геоморфологічними елементами місцевості, було виявлено утворення і розвиток яру. При вивченні розрізів інженерно-геологічних комплексів порід, було встановлено, що процеси яроутворення виникли за рахунок збільшення зволоження насипних ґрунтів. Підвищення зволоження ґрунту відбулося за рахунок атмосферних опадів і техногенних вод. При цьому слід зауважити, що вертикальні зміщення за період із 1988 р. до теперішнього часу також є значними.

Одержані значення вертикальних деформацій дозволили встановити, що деформаційні процеси на промисловому майданчику ГРП-1 протікають інтенсивно, у зв'язку з чим рекомендується здійснювати моніторингові спостереження 1 раз у квартал. Отже, представлена система організації моніторингу за стійкістю даного інженерного об'єкту надасть право своєчасно, під час його експлуатації, розробляти заходи щодо попередження та усунення неприпустимих для конструкції споруди деформацій, здійснювати планово-попереджувальні ремонти.

Список літератури

1. Методические указания по наблюдениям за осадками фундаментов, деформациями конструкций зданий и сооружений и режимом грунтовых вод на тепловых и атомных электростанциях. - М.: Союзэнерго, 1985. - 72 с.
2. Исследование устойчивости инженерных сооружений Криворожской ТЭЦ им. Ильича (промежуточный): отчет НИР // № 7-54-86. - № ГР 01860077781. - Кривой Рог, 1988. - 52 с.
3. Исследование устойчивости инженерных сооружений Криворожской ТЭЦ им. Ильича (промежуточный): отчет НИР // № 7-54-86. - № ГР 01860077781. - Кривой Рог, 1987. - 71 с.
4. Исследование устойчивости инженерных сооружений Криворожской ТЭЦ им. Ильича (промежуточный): отчет НИР // № 7-54-86. - № ГР 01860077781. - Кривой Рог, 1988. - 71 с.
5. Исследование устойчивости инженерных сооружений Криворожской ТЭЦ им. Ильича (промежуточный): отчет НИР // № 7-54-86. - № ГР 01860077781. - Кривой Рог, 1989. - 75 с.
6. **Клюшин Е.Б.** Практикум по прикладной геодезии: геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации инженерных сооружений // **Е.Б. Клюшин, Д.Ш. Михелев, Д.П. Барков** и др. - М.: Недра, 1993. - 275 с.
7. **Уставич Г.А.** Геодезические работы при строительстве и эксплуатации крупных энергетических объектов // **Г.А. Уставич, Г.Д. Костина.** - М.: Недра, 1983. - 132 с.
8. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам / под редакцией Большакова В.Ф., Левчука Г.П. - М.: Недра, 1980. - 781 с.
9. **Жуков Б.Н.** Геодезический контроль сооружений и оборудования промышленных предприятий: Монография. - Новосибирск: СГГА, 2003. - 356 с.
10. **Михелев Д. Ш.** Геодезические измерения при изучении деформаций крупных инженерных сооружений / **Д. Ш. Михелев, И. В. Рунов, А. И. Голубцов.** - М.: Недра, 1977. - 152 с.
11. <http://www.topcon.ua>.
12. Исследование деформаций инженерных сооружений ПУБКХ г. Кривого Рога: заключительный отчет // № 36-478-82. - № ГР 01823027643. - Кривой Рог, 1988. - 98 с.
13. **Перепечкин А.А.** Об оптимальной длине визирного луча при измерении осадок сооружений / Геодезия и картография. - 1976. - № 2. - С. 27-31.
14. **Черников В.Ф.** Создание высотной опорной сети для наблюдения за осадками промышленных сооружений // В.Ф. Черников / Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1963. - № 3. - С. 37-42.
15. Нивелирование I и II классов. - М.: Недра, 1982. - 264 с.
16. **Зайцев А.К.** Геодезические методы исследования деформаций сооружений / **А.К. Зайцев, П.В. Марфенко, Д.Ш. Михелев** и др. - М. Недра, 1991. - 272 с.
17. **Луссио М.** The concrete and the clay: monitoring large structure deformation // GPS World, Vol. 13, No. 8. - 2002. - P. 16.
18. Измерение осадок и деформаций геодезическими методами. - М.: Геодезиздат, 1959. - 286 с.
19. **Костецька Я.** Дослідження методів визначення нестабільності висот реперів у нівелірних мережах / **Я. Костецька, Р. Озімбловський, Н. Турчин** // Сучасні досягнення геодезичної науки і техніки. - Львів, 2011. - №1(121). - С. 121-125.
20. <http://www.geosystema.net/digitals>.

Рукопис подано до редакції 05.03.14

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф., М.О. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, доц.,
О.Ю. ЄРЬОМЕНКО, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

НОВЕ ОБЛАДНАННЯ І ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ, ТРАНСПОРТУВАННЯ І ПОДАЧІ БЕТОНУ

Ключові слова: виробництво, транспортування, подача, бетонна суміш, обладнання.

Проблема та її зв'язок з науковим і практичним завданням. За останній час в Україні збільшуються обсяги будівництва, у результаті чого зростає попит на якісні будівельні матеріали, у тому числі й на товарний бетон.

Сьогодні головна проблема в питаннях обладнання для виробництва, транспортування й подання товарного бетону - наявність великої кількості морально й фізично застарілої бетонної техніки, на якій неможливо стабільно випускати необхідні марки бетону, через пріоритет людського фактора в технологічних процесах.

А це означає, що й попит на якісне обладнання для виробництва, транспортування та подання товарного бетону збільшується.

Більшість фахівців, погоджуючись із цим твердженням, відзначають, що проблемою є недостатнє фінансування. Відомо, що багато виробників виготовляють бетон на застарілому обладнанні, і не кожен власник підприємства має фінансові ресурси для придбання імпортного чи вітчизняного заводу. Подібна ситуація характерна й у сегменті засобів доставки і подання товарного бетону.

Ще однією проблемою є відставання регіонів в оснащенні сучасним обладнанням: чим далі від столиці, тим менше пропозицій щодо сучасної будівельної техніки, відповідно, і попит не неї великий. Це, у свою чергу, впливає на своєчасне забезпечення будівельного об'єкта всіма необхідними видами бетонної суміші.

Постановка завдання. На сьогодні, завдяки технології монолітного будівництва, товарний бетон стає основою для реалізації нових архітектурних концепцій. Цей будівельний матеріал активно використовується при зведенні промислових і житлових будівель, інженерних споруд та об'єктів соціально-культурного призначення.

Потрібно відзначити, що виготовити якісний бетон можна лише на сучасному обладнанні. Однак виготовити якісний бетон - це півсправи, важливо своєчасно доставити й укласти його в конструкцію.

У зв'язку з цим, важливо правильно вибрати нове обладнання й технології для виготовлення, транспортування й подання бетону.

Викладення матеріалу й результати. В Україні на сьогодні, за різними оцінками, вітчизняні виробники виготовляють близько 14 млн м³ товарної бетонної суміші.

За словами фахівців, сьогодні в Україні товарний бетон виробляють:

на будівельному майданчику: виготовляють у малих кількостях за допомогою найпростіших бетономішалок (у цьому випадку якість товарного бетону не гарантовано) ;

на заводах ЗБВ і ЗБК: виготовляють у невеликих обсягах на пристосованих для цього бетонозмішувальних установках (стабільність якості товарного бетону не постійна через застаріле обладнання);

на спеціальних бетонних заводах, побудованих тільки для випуску готових будівельних сумішей у промислових обсягах (стабільна якість товарного бетону завдяки сучасній техніці й технології).

Застосування технології монолітного будівництва залежить від наявності підприємств, що виготовляють товарний бетон саме в промислових обсягах. Для цього вводяться в експлуатацію стаціонарні та пересувні бетонні заводи як вітчизняні, так і закордонні.

Провідним українським виробником бетонозмішувального обладнання фахівці називають ЗАТ «Бетонмаш» (Слов'янськ, Донецька обл.). У даний час це підприємство виготовляє різні типи бетонозмішувальних установок продуктивністю від 15 до 135 м³ / год (з можливістю оснащення комп'ютерною системою керування).

Житомирське АТЗТ «Будмаш» спеціалізується на випуску Бетонорастворосмесітелі і ліній з виробництва бетону продуктивністю від 15 до 40 м³ / год. Також на ринку з'явився новий виробник - ЗАТ «Станкінпром» (Харків).

Активно ведеться виготовлення будівельних матеріалів закордонними виробниками.

Слід зазначити, що закордонні виробники устаткування приділяють особливу увагу різноманітним конструктивним особливостям. Завдяки такому підходу сьогодні замовник може вибрати бетонний завод, не тільки виходячи з його вартості та якості виконання основних вузлів, але й залежно від передбачуваних умов роботи та особливостей наявного майданчика. Для цього існують різні моделі, у тому числі й бетонозмішувальні установки на автомобільному шасі. Поряд з цим інженерні рішення, закладені в устаткування закордонних виробників, дозволяють підібрати замовникові індивідуальний і оптимальний проект заводу для виготовлення товарного бетону.

Значну частину в будівельній індустрії з виготовлення бетону займає устаткування німецьких виробників - компанії «ТЕКА ГмбХ». Устаткування цього виробника встановлено в Києві, Донецьку, Харкові, Львові. Характерна особливість компанії - її унікальні інженерні рішення для кожного конкретного заводу, що включають можливість модернізації та вдосконалення діючого виробництва.

Сьогодні ця компанія пропонує установки TRANSMIX і MIXOMAT з радіальним або рядовим способом завантаження інертних матеріалів, скіповим або транспортним поданням, продуктивністю від 20 до 120 м³ / год.

При цьому модельний ряд представлений трьома типами змішувачів: тарілчастий змішувач застосовується для виготовлення товарного бетону; двовальний змішувач використовують, коли необхідні великі масиви твердого бетону при будівництві аеродромів, мостів та інших споруд; планетарний змішувач застосовується при виготовленні дрібноштучних бетонних виробів (плитка, стінові блоки, бордюрні камені).

Вітчизняні будівельники знають і обладнання компанії ELBA - WERK Maschinen - Gesellschaft mbH (Німеччина), яка виготовляє й реалізує широкий модельний ряд обладнання для виробництва товарного бетону.

Сьогодні цей виробник виготовляє компактні міксцентри (EMC / ELMC), супермобільні установки (ESM), стаціонарні бетонні заводи модульного (EBC, EMA) і баштового типів (EMT).

Крім бетонних заводів, фірма ELBA виробляє модулі бетонозмішувальних установок, які дозволяють здійснити реконструкцію й модернізацію вже наявних застарілих бетонних заводів різних виробників. Установлення нових модулів не вимагає таких капіталовкладень, як покупка нового бетонного заводу, підвищує продуктивність та оптимізує виробництво. При цьому проектування й комплектація кожного модуля проводиться після аналізу діючого виробництва замовника.

Виробнича програма компанії Schwing Stetter (Німеччина) включає компактні, горизонтальні, вертикальні й мобільні бетонозмішувальні установки. Горизонтальні заводи з виходом суміші від 55 до 125 м³/год поставляються зі зрікоподібними, рядними складами або вертикальними бункерами, тарілчастими або двовальними змішувачами. Найбільше поширення отримав завод продуктивністю 56 м³/год, а з нового покоління цієї серії - завод з двовальним змішувачем місткістю 2250 л фірми BHS.

Представлена в будівельній індустрії і продукція компанії CIFA. Цей виробник пропонує кілька технічних рішень, пов'язаних з питаннями виготовлення бетонної суміші та виробництва бетону з великою фракцією заповнювача. Ця фірма має багаторічний досвід виробництва та спеціалізується на виробництві приоб'єктних бетонозмішувальних установок (5-20 м³/год), стаціонарних і мобільних бетонорастворосмесительних заводів (20 до 300 м³/год).

Якість бетону в спорудах залежить не тільки від якості обладнання, яке використовується для виробництва цього будівельного матеріалу. На всіх етапах виробництва бетонних робіт є безліч факторів, які можуть впливати на якість бетону. Один із них - це своєчасне укладання бетонної суміші в конструкцію. Пов'язано це з тим, що «термін життя» якості суміші - усього 90-120 хвилин. Щоб не вийти за межі цього тимчасового інтервалу, необхідно мати парк сучасних автобетонозмішувачів (АБС)

До найбільш відомих українських виробників автобетонозмішувачів фахівці відносять Кураховський машинобудівний завод (Донецька обл.). Модельний ряд цього підприємства включає три моделі автобетоносмесителів - СБ - 92В - 2 (5 м³), СБ - 195 (6 м³), СБ - 197 (7 м³).

Автобетонозмішувачі TIGARBO з корисним об'ємом барабана 7 і 9 м³ на базі автошасі КрАЗ виготовляє ХК «АвтоКрАЗ» (Кременчук). Активно освоюють український ринок і закордонні виробники. Доволі великим виробником автобетонозмішувачів є німецька компанія LIEBHERR - Mischtechnik GmbH. Сьогодні цей виробник виготовляє вісім типорозмірів засобів для транспортування бетону з корисним внутрішнім об'ємом від 5 до 15 м³.

Представлена в будівництві та техніка компанії PICCINI - автозмішувачі із самозавантаженням SCOUT. Даний вид техніки дозволяє одержати від 1,5 до 5,7 м³ бетону на виході.

Вітчизняним будівельним комплексом затребувані автобетонозмішувальні установки російських виробників. Під торговою маркою TIGARBO реалізується автобетонозмішувальна техніка ЗАТ " КОМЗ - Експорт» (Каменськ- Шахтинський, Ростовська обл., Росія). Сучасний модельний ряд цього виробника включає понад 10 різних моделей автобетоносмесителів корисною ємністю від 4 до 9 м³. Технологічне обладнання може встановлюватися на різне шасі: КамАЗ МАЗ, КрАЗ, Урал, Volvo, SCANIA та ін. відповідно до їх вантажопідйомності), а також на причепи та напівпричепи.

Ми вважаємо, що своєчасна доставка товарного бетону на будівельний об'єкт важлива, але не єдина складова його якості. Обов'язкове дотримання правил збагачення з бетоном під час подання й укладання його в будівельну конструкцію - відповідальний етап, що впливає на якість об'єкта. На будівельному майданчику близько 30 % трудовитрат припадає на подання й укладання бетону, а самі бетонні роботи належать до категорії найбільш трудомістких. Застосування бетононасосів забезпечує ефективність робіт з бетоном, значно підвищує якість і швидкість будівництва. Обладнання для подання бетону може бути як стаціонарним, так і на базі автошасі. При цьому автобетононасоси забезпечені гідравлічною розподільною стрілою, що робить цю техніку мобільнішою.

Сьогодні застосовуються бетононасоси, в основному, закордонних виробників. При цьому широко представлена бетоноподавальна техніка німецьких компаній. Фірма ELBA - WERK виготовляє дві серії стаціонарних бетононасосів з потужністю подання бетону від 45 до 57 м³/год і від 70 до 100 м³/год. Насосна частина автобетононасосов ELBA має потужність подачі бетону від 70 до 130 м³/год.

Модельний ряд компанії Putzmeister AG представлений різними моделями стаціонарнопричепних бетононасосів з продуктивністю від 17 до 200 м³/год. Компанія Schwing Stetter виготовляє бетононасоси з поданням бетону від 90 до 163 м³/год на висоту від 23 до 58 м.

На будівельних майданчиках застосовують різні моделі бетононасосів італійських виробників. Стаціонарні автобетононасоси продуктивністю 15-150 м³/год (дистанція подання - до 200 м по вертикалі і до 500 м по горизонталі з висотою стріли автобетононасоса від 18 до 53,5 м) виготовляє італійська компанія MECBO. Цей виробник виготовляє також бетонороздавальні стріли різних моделей, які значно розширюють виробничі можливості стаціонарних бетононасосів, дозволяючи укладати бетон ву місцях, важкодоступних для прокладання бетоноводу.

У виробничому асортименті компанії CIFA присутні бетононасоси з подачею від 87 до 180 м³/год на висоту від 24 до 52 м.

Також використовується техніка з Китаю. Фірма SANY виготовляє стаціонарні бетононасоси продуктивністю від 40 до 121 м³ на годину, з дальністю подання до 1500 м по горизонталі і до 350 м по вертикалі; а також автобетононасоси з вильотом стріли від 37 до 56 м. Крім цього, окрему позицію займають бетонороздавальні стріли.

Також можна відзначити самохідну автобетоносмесительную установку Scout із самозавантаженням компанії Officine PICCINI. Подібну техніку виготовляє й компанія D'AVINO (Італія). Зручні в експлуатації, компактні й мобільні бетонозмішувальні установки із самозавантаженням знайшли широке застосування в Європі. Їх використовують як будівельні компанії при об'єктних бетонозмішувальних установках, так і компанії, що пропонують бетон з постачанням. Сьогодні й українські будівельники одержали можливість застосування цієї техніки при виконанні різних бетонних робіт.

Беруть участь у розробці нової техніки й українські виробники. Так, наприклад, у 2006 р. Кураховський машинобудівний завод представив українським будівельникам автобетонозмішувач СБ - 199 з об'ємом змішувального барабана 9 м³.

Висновки. Незважаючи на значні успіхи з виготовлення й використання сучасного обладнання для виробництва та доставки товарного бетону розробникам надалі потрібно працювати над тим, щоб:

збільшити довговічність бетонної техніки за рахунок підвищення захисту конструкції вузлів і агрегатів від зносу й корозії;

збільшити рівень надійності головних вузлів і агрегатів;

знижити металоємність конструкцій заводів за рахунок оптимізації конструкторських розрахунків без зниження його якісних даних.

Велику увагу необхідно приділяти також глибокої діагностиці обладнання за рахунок застосування вбудованої BUS - технології та мережі Інтернет.

Розглядаючи обладнання для подання бетону, а також розвиток будівельної галузі, можна з упевненістю говорити про те, що основним завданням, яке стоїть перед конструкторами при розробці нових моделей бетононасосів, залишається збільшення висоти подання бетону. При цьому актуальним питанням залишається підвищення надійності конструкції, зниження або збереження на колишньому рівні маси й габаритної довжини установки в транспортному положенні, її стійкості при роботі та безпеки.

Також слід звернути увагу на систему моніторингу руху автотранспорту. Дана система може використовуватися і в будівельній галузі, у тому числі при транспортуванні товарного бетону. Вона дозволяє: мати достовірну та оперативну інформацію про місцезнаходження автомобіля за допомогою GPS- технології; здійснювати безперервний моніторинг усіх етапів рейсу й контролювати графік рейсу; збільшити оборотність транспортних засобів; своєчасно реагувати на непередбачені обставини.

Подібні системи в будівництві набули поширення не так давно. Це стало можливим завдяки тому, що провідні українські компанії розробили програмну й апаратну частини системи.

У зв'язку з цим, перед українськими розробниками стоїть завдання з удосконалення та поширення програмної й апаратної частин таких систем.

Список літератури

1. **Афанасьев А.А.** Возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона. - М.: Стройиздат, 1990.
2. **Афанасьев А.А., Данилов ИМ., Евстратов Г.И.** и др. Технология строительного производства / Под ред. **Данилова Н.Н.** -М.: Высш. школа, 1991.
3. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. - К.: Мінбуд України, 2011. – 71 с.
4. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ В.2.6-156:2010. - К.: Мінбуд України, 2011. – 118 с.
5. **Валовой М.О., Попруга Д.В.** Эффективные материалы для усиления железобетонных конструкций//Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди.Зб. наук. праць. – Рівне: 2008. – Вип. 17. – С. 7 – 13.
6. **Баженов Ю. М.** Технология бетонных и железобетонных изделий, М., 1984.
7. **Бондарь Е. П., Фетисов К. С.** Справочник молодого монтажника стальных и железобетонных конструкций. М., 1981.
8. **Евдокимов Н. И., Мацкевич А. Ф., Сытник В. С.** Технология монолитного бетона и железобетона. М., 1980.
9. **Кичихин Н. Н.** Такелажные работы в строительстве. М., 1984.
10. **Козлов В. В., Ремейко О. А.** Отделка железобетонных и бетонных изделий. М, 1982.
11. **Королев К. М.** Справочник молодого машиниста бетоно-, растворо-смесителей и бетоно-растворонасосных установок. М., 1982.
12. **Королев К. М.** Передвижные бетоно-, растворо-смесители и бетононасосные установки. М., 1986.
13. **Попов КН., Каддо М.Б., Кульков О.В.** Оценка качества строительных материалов. - М.: Изд-во АСВ, 1999.
14. Проектирование железобетонных сборно-монолитных конструкций/Н.-и., проект.-конструкт. и технолог.инт бетона и железобетона. – М.: Стойиздат, 1991. – 69 с.: ил. – (Справ. Пособие к СНиП).
15. Производство бетонных и железобетонных конструкций: Справочник/Под ред. **Гусева Б.В., Звездова А.И., Королева К.М.** - М.: Новый век, 1998.
16. **Слесарев Ю. М.** Приготовление бетонной смеси и строительного раствора. М., 1984.
- СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования/ Госстрой СССР.М.: ЦИТП, 1986-79 с.
17. **Теличенко В.И.** и др. Технология строительных процессов. - М.: Высш. школа, 2003.

18. Теличенко В.И., Лapidус А.А., Терентьев О.М. и др. Технология возведения зданий и сооружений: Учебник для вузов. - М.: Высш. школа, 2001.
19. Третьяков А. К., Рожненко М. Д. Арматурные и бетонные работы. М., 1982.
20. Хаютин Ю.Т. Монолитный бетон. - М.: МИСИ, 1991.

Рукопис подано до редакції 02.03.14

УДК 528.44

Р.О. ТИМЧЕНКО, С.О. ПОПОВ, доктори техн. наук, проф.,
Д.А. КРИШКО, канд. техн. наук, А.В. БОГАТИНСЬКИЙ, аспірант,
Криворізький національний університет
О.В. ШЕВЧУК, Л.В. ПЕТРОВА, ДП «ДПІ «Кривбаспроект»

ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ ДЛЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ

Розглядається питання використання цифрової моделі рельєфу для раціонального застосування території.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Одним із перспективних напрямків застосування ГІС у сучасних дослідженнях стала побудова віртуальних моделей. Оскільки геометричному опису реального світу властива третя координата, засоби тривимірного моделювання стали невід'ємним компонентом сучасних ГІС. Крім інформації про висоту об'єктів, третя координата може служити характеристикою будь-яких процесів чи явищ і використовуватися для їх просторового представлення [1,2].

Аналіз досліджень і публікацій. Джерелами первинних даних для створення цифрової моделювання рельєфу території є топографічні карти, аерофотозйомка, космічні знімки та інші дані дистанційного зондування (ДДЗ), дані систем супутникового позиціонування, нівелювання та інших методів геодезії.

Обробка цифрової моделі рельєфу використовується для: одержання похідних морфометричних чи інших даних, включаючи обчислення кутів нахилу й експозиції схилів; аналізу видимості; побудови тривимірних зображень, у тому числі блок-діаграм, профілів поперечного перерізу, оцінки форми схилів через кривизну їх поперечного і поздовжнього перерізу; генерації мережі тальвегів і вододілів, що утворюють каркасну мережу рельєфу, особливих точок і ліній рельєфу, локальних мінімумів, або западин і локальних максимумів, чи вершин, сідловин, брівок, ліній обривів і інших порушень "гладкості" поверхні, плоских поверхонь з нульовою крутизною; побудови ізоліній за множиною значень висот; автоматизацію аналітичної відмітки рельєфу шляхом розрахунку відносних освітленостей схилів при вертикальному, бічному або комбінованому освітленні від одного або більше джерел; цифрової ортотрансформації при цифровій обробці зображень; інші обчислювальні операції і графоаналітичні побудови. Методи і алгоритми створення та обробки ЦМР можна застосовувати, окрім даних про рельєф (висоту), до інших фізичних або статистичних показників [2,3,4].

Тривимірні моделі територій застосовуються при ситуаційному моделюванні, аналізі проєктів і рішень, для виконання аналітичних розрахунків і як інструмент підтримки прийняття управлінських рішень. І ГІС, і програмні комплекси для обробки даних дистанційного зондування мають у своєму арсеналі програмні компоненти для тривимірного моделювання та візуалізації [4].

Постановка завдання. Враховуючи розвиток комп'ютерних технологій та комп'ютерного моделювання, постає необхідність оцінки можливості використання геоінформаційних систем для потреб містобудування, а також розгляду їх структури та обмежень у застосуванні.

Викладення матеріалу та результати. Цифрова модель рельєфу (ЦМР) – засіб цифрового представлення тривимірних просторових об'єктів (поверхонь, рельєфів) як сукупності висотних відміток або відміток глибин і інших значень аплікату (координати Z) у вузлах регулярної мережі з використанням матриці висот, нерегулярної трикутної мережі (TIN), або як сукупність ізоліній. Найбільш поширеним способом цифрового представлення рельєфу в ГІС є растрове.

Побудова ЦМР вимагає певної структури даних, а вихідні точки можуть бути по-різному розподілені в просторі. Збір даних може здійснюватися за точками регулярної мережі, за структурними лініями рельєфу або хаотично. На основі первинних даних, за допомогою спеціального інструментарію, отримують одну із найбільш поширених у ГІС структур даних

для представлення поверхонь: GRID, TIN або TGRID [1-5].

TIN (Triangulated Irregular Network) – нерегулярна триангуляційна мережа, система трикутників, що не перекривають один одного. Вершинами трикутників є первинні опорні точки. У цьому випадку, рельєф є багатогранною поверхнею, кожна грань якої описується або лінійною функцією, або поліноміальною поверхнею, коефіцієнти якої визначаються за значеннями у вершинах граней трикутників. Для отримання моделі поверхні, ГІС з'єднує пари точок ребрами певним способом, названим триангуляцією Делоне [6].

GRID – модель, яка представляє регулярну матрицю значень висот, отриману шляхом інтерполяції первинних даних. Для кожної комірки матриці, висота обчислюється на основі інтерполяції. Фактично це мережа висот, розміри якої задаються відповідно до вимог точності досліджень [6].

TGRID (triangulated GRID) – модель, що поєднує в собі елементи моделей TIN та GRID. Такі моделі мають свої переваги, наприклад, дозволяють використовувати додаткові дані для опису складних форм рельєфу (обриви, скельні виступи) [6].

Найбільшого поширення в дослідженнях на Україні, пов'язаних зі створенням ЦМР, набули програмні додатки зарубіжних виробників ГІС. Так, популярним є модуль ArcGIS 3D Analyst, розроблений компанією ESRI [5]. Він доповнює продукти ArcGIS Desktop (ArcView, ArcEditor, ArcInfo) інструментами створення і аналізу поверхонь, а також двома додатками для створення і представлення тривимірних моделей: ArcScene (локальні ділянки території) та ArcGlobe (моделі в планетарному масштабі). Як і вся лінійка ArcGIS, модуль 3D Analyst розроблений на основі COM-моделі і використовує базові компоненти ArcObjects, що дозволяє використовувати готові бібліотеки з аналітичними функціями та засобами тривимірної візуалізації при створенні як локальних, так і серверних ГІС-додатків. За допомогою інструменту розробника ArcGIS Engine, можна створювати власні засоби тривимірної візуалізації, що використовують компонент GlobeControl для інтерактивної візуалізації тривимірних сцен.

Інший приклад програмного забезпечення – MapInfo Vertical Mapper (додаток для MapInfo Professional), що є ефективним засобом для побудови і аналізу тривимірних даних. MapInfo Vertical Mapper підтримує низку методів інтерполяції просторових даних (Kriging, TIN, IDW, Natural Neighbour і Bilinear) і включає математичні моделі побудови поверхонь (аналіз віддаленості, зон видимості, гравітаційна модель Хаффа для одного або кількох джерел).

Спершу створюється цифрова картографічна основа. Потім формується тривимірна модель рельєфу, яка використовується для створення планувальної основи і в проєкті по раціональному використанню території.

Інформація, покладена в основу цифрової моделі рельєфу надалі може використовуватися фахівцями при рішенні наступних завдань [7]:

- прогнозування розвитку, планування і забудови;
- розміщення, проектування, будівництво і реконструкція об'єктів житлово-цивільного, виробничого, комунального і іншого призначення;
- охорона пам'яток архітектури, регенерація історичних поселень;
- створення соціальної, інженерної і транспортної інфраструктури;
- регулювання земельних стосунків на відповідних територіях;
- облік власників і користувачів будівель і споруд;
- контроль за раціональним використанням територіальних ресурсів;
- аналіз реалізації затвердженої містобудівної документації та ін.

Пошаровий принцип організації інформації полягає в тому, що дані про територію організуються (розширюються) у вигляді набору тематичних шарів. Шар складається з однорідних даних, що об'єднуються загальною тематикою. Наприклад, в один шар виносяться всі об'єкти гідрографії, або всі шосейні дороги, або все, що відноситься до рослинного покриву (рис. 1).

Пошаровий принцип організації інформації дуже наочний і добре співвідноситься з прийомами традиційної картографії.

У більшості програмних продуктів ГІС дані організовані в тематичні шари даних. Такий підхід дозволяє вводити дані як окремі теми і накладати їх на основі аналізу потреб. Це може бути представлено концепцією вертикального розширення об'єктів земної поверхні. Розуміння шарів просторових даних як вертикальної форми організації даних представлено в посібнику [8]. Інструментом просторового взаємозв'язку шарів по вертикалі є єдина для всіх шарів система координат для визначення просторових об'єктів.

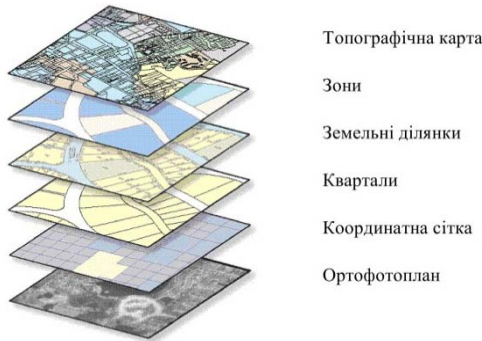


Рис. 1. Ілюстрація концепції вертикального розширення об'єктів земної поверхні.

Ідея накладення настільки природна для фахівців картографів і природних ресурсів, що вона також була створена при розробці більшості векторних систем САД. Підхід накладення шарів, вживаний в системах САД, використовується для відділення основних класів просторових об'єктів. Ця концепція також використовується для логічного впорядкування даних в більшості ГІС програм. Термінологія може відрізнятися між програмним забезпеченням ГІС, але підхід є тим же.

У комерційному програмному забезпеченні ГІС використовується різноманітність термінів для визначення даних шарів. Шар даних (Layer) і тема (Theme) є найбільш поширеними термінами; вони не є власністю якого-небудь конкретного програмного забезпечення ГІС [9].

Шар даних або тема відповідає логічній сукупності просторових об'єктів із загальними характеристиками. Кожен шар/тема визначається наступними умовами:

- об'єкти одного класу;
- однаковий набір полів.

Геометричний тип об'єкта визначає шість класів шарів або тем (табл. 1).

Для будь-якого ГІС-проекту будуть потрібні різні шари даних. Вони мають бути визначені до початку проекту.

Має бути також визначений пріоритет введення або оцифрування просторових даних шарів.

Це є обов'язковим, оскільки часто один шар даних містить просторові об'єкти, які збігаються з іншими, наприклад, озера можуть бути використані для визначення полігонів у шарі даних лісового кадастру. Шари, як правило, визначаються розробником, виходячи з потреб користувачів і доступності даних.

Визначення шарів може значно відрізнятися залежно від потреби в ГІС. Кількість шарів в діючій ГІС крупного муніципального утворення може вимірюватися декількома сотнями [9].

Таблиця 1

Класи шарів

Класи шарів	Графічне представлення класів шарів
1. Точковий шар (Point Layer)	
2. Лінійний шар (Line Layer)	
3. Полігональний шар (Polygon Layer)	
4. Шар анотацій (Annotation Layer)	
5. Шар записів (Record Layer)	
6. Шар точок реперів (Tie Layer)	

У табл. 2 наведено приклади деяких шарів даних з типової ГІС муніципального управління.

Таблиця 2

Приклади шарів даних

Назва шару	Об'єкт реального світу	Геометричний тип об'єкта	Атрибути користувача
Вісі вулиць	Міські вулиці	Лінійний	Назва, клас вулиці
Дорога	Проїжджі частини вулиць	Полігональний	№, площа, ширина
Квартали	Квартали міста	Полігональний	Щільність забудови, чисельність населення
Будівлі житлові	Будівлі	Полігональний	Поверховість, кількість квартир, кількість мешканців
Будівлі промислові	Будівлі	Полігональний	Висота, об'єм
Земельні ділянки	Зонування	Полігональний	Код ділянки, площа, тип землекористування
Залізниця	Основні залізничні лінії	Лінійний	Назва залізниці
Лінії газопостачання	Система газопостачання	Лінійний	Діаметр, тиск, довжина
Лінії водопостачання	Система водопостачання	Лінійний	Діаметр, матеріал, довжина

Як правило, в ГІС вводиться один шар даних за один раз. Шар даних буде повністю завантажений, коли будуть виконані графічні перетворення, редагування, топологічні побудови, перетворення атрибутів, зв'язування, а також перевірки, перш ніж наступний шар

даних буде запущений. Тому є декілька етапів в повному завантаженні даних шару.

Більшість ГІС-проектів інтегрують шари даних, для створення похідних тем або шарів, які є результатом деякого обчислення або моделі, наприклад, цінності лісів, придатності використання земель і так далі. Похідні шари повністю залежать від мети проекту. Кожен шар даних, інтегрований в індивідуальному порядку і буде початковим для створення комбінованих даних шарів.

Окремі функції аналізу даних можуть бути здійснені, ґрунтуючись на моделі даних, наприклад, векторній або растровій, і топологічній структурі. Важливо відзначити, що у векторній ГІС топологічна структура визначається тільки за допомогою унікальних міток для кожного просторового об'єкта.

При розробці логічної моделі даних з використанням реляційної моделі можливо потрібно розглянути пошарову й мозаїчну структуру даних, відому також як бібліотека карт.

Найчастіше при цьому організується також й ділення одного тематичного шару по горизонталі по аналогії з окремими листами карт. Це робиться в основному для зручності адміністрування баз даних, щоб уникнути роботи з надмірно великими файлами.

Число шарів при пошаровій організації даних може бути обмежене, або практично не обмежене залежно від конкретної реалізації. При пошаровій організації даних дуже зручно маніпулювати великими групами об'єктів, представлених шарами, як єдиним цілим, наприклад, включаючи або вимикаючи шари для візуалізації, визначати операції, засновані на взаємодії шарів. В цілому, можна сказати, що пошарова організація даних має великий аналітичний потенціал.

Об'єкти, віднесені до одного шару утворюють деяку фізично окрему одиницю даних. Вони збираються в один файл або в одну директорію, мають єдину і окрему від інших шарів систему ідентифікаторів, до них можна звертатися як до деякої множини. По одній темі можуть бути передбачені декілька шарів різного масштабу і відповідно різної точності або різних часових інтервалів. Ця ідея також використовується для логічного впорядкування даних в більшості ГІС-програм [10, 11].

В основу створюваної ГІС включається цифрова базова карта; створюються цифрові аналітичні карти по блоках, що характеризують основні природні та соціально-економічні особливості території, стан навколишнього середовища. Атрибутивна інформація включається в ГІС з

різних джерел за стандартизованими формами. На цьому ж етапі накопичуються містобудівні нормативні документи і регламенти (рис. 2).



Рис. 2. Склад цифрових аналітичних карт

На основі засобів просторового аналізу створюються синтетичні карти, які одержують шляхом зіставлення і синтезу як картографічних, так і атрибутивних даних, представлених у перерахованих блоках. На основі аналізу даних синтетичних карт розробляються сценарії розвитку для різних регіонів країни. Метою цього етапу є створення ряду прогнозно-конструктивних карт [12].

Тривимірне комп'ютерне представлення місцевості значно підвищує можливості візуального аналізу при вивченні і управлінні міською територією, воно дозволяє [8, 9, 11]:

виконати фотореалістичне відображення досліджуваної території і віртуальне переміщення над моделлю місцевості;

оцінити можливості існуючої і варіанти проектованої міської забудови і міського ландшафту;

провести аналіз проектних рішень, у тому числі на відповідність генеральному планові розвитку міста;

компілювати необхідні тематичні шари з впровадженими 3D об'єктами;

розвивати методи підготовки перспективних тривимірних топологічних ГІС-даних і моделей, а також поєднання їх з даними САПР.

3D модель дає повніше уявлення про територію забудови міста, ніж звичайні карти і плани, забезпечує перегляд об'єктів з будь-якої точки простору (з висоти пташиного польоту, з поверхні землі, з вікна будь-якого будинку і так далі), спрощує процеси планування, контролю і ухвалення рішень.

Вже зараз одна з умов безпомилкового будівництва будівлі – це попередня побудова його проектованої тривимірної моделі і тривимірних моделей навколишньої забудови. Тривимірна модель проектованого об'єкту допомагає архітекторові краще зрозуміти самому і пояснити замовникові те, що він збирається побудувати. Інженерові-конструктору тривимірна модель об'єкту допомагає краще опрацювати елементи будівельних конструкцій, виконати розрахунки міцності будівлі. Усім фахівцям вона дозволяє краще орієнтуватися в об'єкті, що будується.

Подібні тривимірні моделі, інтегруючи в собі різноманітні векторні і растрові дані, дозволяють краще оцінити тенденції забудови території, допомагають дизайнерам при плануванні зовнішнього вигляду будівель. Їх корисно використовувати в різних областях діяльності при усебічній оцінці поточної ситуації в районі міста, що розглядається, або при його переплануванні.

Крім того, можна досить швидко проаналізувати варіанти і деталі проекту, переміщати будівлі і інші елементи проекту забудови території і за допомогою послідовних наближень досягати бажаного результату. При цьому, засоби додаткового модуля 3D аналізу дозволяють по-

глянути на проєктований об'єкт з різних боків, а також змоделювати вигляд території з вікон будівель.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Великою перевагою використання цифрової моделі є те, що користувач працює не в системі координат паперового листа, а в реальній тривимірній системі. Проєктувальник може оцінювати свій проєкт комплексно, без відриву від міського середовища, з урахуванням існуючих і проєктованих інженерних комунікацій, транспортної доступності.

Подібні тривимірні моделі, інтегруючи в собі різноманітні векторні і растрові дані, дозволяють краще оцінити тенденції забудови території, допомагають дизайнерам при плануванні. Їх корисно використовувати в різних областях діяльності при усебічній оцінці поточної ситуації в районі міста, що розглядається, або при його переплануванні.

Список літератури

1. **ДеМерс М.Н.** Географические информационные системы. Основы / **ДеМерс М.Н.**; пер. с англ. - М.: Дата+, 1999.- 491 с.
2. GIS Glossary [Electronic Resource] .- URL: <http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/glossary.html>
3. **Goodchild, M.F.** Geographical information science //International Journal of Geographical Information Systems, 1992, 6(1), p. 31-45.
4. **Huxhold W.E., Levinsohn A.G.** Managing Geographic Information System Projects. - New York, Oxford: Oxford University Press., 1995. - 250 p.
5. Сучасні інформаційні технології для управління територіальним розвитком регіонів / С.М. Андрєєв, С.І. Безрезіна, С.А. Загородня [та ін.] // Геоінформатика. – 2012. – № 2. – С. 51 – 59.
6. **Скворцов А.В.** Триангуляция Делоне и ее применение / **А.В. Скворцов.** – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с.
7. **Білецький Б.О.** Деякі аспекти інтеграції ГИС-додатків для систем підтримки прийняття рішень / **Б.О. Білецький** // Матеріали VI міжнар. наук-практ. конф. "ГІС-форум.2006". – Київ, 2006. – С. 235 – 238.
8. **Журкин И.Г.** Геоинформационные системы / И.Г. Журкин, С.В. Шайтура. – М.: Кудиц-пресс, 2009. – 272 с.
9. **Ішук О. О.** Просторовий аналіз і моделювання в ГІС: Навчальний посібник / **О.О. Ішук, М.М. Коржнев, О. Е.Кошляков**; за ред. акад. Д.М. Гродзинського. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2003.– 200 с.
10. **Шипулін В.А.** Основні принципи геоінформаційних систем / **В.А. Шипулін.** – Харків: ХНАМГ, 2010. – 315 с.
11. **Савиных В.П.** Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования / В.П.Савиных , В.Я. Цветков. - М.: Геодезиздат,- 2001 – 228 с.
12. **Энди Митчелл.** Руководство по ГИС Анализу. Часть 1: Пространственные модели и взаимосвязи / Энди Митчелл; пер. с англ. – Киев, ЗАО ЕСОММ Со; Стило, 2000. – 198 с.

Рукопис подано до редакції 03.03.14

УДК 711.28

Р.О. ТИМЧЕНКО, С.О. ПОПОВ, доктори техн. наук, проф.
Д.А. КРИШКО, канд. техн. наук, М.О. КРАВЧЕНКО, Ю.В. ЧУГАЙ, магістранти,
Криворізький національний університет
О.В. ШЕВЧУК, Л.В. ПЕТРОВА, ДП «ДПІ «Кривбаспроект»

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ У СИСТЕМІ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЄЮ

У даній статті розглядається питання використання геоінформаційних систем у системі територіального планування та управління територією.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Для створення умов прогнозованого розвитку територій, населених пунктів, підвищення ефективності управління, супроводження містобудівної діяльності, поліпшення екологічного і техногенного становища населених пунктів у провідних країнах світу використовують геоінформаційні системи (ГІС) та системи моделювання на базі геоінформаційних технологій для підготовки пропозицій щодо прийняття управлінських рішень.

Система територіального планування та управління територією включає організаційну структуру; технічні та програмні засоби; інформаційні ресурси; каталоги та бази метаданих; сервіси геопросторових даних; будівельні норми, технічні регламенти та державні стандарти [1].

Реалізація належної інформаційної політики для потреб містобудівної діяльності, її технологічне забезпечення, відповідно до новітніх технологій, впровадження сучасних інформаційних систем для обробки та відображення інформації, повинні передбачати автоматизацію вирішення широкого кола завдань з управління розвитком територій на місцевому, регіональному та державному рівнях шляхом впровадження розрахункових задач та систем моделювання за різними напрямками містобудівної діяльності.

Використання ГІС, як системи зберігання і використання геопросторових даних створюється для задоволення інформаційних потреб у плануванні території та будівництві у взаємодії з земельним, водним, лісовим і іншими кадастрами, взаємодії з реєстраційними, інвентаризаційними, статистичними і іншими інформаційними фондами та результатами моніторингу середовища проживання населення [1-3].

До завдань ГІС відноситься реєстрування, зберігання та надання користувачам містобудівних регламентів використання території для містобудівних потреб, відомостей про стан нерухомості, оцінки та формування умов містобудівного розвитку.

Містобудівні дані необхідні при розробленні і реалізації містобудівної та іншої документації, забудові земельних ділянок, а також для відповідного інформаційного забезпечення при зміні правового статусу нерухомості та при здійсненні угод з нею і реєстрації прав на неї, проведення операцій з оподаткування, оцінки інвестиційної діяльності, для формування заходів щодо охорони природних комплексів, пам'яток архітектури і містобудування, видачі архітектурно-планувальних завдань, дозволів на будівництво і знесення, спеціальних приписів, здійснення державного нагляду і містобудівного контролю, іншої діяльності у сфері містобудування.

Містобудівні дані усіх рівнів повинні зберігати обов'язковий набір даних в уніфікованій формі для всіх об'єктів одного і того ж рівня. Це забезпечить їх співставлення по горизонталі та «наслідування» по рівнях. Вирішення цих питань надасть можливість значно підвищити оперативність та якість вирішення питань, що стосуються забезпечення сталого розвитку території України [1].

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз сучасних наукових методів і підходів, що застосовуються в різних країнах при розробці моделей містобудівного розвитку регіонів, показує, що найбільш повно вони реалізуються при використанні сучасних ГІС-технологій. Однак, це висуває особливі вимоги до розробки методики оцінки містобудівних рішень і підготовки містобудівного прогнозу.

Постановка завдання. Як показує світовий досвід, ефективне інформаційне забезпечення територіального планування і управління містом можливе тільки на базі геоінформаційних технологій, які забезпечують збереження і пошук необхідної інформації, яка «прив'язана» до конкретних об'єктів спеціально створеної комп'ютерної (цифрової) карти території.

Викладення матеріалу та результати. У ГІС, в залежності від базового масштабу використаних цифрових карт, інформаційними об'єктами можуть бути окремі житлові будівлі, промислові об'єкти, квартали забудови; вулиці і дороги або їх окремі елементи (проїзні частини, бордюри, кювети, придорожні газони), масиви зелені або окремі дерева; інженерні комунікації або їх складові частини (ділянки трубопроводу, колодязі) тощо.

Враховуючи необхідність пошарового накопичення та спільного аналізу різнохарактерних даних, що мають конкретну територіальну локалізацію, цілком закономірно розглядати ГІС-технологію як базову технологію створення і ведення територіального планування та управління територією. На державному рівні має бути створена міжвідомча геоінформаційна система, що буде забезпечувати інформаційні потреби усіх галузей у сфері містобудування, яка одночасно стане складовою електронного урядування.

Містобудівну діяльність необхідно розглядати з різних точок зору – з точки зору інтересів держави, суспільства в цілому та інтересів кожної окремої людини.

Інтереси держави – в забезпеченні умов для стійкого розвитку територій, функціонування державних систем інженерної і транспортної інфраструктури, збереження природних ресурсів,

охорони державних об'єктів історико-культурної та природної спадщини, територій традиційного проживання корінного населення.

Громадські інтереси в області містобудівної діяльності полягають у забезпеченні сприятливих умов проживання, обмеження негативного впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє середовище містобудівними засобами, покращенні екологічного стану, розвитку інженерної, транспортної та соціальної інфраструктури та збереження територій, об'єктів історико-культурної та природної спадщини.

Приватні інтереси в області містобудівної діяльності пов'язані з реалізацією прав і законних інтересів власників, орендарів земельних ділянок та інших об'єктів нерухомості.

Містобудівна діяльність не повинна заперечувати державні, громадські, приватні інтереси. Державні, громадські та приватні інтереси в області містобудівної діяльності забезпечуються безумовним виконанням вимог нормативно-правових актів, державних містобудівних нормативів та правил, реалізацією містобудівної та проектною документації з метою забезпечення сприятливих умов проживання та контролю за їх виконанням.

Наявність якісного нормативно-правового забезпечення є необхідною умовою для створення системи, власне автоматизованої системи територіального планування та управління територією як державної системи зберігання та використання геопросторових даних про територію, адміністративно-територіальні одиниці, екологічні, інженерно-геологічні умови, інформаційні ресурси будівельних норм, державні стандарти і правила для задоволення інформаційних потреб у плануванні територій та будівництві, формування галузевої складової державних геоінформаційних ресурсів [4-5].

Тому першочерговим напрямом на шляху створення системи територіального планування та управління територією є системний аналіз існуючих законодавчих, нормативно-правових актів, що прямо чи опосередковано стосуються містобудівної діяльності та створення якісного нормативно-правового забезпечення щодо створення та функціонування системи територіального планування та управління територією усіх рівнів.

Цілісність даних оцінки територій в системі територіального планування та управління територією забезпечується за рахунок єдиного правового, нормативного та науково-методичного забезпечення щодо створення й ведення на відповідному рівні та використання єдиної технології ведення усіх її рівнів [4].

Системи територіального планування та управління територією одного й того ж рівня, наприклад, різних міст чи областей України, повинні зберігати обов'язковий для усіх об'єктів даного рівня набір даних в уніфікованій формі, базуватись на сумісних геоінформаційних, інформаційних та операційних системах.

Відповідно до покладених завдань на систему територіального планування та управління територією, його створення, як свідчить досвід провідних країн світу, базується на геоінформаційних системах, що забезпечують розв'язання задач аналізу, прогнозування та моделювання з метою формування пропозицій для прийняття управлінських рішень з урахуванням соціальних, економічних, екологічних і інших складових для забезпечення стійкого розвитку території держави, її інженерної, транспортної і соціальної інфраструктури, а також регіональних суб'єктів і муніципальних утворень за міжвідомчим принципом та інформування громадськості.

Такий підхід до створення такої системи дозволить зіставляти та оцінювати відповідні території за їх привабливістю, ефективністю використання, природно-екологічним станом, збереженням історико-архітектурних цінностей, за їх інвестиційним потенціалом та іншими показниками. Така можливість зіставляти та оцінювати однотипні території дасть можливість органам державної влади та органам місцевого самоврядування обґрунтовано формувати плани розвитку територій, плани функціонального використання територій, плани зонування територій і забезпечувати сталий розвиток територій держави [6, 7].

Для цього повинні бути розроблені методологічні засади і методики оцінки територій з різних точок зору, методики формування дозвільних документів. Ці методики мають бути формалізовані, бо реалізація таких методик без формалізації вхідних даних та надання алгоритму їх обробки призведе до неоднозначного трактування методологічних засад різних частин території України і отримання неоднозначних оцінок щодо аналізу стану використання та прогнозування розвитку територій, а звідси і планування розвитку територій. Склад, зміст і форма по-

дання даних різних рівнів повинні бути узгоджені таким чином, щоб була забезпечена їх спадкоємність, інтеграція по рівнях.

Такі методологічні засади і відповідні методики дадуть можливість проводити аналіз, надавати аналітичні довідки в різних розрізах, відстежувати тенденції розвитку будь-якої території України, оцінювати ці тенденції розвитку та приймати відповідні рішення. Тому формування методичного забезпечення процесу створення та функціонування системи територіального планування та управління територією слід розглядати як один із основних напрямів його створення.

Власне ГІС-технології - це сучасні комп'ютерні технології для картування і аналізу об'єктів реального світу, а також подій, що відбуваються на нашій планеті, в нашому житті і в нашій діяльності.

Дана технологія об'єднує традиційні операції при роботі з базами даних з перевагами повноцінної візуалізації і географічного (просторового) аналізу, які надає карта. Ці особливості відрізняють ГІС від інших інформаційних систем і забезпечують унікальні можливості для її застосування в широкому спектрі завдань, пов'язаних з аналізом і прогнозом явищ і подій навколишнього світу, з осмисленням і виділенням головних чинників і причин, а також їх можливих наслідків, з плануванням стратегічних рішень і прогнозуванням поточних наслідків дій, що відбуваються [8].

З наукової точки зору, ГІС – це засіб моделювання і пізнання природних і соціально-економічних процесів. ГІС застосовується для дослідження всіх тих природних, суспільних і природно-суспільних об'єктів і явищ, які вивчають науки про Землю і суміжні з ними соціально-економічні науки. У технологічному аспекті засоби ГІС – це засіб збору, зберігання, перетворення, відображення і розповсюдження просторово-координованої географічної (геологічної, екологічної, економічної) інформації. І нарешті, з виробничої точки зору, ГІС є комплексом апаратних пристроїв і програмних продуктів (ГІС-оболонки), призначених для забезпечення управління і ухвалення рішень. Таким чином, ГІС може одночасно розглядатися як інструмент наукового дослідження і як технологія і продукт інформаційної індустрії. Це достатньо типова ситуація на сучасному рівні науково-технічного прогресу, що характеризується інтеграцією різних гілок розвитку науки, суспільства та виробництва.

Головною перевагою ГІС є найбільш доступне для людей представлення інформації, як просторової, так і будь-якої іншої, що описує об'єкти, розташовані у просторі (атрибутивної інформації) [9].

Способи представлення атрибутивної інформації різні: це може бути числове значення з датчика, таблиця з бази даних (як локальної, так і віддаленої) про характеристики об'єкта, його фотографія або реальне відображення. Таким чином, ГІС можуть допомогти скрізь, де використовується просторова інформація про об'єкти.

У ГІС різні види об'єктів місцевості, а їх, як правило, кілька сотень, рознесені по шарах, що дозволяє відображати на екрані комп'ютера «картинку» з будь-яким поєднанням шарів. Так, наприклад, можна відобразити на моніторі лише житлові будинки, проїжджі частини вулиць, водопроводи та колодязі і роздрукувати цю картину в будь-якому масштабі.

Споживча цінність ГІС у значній мірі визначається базовим масштабом комп'ютерних карт і планів території, а також їх змістом. Сьогодні інженерне господарство країни, особливо в містах, несе значні витрати через відсутність достовірної та швидко доступної інформації про стан підземних комунікацій.

ГІС у системі територіального планування та управління територією – це міжвідомча система, яка повинна забезпечувати достовірними геоінформаційними даними всіх учасників процесу управління територіальним розвитком відповідного рівня, а саме: органи державної влади і місцевого самоуправління, міністерства і відомства, агенції, інвестори, фізичні і юридичні особи, проектні, вишукувальні і будівельні підприємства і організації, органи державної статистики та інші інформаційні служби [10].

Одним із основних принципів проектування ГІС повинен бути принцип гармонізації засобів ГІС різних рівнів з засобами ГІС державного рівня. Забезпечити побудову такої гармонізованої на всіх рівнях системи територіального планування та управління територією засобів ГІС можливо з використанням провідних систем для роботи з картографічною інформацією.

Враховуючи важливість використання ГІС-технологій при створенні та функціонуванні системи та наявність великої кількості систем відомих розробників систем для роботи з картографічною інформацією, одним із головних напрямів робіт по створенню системи територіального планування та управління територією є обґрунтування та вибір оптимально раціональної ГІС з урахуванням потреб не лише державного рівня, а й регіонального та місцевого рівнів, можливості їх взаємодії та взаємодії з іншими інформаційно-аналітичними системами, урядування й розробка відповідних ГІС-сервісів [11].

Системний підхід в управлінні містом потребує урахування усіх структурних складових містобудівної системи як сукупності просторово-організованих і взаємопов'язаних матеріальних об'єктів території міста, а місто розглядати як надзвичайно складний об'єкт з величезними матеріальними, фінансовими та трудовими ресурсами, який потребує застосування сучасних інформаційних технологій для оцінки ситуацій, що дозволить знизити ризики і підвищити надійність і обґрунтованість містобудівних управлінських рішень.

Містобудівну діяльність слід розглядати як предметну область, в якій суттєву роль відіграє якість прийняття рішень як у звичайних, так і проблемних ситуаціях. Труднощі, які виникають у процесі прийняття рішень, полягають у наявності факторів ризику, наприклад, таких як невизначеність і недостатність знань про характеристики об'єктів міста, особливо у кризових ситуаціях [11].

Існує проблема вибору найбільш інформативних ознак ситуацій з достатньо високою кількістю неформалізованих параметрів стану місцевих об'єктів - наявність і ступінь концентрації об'єктів житлового призначення; доступність до центру міста та місць трудового і культурно-побутового обслуговування населення; рівень і якість інженерного обладнання території; стан оточуючого середовища; характеристики місця розміщення; цілісність візуально-просторового сприйняття природних і антропогенних вузлів і комплексів; тощо, які необхідно проаналізувати за короткий період часу і прийняти рішення.

Для підготовки множини альтернативних варіантів рішень та вибору найбільш обґрунтованого з них необхідно мати комплекс моделей оцінки територій міста, який відображає економічні, екологічні, транспортні, історико-архітектурні, інвестиційні, рекреаційні характеристики міста [5, 6]. Тому одним із важливих напрямів створення системи слід вважати створення комплексу моделей різнопланової оцінки територій та прогнозування результатів рішень, які пропонуються з метою вибору оптимального з них.

Систему територіального планування та управління територією державного рівня слід розглядати як автоматизовану систему зберігання та використання геопросторових даних про територію, адміністративно-територіальні одиниці, екологічні, інженерно-геологічні умови, інформаційних ресурсів будівельних норм, державних стандартів і правил для задоволення інформаційних потреб у плануванні території та будівництва, формування галузевої складової державних інформаційних ресурсів [12].

ГІС дозволяє обмін документами та кадастровими даними з іншими кадастровими та інформаційними системами, надання користувачам через мережу геопорталів, сервісів пошуку та перегляду геопросторових даних про об'єкти містобудування, опис та пояснення до них.

ГІС надає можливість переглянути копії затверджених містобудівних документів, що відносяться до місцевих об'єктів, а саме: нормативно-правових актів містобудівної діяльності, державних будівельних норм, стандартів і правил, містобудівних регламентів щодо визначення містобудівної цінності території держави та використання території для містобудівних потреб з відомостями, необхідними для контролю за їх використанням, результати екологічного, інженерно-геологічного, сейсмічного, гідрогеологічного та іншого районування території країни на підставі даних, що надійшли з відповідних галузевих кадастрів та інформаційних систем.

Крім того, користувачам мають бути доступні для перегляду схема планування території України та результати моніторингу стану розроблення та виконання генеральних планів населених пунктів, отримані на підставі даних інформаційних систем територіального планування та управління територією регіонального рівня [12, 13].

З огляду на вищезазначене, вимоги до прикладного програмного забезпечення системи територіального планування та управління територією державного рівня, яке має бути розроблене, дуже високі [5]. А відтак зростають вимоги і до загальносистемного програмного забезпечення, яке повинне забезпечувати ведення розподілених баз даних, сховищ даних та докумен-

тів, мережеву обробку та зберігання великого об'єму даних як текстових, так і картографічних, швидкість доступу до даних, захищеність даних, стійкість та надійність у роботі, підтримку роботи геоінформаційних систем, а також друк картографічних матеріалів.

Загальносистемне програмне забезпечення, яке повинне обиратися на базі наявних на ринку операційних систем і універсальних програмних засобів, має забезпечити надійне функціонування в мережевому режимі всього комплексу технічних засобів і прикладного програмного забезпечення.

Загальносистемне програмне забезпечення також повинно забезпечити підтримку інформаційного обміну з організаціями – першоджерелами вихідних даних і споживачами інформації, тим самим забезпечуючи функціонування програмно-технічного комплексу системи територіального планування та управління територією державного рівня як керівного центру державної системи зберігання та використання геопросторових даних про територію, адміністративно-територіальні одиниці, екологічні, інженерно-геологічні умови, інформаційних ресурсів будівельних норм, державних стандартів і правил для задоволення інформаційних потреб у плануванні території та будівництва, формування галузевої складової державних інформаційних ресурсів [12, 13].

Тому наступним основним напрямом процесу створення системи територіального планування та управління територією має бути обґрунтування вибору загальносистемного програмного забезпечення та засобів розробки прикладного програмного забезпечення та його архітектури.

Створення баз, сховищ і вітрин даних та інтеграція даних з різних баз даних і джерел інформації в рамках єдиного інформаційного простору є однією з основних задач створення системи територіального планування та управління територією.

В основі створення єдиного інформаційного простору ГІС повинна бути розроблена концептуальна модель предметної області, тобто інформаційна модель найбільш вищого рівня абстракції. На відміну від логічної схеми даних, зазначена модель не орієнтована на конкретну систему управління базами даних і модель даних (реляційну, об'єктно-орієнтовану, ієрархічну). Прийнята концептуальна модель дозволить досягти семантичної сумісності інтегрованих даних шляхом визначення єдиних понять (концептів) і взаємозв'язків між ними.

Для досягнення семантичної сумісності при прийнятті концептуальної моделі необхідно передбачити підмоделі опису всіх інформаційних рівнів системи територіального планування та управління територією. Встановлені межі предметної області забезпечать вивчення нормативно-методологічної бази. Виявлення інформаційних об'єктів або понять предметної області і залежностей між ними здійснюється на основі дослідження вихідних документів містобудівної діяльності.

Вибір концептуальної моделі орієнтується на вимоги до інформаційного змісту системи територіального планування та управління територією та забезпечує методологічні підходи для формування вимог до розроблення необхідних об'єктів інформаційного простору. Використання інструментальних засобів створення концептуальної моделі забезпечує представлення результатів розробки в наочному вигляді, зручному для обговорення різних аспектів моделювання із замовником, перевірки коректності моделі та автоматизованої розробки відповідної документації.

Обмін даними між рівнями системи територіального планування та управління територією включає узагальнення і деталізацію опису інформаційних об'єктів. Дослідження і розробка методології агрегації даних – необхідний етап створення системи територіального планування та управління територією державного рівня.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Проектування нових баз і банк даних пов'язане з необхідністю забезпечення інформаційної повноти системи територіального планування та управління територією. Структури баз і банк даних повинні відповідати концептуальній моделі системи територіального планування та управління територією. Однією з найважливіших задач створення єдиного інформаційного простору системи територіального планування та управління територією є створення єдиної системи класифікації і кодування, створення системи реєстрів усіх типів документів. Сервіси інформаційних систем територіального планування та управління територією створюються для забезпечення пошуку інформації за вказаними користувачами характеристиками об'єктів обліку, виявлення та перегляду наборів геопросторо-

рових даних та інформації про характеристики геопросторових об'єктів в інформаційних мережах, а також безпосереднього доступу користувачів до даних або одержання їх копій, формування аналітичних звітів.

ГІС у муніципальному управлінні використовується в багатьох сферах управління таких, як управління, містобудування і т.п. В даний час ГІС є фундаментом муніципальної інформаційної системи, оскільки вона є джерелом всіх просторових даних по об'єктах міської території і може служити потужним засобом з обробки цих даних, вирішувати найскладніші аналітичні завдання в галузі моделювання процесів в міському середовищі і виступає в ролі невід'ємного інструменту при прийнятті територіальних управлінських рішень. Не варто недооцінювати роль даних систем і при вирішенні управлінських завдань вищого рівня і використання ГІС-технологій на робочих місцях вищої ланки муніципального управління. При реалізації програм інформатизації органів місцевого самоврядування проблемам розробки та розвитку муніципальних ГІС-технологій повинно бути приділено особливу увагу.

Список літератури

1. Сучасні інформаційні технології для управління територіальним розвитком регіонів/ С.М. Андрєєв, С.І. Березіна, С.А. Загородня[та ін.] // Геоінформатика. – 2012. – №2. – С. 51-59.
2. Журкин И.Г. Геоинформационные системы / И.Г. Журкин, С.В. Шайтура. – М.: Кудиц-прес, 2009. – 272 с.
3. Шипулін В.А. Основні принципи геоінформаційних систем/ В.А. Шипулін. – Харків: ХНАМГ, 2010. – 315 с.
4. Білецький Б.О. Деякі аспекти інтеграції ГІС-додатків для систем підтримки прийняття рішень/ Б.О. Білецький // Матеріали VI міжнар. наук-практ. конф. "ГІС-форум.2006". – Київ, 2006. – С. 235-238.
5. Дьомін М.М. Актуальні проблеми теорії та методології містобудівних досліджень/ М.М. Дьомін // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб. – К.: КНУБА, 2009. – Вип. 33. – С. 141-155.
6. Міщенко О.Д. Мультиагентні технології як основа для управління містобудівними системами/ О.Д. Міщенко// Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб. – К.: КНУБА, 2009. – Вип. 33. – С. 234-244.
7. Глебова Н. ГІС для управління містами і територіями // ArcReview, 2006. – № 3 (38). – С. 34-42.
8. Дьяченко Н.В. Використання ГІС-технологій у вирішенні завдань управління. - [http:// www.pocnit.ru/2st/materials/Diachenko.html](http://www.pocnit.ru/2st/materials/Diachenko.html)
9. Дьяченко Н.В. Досвід розробки інформаційно-аналітичних систем підтримки прийняття управлінських рішень - [http:// www.pocnit.ru/2st/materials/Diachenko.html](http://www.pocnit.ru/2st/materials/Diachenko.html)
10. Еремченко Є. Новий підхід до створення ГІС для невеликих муніципальних утворень // ArcReview, 2005. – № 2 (32). – С. 84-90.
11. Красовська О., Скатерщиков С., Тясто С., Хмелефа Д. ГІС у системі територіального планування та управління територією // ArcReview, 2003. – № 3 (38). – С. 93-100.
12. Томілін В.В., Норієвская Г. М. Використання ГІС у муніципальному управлінні // Практика муніципального управління, 2007. – № 7. – С. 24-30.
13. Щербінін Ю.Б. Нетрадиційні підходи до створення геоінформаційних систем управління муніципальними утвореннями. - СНІБ "Ельбрус". – 170 с.

Рукопис подано до редакції 03.03.14

УДК 504.6: 622.73: 534.83

А.Р. АРУТЮНЯН, канд. техн. наук, доц., В.Д. АФАНАСЬЕВ, канд. техн. наук
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

УДАРНЫЙ ШУМ ПРИ ГРАВИТАЦИОННОМ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ РУДЫ И СРЕДСТВА ЕГО СНИЖЕНИЯ

Приведены данные о профессиональной тугоухости, уровнях звукового давления и уровнях звука при гравитационном транспортировании руды и дана оценка эффективности снижения ударного шума различными типами футеровок. Показана возможность снижения передачи и уменьшения излучения ударного шума на 10÷15 дБ в широком диапазоне частот при использовании резиновых и резино-металлических футеровок.

Проблема и ее связи с практическими задачами. При разработке проектных решений по дроблению кускового материала используется способ его транспортирования под действием гравитационных сил. Такие схемы преимущественно используются при каскадном расположении оборудования. Они требуют использования большого числа перегрузочных устройств, по-

верхности которых преимущественно защищаются от интенсивного абразивного износа футеровками из листовой стали толщиной 20 мм.

При интенсивном ударном воздействии кусковым материалом с размерами от 50 мм и выше при высоте падения более 0,5 м на перегрузочные устройства, несущие элементы которых выполнены толщиной 6-8 мм, генерируют ударный шум от 90 до 100 дБА.

Без решения вопросов снижения ударного шума перегрузочных устройств не будет решен вопрос снижения шумовой нагрузки на обслуживающий персонал, даже если в оборудовании будут использоваться эффективные средства снижения шума.

Анализ исследований и публикаций. Наиболее полно средства снижения шума при транспортировании материала представлены в работе А.В. Калмыкова и Л.Ф. Журбинского [1].

Приведены данные об уровнях шума при соударении кусков породы между собой (до 88 дБА) и ударов транспортируемого материала крупностью 100 мм о металлические поверхности (до 100 дБА).

В работе [1] рассмотрены различные типы футеровок и ряд конструкций перегрузочных устройств с элементами поглощения энергии удара.

Однако данных о частотных характеристиках снижения ударного шума и их связи с параметрами приведенных устройств не проводятся.

Актуальным остается задача исследования особенностей передачи и излучения ударного шума и определения наиболее эффективных из них с учетом условий эксплуатации на горнорудных предприятиях черной металлургии.

Постановка задачи. Целью работы являются экспериментальные исследования передачи ударного воздействия различными типами футеровок, которые наиболее широко обсуждаются в литературных источниках [1,4,5] и особенности излучения ими ударного шума.

Изложение материала и результаты. Данные о вредном воздействии производственного шума за последние 15 лет показывают [2,3], что проблема борьбы с шумом становится одной из наиболее актуальной.

Это определяется повышенными уровнями шума на большинстве рабочих мест при подготовке горнорудного сырья к обогащению, увеличением стажа работы, накопительным характером вредного воздействия шума, а также тем, что его последствия не поддаются лечению.

По данным статистического сборника «Праця України 2001 ...» в черной металлургии из 280 тыс. работников более 60 % работают в условиях, не удовлетворяющих требованиям санитарно-гигиеническим норм, из них более 36 % работают в условиях повышенных уровней шума [2].

Данные о состоянии профессиональных заболеваний, подготовленные институтом НИ-ИБТГ КНУ [3] показывают, что за период 2003-2007 гг. среди семи видов профессиональных заболеваний, в зависимости от различных отраслей в черной металлургии, число работников с тугоухостью составляет от 5,6 до 31,6 %.

Среди видов механического шума ударный шум занимает одно из первых мест, особенно в технологических процессах дробления кускового материала горнорудного сырья.

Признавая экономическую целесообразность гравитационного транспортирования, следует отметить, что при этом возникает необходимость использования десятка перегрузочных устройств, которые подвергаются ударам кусков руды крупностью от 1,0-1,5 м до 30 мм.

Удары о поверхности загрузочных устройств конвейеров, питателей, грохотов и дробилок приводят к излучению шума от 90 до 100 дБА.

На рис. 1 приведен пример проектных решений отделения дробления и грохочения, где используются более десяти перегрузочных устройств большинство из которых открытого исполнения.

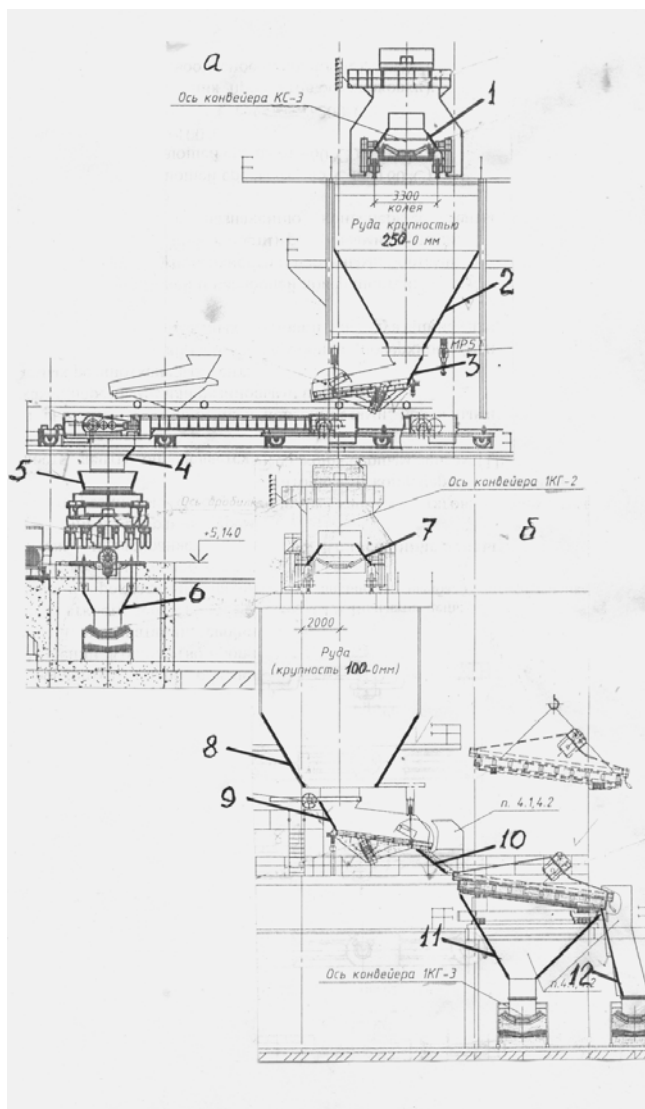


Рис. 1. Корпус второй стадии дробления *а* и корпус грохочения *б* т.1-12 - точки приложения ударных нагрузок

Основным средством защиты поверхностей от абразивного износа являются стальные пластины толщиной 20 мм.

Снижение передачи ударных нагрузок такими футеровками поверхностями перегрузочных устройств не превышает 4-6 дБ, а по мере износа футеровок не превышает 3 дБ.

Излучение такими пластинами внутрь перегрузочных устройств превышает 90-100 дБ.

Проектом предусмотрено, что для обеспечения эффективного транспортирования по перегрузочным устройствам падения кусков руды крупностью до 250 мм осуществляется с высоты 10 м в корпусе дробления, а корпусе грохочения руда крупностью до 100 мм падает с высоты от 10 до 5 м.

Данные об уровнях звукового давления и звука на площадках обслуживания различного типа оборудования представлены в табл. 1.

О некоторых особенностях излучения ударного шума элементами конструкций перегрузочных устройств, которые используются при гравитационном транспортировании отмечено в работе [4].

Показано влияние высоты падения кускового материала H , их массы m , угла установки элементов перегрузочных устройств α , площади излучающего элемента S и толщины пластины h , которая подвергается удару.

Таблица 1

Место расположения рабочей площадки	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								Уровни звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Уровни звукового давления, дБ									
На площадках загрузочных устройств дробилок:									
I, II стадии дробления	97	100	95	97	93	88	82	72	98
III, IV стадии дробления	104	100	101	104	101	98	92	85	106
На площадке разгрузочных устройств:									
грохотов	95	90	95	97	96	92	73	72	100
вибропитателей	110	93	92	90	88	86	78	62	94

Оценка влияния различных факторов на уровень ударного шума $L_{y\partial}$ может быть выполнена с использованием выражения

$$L_{y\partial} = 101g \frac{m^2(1+\gamma)H \cdot \sin \alpha}{\rho^{1.5} h^{2.5} E^{0.5} \cdot \eta \cdot S} + K, \quad (1)$$

где $\gamma=V_2/V_1$ - коэффициент восстановления; $V_1; V_2$ - скорость предупредного и послеударного взаимодействия; ρ - плотность материала пластины, кг/м^3 ; E - модуль упругости материала пластины, Н/м^2 ; η - коэффициент потерь материала пластины; K - постоянная, зависящая от нулевой величины структурных колебаний; S - площадь излучающей поверхности, м^2 .

В настоящее время для защиты поверхностей от интенсивного износа наиболее распространены футеровки, схемы которых приведены на рис. 2

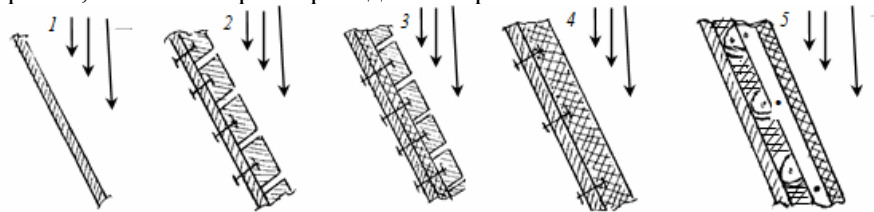


Рис. 2 Схемы футеровок (2-5) на несущем основании (1): 2 - стальная футеровка; 3 - футеровка на упругой прокладке; 4 - резиновая футеровка; 5 - футеровки в виде набора стальных и резиновых пластин

При оценке влияния на снижение ударного шума рассмотрено их способность снижать передачу удара на несущее основание, а также на собственное излучение ударного шума. Последнее важно при использовании перегрузочных устройств открытого типа.

Оценка эффективности таких конструкций выполнена по отношению к излучению несущего основания 1.

Данные об оценке снижения ударного шума в зависимости от параметров несущего основания и футеровок приведены в табл. 2.

Таблица 2

Схема	Параметр	Расчетное выражение
1	h_0	$\Delta L_{y0}=25lg \frac{h_2}{h_1}$ h_1 - первоначальная толщина h_2 -толщина после износа
2	$h_0 + h_{\phi}$	$\Delta L'_{y0}=15lg (1+h_{\phi}/h_0)$ h_{ϕ} - толщина стальной футеровки
3	$h_0 + h_{np} + h_{\phi}$	$\Delta L_{y0}=20lg \alpha + 10lg \frac{m_{\phi}}{m_{np}} - \Delta L'_{y0} - 3$
4	$h_0 + h_{p\phi}$	$\Delta L_{y0}=40lg f/f_0 - \Delta L'_{y0}$ для $150 \leq f \leq 1000$ Гц
5	$h_0 + h_{к\phi}$	$\Delta L_{y0}=20lg \alpha + 10lg \frac{m_{\phi}}{m_{np}} - \Delta L'_{y0} - 3$

где α - коэффициент формы элементов упругих прокладок; m_{ϕ} — масса единицы поверхности футеровки, кг/м^2 ; m_{np} - масса единицы поверхности упругой прокладки, кг/м^2 ;

Анализ данных, представленных в табл. 2, позволяет заключить следующее:

при выборе толщины несущей пластины величиной h_0 и увеличении ее в два раза величина снижения ударного шума не превышает $6 \div 7$ дБ во всем диапазоне частот;

при использовании стальной футеровки толщиной в два раза больше h_0 величины снижения ударного шума составит $7 \div 8$ дБ во всем диапазоне частот. При износе толщины футеровки до величины h_0 снижение ударного шума составит $4 \div 5$ дБ;

установка стальной футеровки толщиной $2h_0$ на упругую прокладку из мягких сортов резины позволит получить дополнительное снижение ударного шума по отношению к схеме 2 на 3 дБ с ростом до $4 \div 6$ дБ/октаву в диапазоне частот $f \geq 2f_0$, где f_0 - собственная частота колебаний футеровки на упругой прокладке;

применение резиновой футеровки толщиной $2h_0$ из износостойкой резины позволяет получить дополнительное снижение ударного шума по отношению к схеме 2 на $6 \div 8$ дБ на частоте 150 Гц с последующим ростом на величину $8 \div 10$ дБ/октаву до частоты 1000 Гц. На более высоких частотах эффективность резиновой футеровки остается постоянной и не зависит от ее толщины и частоты;

комбинированная футеровка по схеме 5, набранная из стальных и резиновых полос, которые выступают над стальными в плоскостях опирания и ударов, по эффективности соответствует схеме 4 с учетом изменения коэффициента формы α .

Дальнейшее повышение эффективности снижения ударного шума возможно при уменьшении высоты падения кускового материала, использовании промежуточных консольных жестких

балок с упругим креплением в месте заделки конца консоли и снижения передачи удара слоем руды мелких фракций.

Выводы и направление дальнейших исследований. 1. Представленные схемы футеровок и оценка их эффективности показывает, что не во всех случаях они обеспечивают требуемое снижение ударного шума при гравитационном транспортировании кускового материала, особенно, когда их размеры превышают 100 мм, а высота падения более 0,5 м.

2. Дальнейшие работы должны проводиться с целью создания модели перегрузочного устройства с использованием разделения потока по крупности и снижения передачи удара слоем мелких фракций материала, который транспортируется.

3. Представляет интерес исследования особенностей взаимодействия структурных колебаний пластин при взаимодействии на них воздушных звуковых колебаний и почти периодической последовательности ударов.

Список литературы

1. **Калмыков А.В.** Борьба с пылью и шумом на обогатительных фабриках. / **Калмыков А.В., Журбинский Л.Ф.** // -М.: Недра, 1984.-1984.-222 с.
2. **В.М. Сторожук.** Виробничий шум: природа та шляхи зниження. / За ред. канд. техн. наук **Джигиря В.С.** Навчальний посібник. - Київ: Основа, 2003.-384 с.
3. Звіт (заключний) по НДР до договору №24/09 від 12 червня 2008 р.- Кривий Ріг, НДІБПГ, 2008.-56 с.
4. **В.Д. Афанасьев.** О некоторых особенностях излучения и снижения ударного шума при гравитационном транспортировании кускового материала. / **В.Д. Афанасьев, А.М. Нечай, Н.А. Раченко** // Гірничий вісник. В. 95(1) ДВНЗ КНУ, Кривий Ріг.-с.244-248.
5. **Заборов В.И.** Защита от шума и вибрации в черной металлургии / **Заборов В.И. Клячко Л.Н., Росин Г.С.** //-М.: Металлургия, 1976.-248 с.: ил.

Рукопись поступила в редакцию 03.03.14

УДК 504.6: 534.83

В.Д. АФАНАСЬЕВ, канд. техн. наук, **Н.А. РАЧЕНКО**,
НИИБТГ Криворожский национальный университет
А.М. СТРАСБУРГЕР, ПАО «Криворожжелезрудком»

О ФОРМИРОВАНИИ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ ВОКРУГ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ

Приведены данные аналитических и экспериментальных исследований распространения инфразвуковых и звуковых колебаний, создаваемых центробежным вентилятором. Показано, что неравномерность излучения вдоль оси распространения воздушного потока приводит к увеличению уровня звука на 4 дБА по отношению к средним значениям вокруг диффузора вентиляторной установки, а против распространения потока на 8 дБА меньше.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Увеличение глубины добычи горнорудного сырья подземным способом приводит к необходимости увеличения вентиляторных установок главного проветривания шахт или использования более мощных вентиляторов. Одним из факторов, который приводит к ряду социальных проблем, является акустическое загрязнение территорий, выходящие за пределы санитарно-защитных зон для вентиляторных установок и которые не должны превышать зон с радиусом 100 м от центра диффузора вентиляторной установки.

Анализ исследований и публикаций. Известно [1-4], что основными причинами шума вентиляторов являются колебательные процессы воздушной среды (аэродинамический шум) и колебания элементов конструкций, обусловленные воздействиями элементов привода и колебаниями воздушного потока на корпус вентилятора (механический шум).

Для центробежных вентиляторов характерным в образовании аэродинамического шума является пульсация давления при нестационарном обтекании языка спирального кожуха вентилятора и элементов направляющего аппарата в момент прохождения мимо них лопаток колеса (низкочастотные составляющие спектра аэродинамического шума). Область широкополосного среднечастотного и высокочастотного шума определяется пульсациями скорости и давления

воздушного потока на твердых неоднородных поверхностях проточной части вентиляторной установки.

В отдельных случаях повышенный шум вентиляторов при малых окружных скоростях определяется взаимодействием низкочастотных пульсаций давлений с собственными частотами колебаний части объема вентиляционной сети (автоколебательный шум), составляющие которого могут попасть в область инфразвука. По данным исследований вентиляторов шахт Донецка [3] колебания в диапазоне частот 6÷25 Гц были вызваны неправильной установкой лопаток направляющего аппарата и наличием швеллеров-растяжек в кожухе на выходе из колеса. Результаты наших исследований показали, что на расстоянии $R=150$ м в диапазоне частот 2÷16 Гц уровни инфразвуковых колебаний вентиляторов типа ВЦД-31.5 М находятся в диапазоне 70÷63 дБ при предельно-допустимых 105 дБ в указанном диапазоне частот.

Постановка задачи. Решение задач обеспечения нормальных санитарно-гигиенических условий труда для горняков существенно зависит от эффективной системы вентиляции горных выработок, сложность которой повышается с увеличением глубины ведения горных работ. Серьезная проблема возникает при увеличении зон акустического загрязнения окружающей среды, которая может значительно превышать санитарно-защитную зону и захватывать зоны селитебной территории.

Поэтому, получение данных об особенностях формирования звукового поля вокруг вентиляторной установки является важной научной и социальной задачей, решение которой необходимо еще на стадии разработки.

Изложение материала и результатов. В качестве объекта исследований выбрана вентиляторная установка, выполнена по схеме, приведенной на рис. 1 [5].

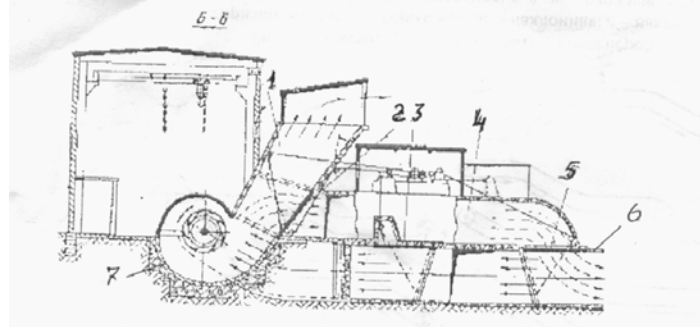


Рис. 1 Схема вентиляторной установки с вентилятором ВЦД-32М: 1 - диффузор; 2 - ляда диффузора; 3 - ляда переключения вентиляторов; 4 - обводной канал; 5 - ляда всасывающей будки; 6 - подводный канал; 7 - вентилятор

Она располагается на сравнительно небольшой площади, что достигнуто за счет расположения обводного канала под подводным и отклонением диффузора вверх от горизонта под

углом 60° вместо горизонтального по обычно принятым схемам.

Предусмотрено расположение надстройки над диффузором с ориентированием выброса воздуха формированием фронта звуковых волн в $1/4$ сферическое пространство. Дополнительно за надстройкой расположено здание вентиляторной установки, которое выше диффузора на 5 м и также является экраном, отражающим звуковые волны в $1/4$ сферического пространства. Высота среза диффузора над уровнем промплощадки достигает 12,5 м.

Известно [3-6], что амплитудные составляющие шума центробежных вентиляторов определяется соотношением радиального зазора между кромками колеса и языком улитки вентилятора, а также шагом лопаток.

Основной шумовой характеристикой вентиляторов является звуковая мощность, которая определяется из выражений

$$L_p = L + 10 \lg Q + 25 \lg H - 25, \quad (1)$$

где L - критерий шума, имеющий смысл уровня звуковой мощности вентилятора при производительности $1 \text{ м}^3/\text{с}$ и полном давлении 1 Па ; Q - производительность вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$; H - полное давление вентилятора, Па.

Для построения частотной характеристики уровней звуковой мощности спектральных составляющих L_p использовано выражение и значение критерия шума в виде эмпирической зависимости

$$L = 105 - 25 \lg f, \quad (2)$$

где f - среднегеометрическая частота октавных полос, Гц.

В октавных полосах частот уровней звуковой мощности аэродинамического шума центробежных вентиляторов следует выделить максимальные составляющие на частотах

$$f = mnz / 60, \quad (3)$$

где $m = 1, 2$; n - частота вращения колеса вентилятора, об/мин; z - число лопаток колеса.

Исследованы особенности излучения шума при изменении режима работы вентилятора ориентировочно со следующими значениями Q и H :

для $n=300$ об/мин: $Q = 93 \text{ м}^3/\text{с}$; $H=760$ Па; $\varphi=0^\circ$;

для $n=600$ об/мин: $Q = 148 \text{ м}^3/\text{с}$; $H=2300$ Па; $\varphi=60^\circ$.

Увеличение звуковой мощности за счет такого изменения Q и H согласно выражения (1) составляет 14 дБ.

Для изучения распределения звуковой энергии в различных диапазонах частот приведены исследования влияния различных факторов на спектральные составляющие шума вентилятора. Сравнительные данные об уровнях звукового давления вентиляторов ВЦД 3,2 и ВЦД 31,5М приведены в табл. 1.

Таблица 1

Уровни звукового давления и уровни звука вентиляторов ВЦД 3,2 и ВЦД 31,5 М на промплощадке

Место измерений	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц									Уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Уровни звукового давления, дБ									
ВЦД 3,2; на расстоянии 20÷30 м [3]	88	89	87	86	82	79	75	68	60	83
ВЦД 31,5М; на расстоянии 45 м	77	91	83	74	70	71	64	57	54	76
	85	97	88	81	73	71	70	63	55	77

На рис. 3 представлены спектры звукового давления, измеренные на промплощадке ВУГП ВЦД 31,5М для различных значений n и угла установки лопаток направляющего аппарата φ . Характерным в спектрах является максимальная составляющая на 40 Гц для $n=300$ об/мин и 80 Гц для $n=600$ об/мин.

Увеличение числа оборотов от 300 до 800 об/мин привело к росту уровней звукового давления до 15 дБ практически во всем диапазоне частот от 125 Гц до 8000 Гц.

Спад уровней звукового давления в диапазоне частот 250÷8000 Гц составляет 5,7 дБ/октаву.

Изменение максимума в спектре уровней звукового давления от 40 Гц до 80 Гц происходит за счет изменения числа оборотов рабочего колеса вентилятора n , имеющем 8 лопаток от 300 об/мин до 600 об/мин.

Это приводит к повышению восприятия звуковых колебаний (рис.2). Для кривой равной громкости с уровнем 40 фон восприятия при 40 Гц составляет 77 фон, а на частоте 80 Гц - 63 фон, т.е. на 14 дБ возросло восприятие звуковых колебаний.

Для учета влияния Q и H на величины изменений уровней звуковой мощности или уровни звукового давления использовано выражение

$$\Delta L_p(\Delta L) = \Delta Q + \Delta H = 10 \lg Q + 25 \lg H \quad (4)$$

для значений Q , H и φ при $n=600$ об/мин, полученных в результате исследований шума вентилятора ВЦД 31,5М в производственных условиях.

Результаты измерений и расчетов приведены в табл. 2.

Результаты расчетов показывают, что изменение Q и H за счет изменения угла установки направляющего аппарата φ приводит к изменению уровней звуковой мощности в пределах 2÷3 дБ.

Таблица 2

Данные для определения диапазона изменений ΔL_p или ΔL

φ , град	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$H, \text{ Па}$	$10 \lg Q, \text{ дБ}$	$25 \lg H, \text{ дБ}$	$\Delta L_p(\Delta L), \text{ дБ}$	$\Delta Q/\Delta H$	$\Delta Q/\Delta L_p$
0	196	2740	22,9	86,00	108,90	26,62	21,03
40	184	2490	22,6	84,75	107,35	26,67	21,05
40	200	2700	23,0	85,75	108,75	26,82	21,15
60	148	2300	21,7	84,00	105,70	25,832	20,52

Результаты исследований позволяют заключить следующее:

изменение угла установки лопаток направляющего аппарата φ от 0° до 45° приводит к увеличению уровней звукового давления в пределах $2 \div 3$ дБ;

изменение числа оборотов от 300 об/мин до 600 об/мин приводит к росту уровней звукового давления на $10 \div 15$ дБ в диапазоне частот от 125 Гц до 8000 Гц;

максимальные составляющие в спектрах звукового давления для $n=600$ об/мин находятся в октавной полосе со среднегеометрической частотой 63 Гц (на частоте 80 Гц). Спад уровней с увеличением частоты находится в пределах $5,6 \div 5,7$ дБ/октаву в диапазоне частот $63 \div 4000$ Гц;

с увеличением расстояния от 45 м до 200 м уровни звукового давления на частоте 63 Гц изменяются от 82 дБ до 74 дБ, а при увеличении расстояния до 850 м до 62 дБ.

На основании данных аналитических и экспериментальных исследований построены спектры звуковой мощности центробежного вентилятора со стороны нагнетания для $Q=90$ м³/с, $H=700$ Па, $n=300$ об/мин, $z=8$, а также уровни звуковой мощности вентиляторов ВЦД 31,5М (по результатам натурных измерений) и ВЦД 31,5М (заводские данные) для $n=600$ об/мин.

Использование представленных данных позволило представить шумовые характеристики вентиляторов ВЦД 31,5М в виде спектров уровней звуковой мощности в диапазоне частот $63 \div 8000$ Гц.

В диапазоне до 200 Гц просматривается влияние тональных составляющих, которые определяются особенностями взаимодействия лопаток рабочего колеса с языком улитки вентилятора.

Спектры звуковой мощности также подтверждают существенное влияние числа оборотов колеса на уровни звуковой мощности.

Повышение уровней звуковой мощности до $14 \div 15$ дБ в диапазоне частот от 250 Гц при изменении числа оборотов от 300 до 600 об/мин.

Одним из важных показателей, которые определяют формирование звукового поля вокруг источника шума, является коэффициент направленности [6, 7]

$$\Phi = P^2 / P_{cp}^2, \quad (5)$$

где P - звуковое давление в заданном направлении на расстоянии R от источника шума, Н/м²; P_{cp} - звуковое давление от данного источника, усредненное по всем направлениям, на том-же расстоянии от него, Н/м².

Неравномерность излучения источника шума выражается также показателем направленности

$$L_\Phi = 10 \lg \Phi = L - L_{cp}, \quad (6)$$

где L - уровни звукового давления излучателя шума в заданном направлении на расстоянии R , дБ; L_{cp} - усредненный уровень звукового давления на расстоянии R по заданным направлениям.

При определении показателя направленности излучаемого объекта приняты следующие условия:

измерения уровней звукового давления выполнены по направлениям $1 \div 4$, показанным на рис. 2.

В качестве исходных использованы данные об уровнях звукового давления для $R=400$ м;

при расчетах использованы результаты измерений уровней звукового давления для $R=50$ м по указанным направлениям;

принято, что ослабления уровней звукового давления от $R_1=50$ м до $R_2=400$ м происходит по закону $\Delta L=6$ дБ/2R, что соответствует условию распространения звуковых волн в открытом пространстве (рис. 2).

Данные для расчета L_Φ по принятым направлениям приведены в табл. 3.

Отличие данных расчетных и измеренных уровней звука определяется звукопоглощением зеленых насаждений и отражением от зданий и сооружений (направления 2,3 и 4) и экранирования зданием вентиляционной установки и другими сооружениями (направление 1).

Таблица 3

К расчету показателя направленности

Направление	Уровни звука, дБА (R=50 м)	Уровни звука, дБА (R=400м, расчетная)	Уровни звука, дБА (R=400 м, измеренные)	Средний уровень звука, дБА (R=400 м)	Разность уровней $L-L_{cp}$, дБА
1	61	43	40	51,46	-8
2	54	49	49		-2
3	74	56	58		4
4	54	49	49		-2

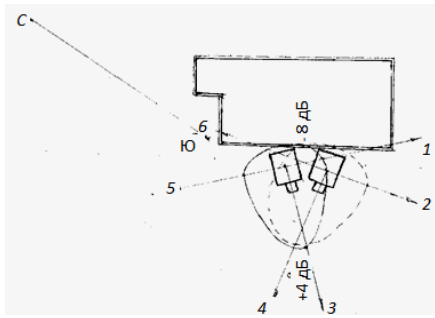


Рис. 2. Формирование показателя направленности для действующей вентиляторной установки

Результаты измерений и расчетов показывает (рис. 3), что в направлении 3 происходит концентрация звуковых колебаний и повышения уровня звука на 4 дБА по отношению к средним значениям вокруг диффузора вентиляторной установки.

В направлении 2 и 4 уровни звука на 2 дБА ниже, чем средние.

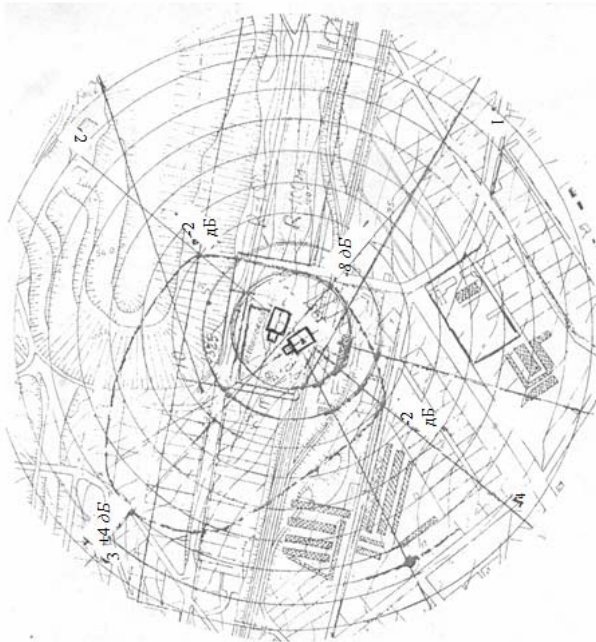


Рис.3. Диаграмма формирования фронта звуковых колебаний вентиляторной установки ВЦД 31.5М на селитебной территории: - по направлению 1- $L_{\phi}=-8$ дБ; по направлению 2 и 4- $L_{\phi}=-2$ дБ; по направлению 3- $L_{\phi}=\pm 4$ дБ

В направлении 1 уровни звука на 8 дБА ниже, чем средние. Данное определилось направленностью фронта звуковых волн за счет сооружения над диффузором, излучением звуковых колебаний в $\frac{1}{4}$ сферы, а также экранированием звуковых волн зданием вентиляционной установки.

Выводы. Рассматриваемая компоновка выполнения вентиляторной установки с точки зрения ее шумовых характеристик является наименее удачной по следующим причинам:

увеличенной высотой выброса воздушного потока и формирования фронта звуковых колебаний. Что затрудняет использова-

ние акустического экранирования;

созданием акустического излучателя с повышенным показателем направленности со стороны направленного излучения звуковых волн в $\frac{1}{4}$ сферы.

Даже при использовании в конструкции вентилятора ВЦД 31.5 М колеса с загнутыми назад лопатками он является источником повышенных уровней звукового давления в помещении вентиляторной установки и на промплощадке в пределах радиуса санитарно-защитной зоны с радиусом $R=100$ м.

Величина акустического загрязнения селитебной территории достигает величины с радиусом $R \geq 1500$ м для открытого пространства и до величины с радиусом $R=1000$ м при наличии зеленых насаждений, зданий и сооружений.

Данные об особенностях излучения инфразвуковых и звуковых колебаний вентиляторных установок главного проветривания шахт позволяет на стадии разработки вентиляторов и проектирования предусмотреть еще до выбора активных средств снижения шума:

оценить влияние на окружающую среду и жилые территории более мощных вентиляторов с увеличенным диаметром рабочего колеса и пониженным числом оборотов и особенно повышенное излучение инфразвуковых и низкочастотных составляющих воздушных колебаний;

поставить вопрос о более детальном исследовании низкочастотных колебаний на психическое состояние жителей поселков, территорий которых постоянно приближаются к границе санитарно-защитных зон на территории вентиляторных установок;

начать поисковые работы по определению методов и средств эффективных средств низкочастотных колебаний в воздушной среде.

Список литературы

1. Физика аэродинамических шумов. Сб. науч. статей под ред. докт. физико-математ. наук, профессор А.В. Римского-Корсакова. Акустич. институт АН СССР, -М.: Наука, 1967.-106 с.: ил.

2. В.Д. Афанасьев. Методы борьбы с шумом и вибрациями в горнорудной промышленности. / В.Д. Афанасьев, А.А. Животовский, В.Ф. Калинин, Б.Я. Конограй//Под ред. к.т.н. В.П. Трофимова.- УкрНИИ НТИ -1969, -40 с.,-ил.
3. Г.А. Хорошев. Борьба с шумом вентиляторов. / Г.А. Хорошев, Ю.И. Петров, Н.Ф. Егоров //- М.: Энергоиздат, 1981.-144 с., ил.
4. Юдин Е.Я. Борьба с шумом шахтных вентиляторных установок. / Юдин Е.Я., Терехин А.С. // -2-е изд. перераб. и доп. -М.: Недра. 1985.-191 с., ил.
5. Ивановский И.Г. Шахтные вентиляторы. Ивановский И.Г. /Учеб. Пособие //.—Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2003. – 196 с. ил. 86, табл. 7.
6. Заборов В.И. Защита от шума и вибрации в черной металлургии. / Заборов В.И., Клячко Л.Н., Росин Г.С. // -М.: Металлургия,-1976.-248 с., ил.
7. Борьба с шумом. Под ред. д-ра техн. наук проф.Б.Я. Юдина.-М.: Стройиздат.-701 с.: ил.

Рукопись поступила в редакцию 03.03.14

УДК 621.311

И.О. СИНЧУК, канд. техн. наук, доц., А.О. АНТОНЕНКО, аспирант
Криворожский национальный университет

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ШАХТАХ

Выполнен анализ организационных мероприятий и технических решений, направленных на улучшение показателей качества электроэнергии при питании потребителей железорудных шахт. Задача работы заключается в доказательстве следующей мысли: для достижения необходимого уровня качества электроэнергии недостаточно лишь наличия необходимого измерительного оборудования. Определяющим фактором в этом вопросе является разработка и внедрение комплекса технико-организационных мероприятий, направленных на реальное повышение качества электроэнергии, передаваемой потребителям. Приведена структура и места проведения мероприятий по повышению качества электроэнергии. В ходе анализа указанных мероприятий показано, что в первую очередь необходимо определить причины недопустимого снижения качества электроэнергии. После этого следует наметить возможные пути улучшения качества энергии и провести их технико-экономический анализ, по результатам которого и принимать необходимые меры.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Контроль качества электроэнергии является одним из важнейших принципов эффективного энергоснабжения промышленных потребителей. Но надлежащее внимание данному вопросу начало уделяться лишь с появлением на рынке сертифицированных измерительных приборов [2,14]. Как показывают исследования, контроль качества электроэнергии на промышленных предприятиях, в том числе на железорудных шахтах и рудниках, есть недостаточным [1,8]. Железорудные шахты относятся к крупным потребителям электроэнергии, и являются важнейшими промышленными предприятиями страны. Поэтому нельзя допустить снижение качества их электроснабжения, в том числе и с точки зрения показателей качества электроэнергии [4,9].

Анализ исследований и публикаций. Исследования работ по данной теме показывают, что основное внимание при разработке методик повышения ПКЭ, уделяется высоковольтным общепромышленным электрическим сетям [1]. В то время как уровни напряжения 10, 6, 0.4 кВ являются основными для железорудных шахт и требуют более глубокого анализа. Также имеет место тот факт, что на промышленных предприятиях в большинстве случаев осуществляется лишь постоянный контроль частоты и напряжения на шинах понижающих подстанций; остальные параметры качества электроэнергии (ПКЭ) не всегда контролируются [4].

Постановка задачи. На большинстве предприятий при проектировании питающих электрических сетей в основном рассматриваются вопросы совместимости электрооборудования, вопросам же нормализации ПКЭ внимание практически не уделяется. Целью работы есть раскрытие следующей мысли: для достижения удовлетворительного уровня контроля регулирования ПКЭ недостаточно просто наличия необходимого измерительного оборудования. Основным фактором в этом вопросе является разработка и внедрение комплекса технико-организационных мероприятий, направленных на реальное повышение качества электроэнергии, передаваемой потребителям.

Изложение материала и результаты. Контроль параметров электроэнергии проводится с целью проверки соответствия значений показателей нормам соответствующих стандартов [3,5]. При несоответствии ПКЭ нормативным требованиям на основании результатов контроля устанавливаются причины несоответствия и разрабатываются мероприятия, направленные на нормализацию параметров качества [15]. Результаты контроля позволяют также проверить соответствие проектных расчетов фактическим данным эксплуатации, рассчитать параметры технических средств, предназначенных для улучшения ПКЭ, а также разработать необходимые эксплуатационные мероприятия [1]. Контроль ПКЭ, как и других режимных параметров, осуществляется постоянно или периодически. Основные положения по контролю и анализу КЭ устанавливаются стандартами на качество электроэнергии [3]. Для производства измерений используются специальные приборы, определяющие статистические характеристики ПКЭ за период изменения [8,14]. В настоящее время промышленные предприятия Украины не в достаточной мере обеспечены такими приборами. Это обстоятельство значительно препятствует решению задачи повышения качества электроэнергии (КЭ) на предприятиях, в том числе и железорудных.

Контроль КЭ производится на границе раздела балансовой принадлежности электрических сетей энергоснабжающей организации и потребителя или в других пунктах сети, принятых по согласованию между энергоснабжающей организацией и потребителем, в эксплуатационных режимах, соответствующих нормальному и длительному ремонтному схемам электроснабжения [5]. В качестве пунктов контроля отклонения напряжения выбирают шины центра питания и границы раздела электрических сетей электроснабжающей организации с потребителями. Длительность измерений при контроле отклонения напряжения для предприятий с непрерывным производством должна составлять – не менее одних суток; во всех остальных случаях – не менее двух рабочих и один не рабочих суток. При наличии теле-механизированного диспетчерского пункта нужно реализовать постоянное телеизмерение напряжений на контролируемых пунктах [6].

При нестабильном графике нагрузки необходим эпизодический контроль отклонения напряжения на шинах наиболее ответственных потребителей [7]. В объем мероприятий по контролю отклонения напряжения включается также периодический контроль уставок авторегуляторов напряжения, трансформаторов возбуждения и синхронных двигателей.

В качестве пунктов контроля напряжения выбираются крупные подстанции предприятия, измерения производятся на шинах высшего напряжения главных понижающих подстанций (ГПП) и главных распределительных пунктов (ГРП) при подключении новых резкопеременных нагрузок.

Следует отметить, что в проектах электроснабжения не всегда учитываются требования, связанные с обеспечением КЭ. При рассмотрении проектной документации руководство предприятий должно настаивать на том, чтобы соответствующие нормативы были учтены.

Энергетические службы предприятий должны обеспечивать КЭ на границе раздела балансовой принадлежности электрических сетей в соответствии с договором на пользование электроэнергией, что в ряде случаев затруднительно при существующей системе электроснабжения.

В последнем случае необходимо составить техническое задание и потребовать от генерального проектировщика разработки проектной документации на комплекс мероприятий по нормализации ПКЭ.

Необходимость контроля и нормализации ПКЭ [10] не влечет за собой перестройку организационной структуры управления энергохозяйством. При системе децентрализованного управления оперативные вопросы улучшения КЭ, возникающие в процессе эксплуатации, должны решаться дежурным персоналом цеха сетей и подстанций. Если распределительные устройства крупных цехов находятся полностью в ведении энергетика или электрика цеха, должна быть обеспечена передача персоналу электроцеха необходимой информации о значениях ПКЭ. На предприятиях, где уже организована централизованная система управления энергохозяйством, эти вопросы должен полностью решать дежурный персонал электроцеха. Все эти случаи недопустимых отклонений ПКЭ от нормированных пределов, а также последствия этих отклонений для предприятия должны быть подробно описаны персоналом в сменных журналах; результаты анализа этих случаев, а также рекомендуемые мероприятия по нормализации КЭ должны быть пояснены персоналу.

Энергетическому бюро или соответствующей ему службе отдела главного энергетика необходимо пересмотреть должностные и другие инструкции для эксплуатационного персонала, включив в круг обязанностей начальников смен и дежурных инженеров обеспечение контроля КЭ и реализацию мероприятий по нормализации соответствующих значений ПКЭ. В инструкциях должны быть указаны также виды контроля, периодичность, методы и средства проведения, лица, осуществляющие контроль, и необходимые мероприятия по технике безопасности. Для осуществления контроля должен привлекаться также персонал электротехнических лабораторий.

Рациональной формой контроля является централизованный диспетчерский контроль, осуществляемый дежурным диспетчером с теле-механизированного диспетчерского пункта. На пульте диспетчера устанавливаются приборы для постоянного телеизмерения контролируемых параметров КЭ.

Оборудование диспетчерского пункта устройствами телеуправления, позволяющими осуществлять дистанционное управление специальными корректирующими устройствами улучшения КЭ, не целесообразно.

На ряде крупных предприятий при отделе главного энергетика или электроцехе созданы группы расчетов режимов электрических сетей, в обязанности которых входит выполнение расчетов токов короткого замыкания (КЗ) и уставок релейных защит, устойчивости генераторов и электродвигателей, определение параметров различных регулирующих устройств.

Также должны приводиться расчеты, необходимые для нормализации ПКЭ [12,13], разрабатываться рекомендации по созданию нормальных и ремонтных схем электроснабжения, при которых обеспечиваются требуемые значения ПКЭ. Необходимо также организовать обучение персонала вопросам нормализации КЭ. На рис. 1 приведена структура мероприятий по обеспечению КЭ [1,2].

В конкретных условиях взаимное влияние электрических сетей (ЭС) и потребителей, а также влияние их на ПКЭ могут быть весьма сложными, в связи с чем однозначное решение применить во всех случаях не удастся. Все особые случаи должны быть оговорены в договоре на пользование электроэнергией.

В планы организационно-технических мероприятий по снижению потерь электроэнергии, ежегодно составляемые на предприятиях, целесообразно включать также эксплуатационные мероприятия по улучшению КЭ.



Рис.1. Структура мероприятий по обеспечению качества электроэнергии

К ним могут относиться, например, пересмотр нормальных и ремонтных схем электроснабжения, выбранных ответвлений на трансформаторах, установление рациональных режимов возбуждения синхронных двигателей, перераспределение однофазных нагрузок, оборудование фильтрокомпенсирующих (ФКУ) и ряд других устройств [11].

Вывод. В данной работе рассматриваются организационные мероприятия и технические решения, направленные на улучшение показателей качества электроэнергии, при электроснабжении железнодорожных шахт.

Установлено, что при разработке организационно-технических мероприятий, направленных на улучшение качества энергии, необходимо прежде всего выявить причины его понижения (недопусти-

мо большие потери напряжения в сети, дефицит реактивной мощности в узле нагрузки, неправильный закон регулирования напряжения, неправильный выбор ответвлений обмоток цеховых трансформаторов, неравномерное распределение нагрузок по фазам и т. п.). После этого следует наметить возможные пути улучшения качества энергии и провести их технико-экономический анализ, по результатам которого и принимать необходимые меры.

Список литературы

1. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. - М.: Энергоатомиздат, 2000. - 252 с.
2. Кузнецов В.Г., Григорьев А.С., Лысенко А.Т. Симметрично-компенсирующие устройства для изменяющихся несимметричных электротехнологических нагрузок // Промышленная энергетика. 1992. № 7-8. С.37-41.
3. ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2012. – 16 с.
4. Качество электрической энергии горных предприятий: монография / Н.М. Кузнецов, Ю.В. Бебихов, А.В. Самсонов, А.Н. Егоров, А.С. Семенов. – М.: Издательский дом Российской Академии Естествознания, 2012. – 68 с.
5. Правила присоединения потребителя к сети общего назначения по условиям влияния на качество электроэнергии // Промышленная энергетика 1991. №8. С.45-48.
6. Кузнецов Н.М., Семенов А.С. Система мониторинга показателей качества электроэнергии на горных предприятиях // Энергосбережение, электромагнитная совместимость и качество в электрических системах: сборник статей III Международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2012. – С. 35-37.
7. Искажение формы питающего напряжения в сетях электроснабжения при наличии полупроводниковых преобразователей / А.Е. Козярук, Н.М. Кузнецов, О.В. Федоров, А.О. Свириденко // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. -№6. – С. 30-35.
8. Оценка работы фильтров в системах электроснабжения горнодобывающих предприятий по результатам контроля качества электроэнергии / А.Е. Карташев, В.Н. Тульский, Н.М. Кузнецов, М.Г. Симуткин, Р.Р. Насыров // Горное оборудование и электромеханика. – 2012. - №7. – С. 16-19.
9. Проблемы установления ответственности за ухудшение качества электрической энергии и пути их решения / В. С. Соколов, М. А. Ермилов, А. В. Серков и др. - Промышленная энергетика, 2000, № 8.
10. Белоусов В. Н., Железко Ю. С. Отражение в договорах на электроснабжение вопросов качества электроэнергии и условий потребления и генерации реактивной энергии. — Промышленная энергетика, 1998, № 11.
11. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. М.: Энергоатомиздат, 1985.
12. Зыкин Ф.А. Определение степени участия нагрузок в снижении качества электроэнергии // Электричество. 1992. №11. С. 13-19.
13. Музиченко О.Д. Сучасний стан та шляхи встановлення відповідальності приймачів за погіршення якості електричної енергії // Технічна електродинаміка. 1998. №1. С. 61-65.
14. Птицын О.В. Аппаратные средства контроля качества электрической энергии // Промышленная энергетика. 1999. №5. С. 41-42.
15. Яценко А.А., Кошелева Д.Н., Овчинникова Г.М. Атлас технических предложений по обеспечению качества и эффективности преобразования энергии в системах электроснабжения промышленных предприятий. Тольятти: Изд-во Тольяттинского политехнического института. 1990.

Рукопись поступила в редакцию 11.03.14

УДК 621.316

О.Н. СИНЧУК, д-р техн. наук, проф., И.И. ПЕРЕСУНЬКО, аспирант
Криворожский национальный университет

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ШАХТ И ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В статье приведен обзор существующих основных показателей электроэнергии на горнопромышленном предприятии. Цель работы показать, что существует проблема качества электроэнергии на шахтах что ведет к снижению энергоэффективности предприятия. И предложено решение проблемы осуществить переход на более высокий уровень напряжения распределительных сетей. Повышение напряжения, как правило, улучшает технико-экономические показатели системы электроснабжения предприятия, одновременно улучшается и качество электроэнергии у потребителей.

Ключевые слова: отклонение напряжения, колебание напряжения, качество электрической энергий.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Основным решением проблемы электроснабжения горных предприятий является соблюдение безопасности, обеспечения оптимальной надежности в схемах, обеспечение электроприемников (ЭП) необходимым качеством питающего напряжения во всех режимах работы старого и нового горнотранспортного оборудования и, кроме того, утвержденная система электроснабжения должна быть экономически наиболее выгодна.

Наиболее эффективным решением проблемы является повышение качества напряжения для старого и нового горнотранспортного оборудования. Требуется осуществить переход на

более высокий уровень напряжения распределительных сетей. Повышение напряжения, как правило, улучшает технико-экономические показатели системы электроснабжения предприятия, одновременно улучшается и качество электроэнергии у потребителей.

Анализ исследований и публикаций. В литературе обсуждаются различные способы повышения качества питающего напряжения при основных показателях электроэнергии [1,2,6].

Были предложены различные решения по надежности электроснабжения в значительной степени зависят от качества электроэнергии ЭП [5,6]. В данной работе решаются вопросы оценки и улучшения показателей качества электроэнергии как при эксплуатации, так и на стадии проектирования систем электроснабжения горизонтов железорудных шахт.

Цель исследований. Возможность передачи большей мощности и лучшего качества напряжения по кабельным линиям меньшего сечения и снижении потерь электроэнергии при переходе на перспективные уровни напряжения для нового электрооборудования железорудных шахт.

Изложение материала и результаты. Качество электроснабжения определяется эксплуатационной надежностью и качеством электроэнергии в сетях. В то же время, как показывают результаты проведенных исследований, надежность электроснабжения в значительной степени зависит от качества электроэнергии у шахтных потребителей [1,3,4,6].

В данной работе решаются вопросы оценки и улучшения показателей качества электроэнергии как при эксплуатации, так и на стадии проектирования систем электроснабжения горизонтов железорудных шахт.

Качество электроэнергии оценивается рядом показателей [6]. Согласно к ним относятся отклонения и колебания - напряжения и частоты; несимметрия напряжения промышленной частоты и искажение синусоидальной формы кривой напряжения. Нормированные значения показателей качества электроэнергии не должны быть превышены с интегральной вероятностью $P_i > 0,95$.

Для заданных пределов изменения показателя последнее требование представляется в виде неравенства

$$P[x_{i \text{ мин}} \ll x_i \ll x_{i \text{ макс}}] \ll 0,95.$$

где x_i - значение рассматриваемого i -го показателя качества электрической энергии.

Наиболее распространенные электроприемники шахтного оборудования - асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, величина максимального момента которых прямопропорциональна квадрату напряжения и обратно пропорциональна квадрату частоты. При напряжении в шахтных сетях, отличном от номинального, кратность максимального момента определяется

$$b_i = b_n \frac{K_{U_i}^2}{K_f}$$

где K_{U_i}, K_f - кратность, соответственно, частоты и действующего значения напряжения к номинальному; b_n - кратность максимального перегрузочного момента.

Отклонение частоты: определяется алгебраической разностью фактическим и номинальным значениями частоты при медленных изменениях (приращениях)

$$\Delta f = \Delta f_{\text{ф}} - f_n \quad \text{или} \quad \Delta f\% = \frac{f_{\text{ф}} - f_n}{f_n}.$$

Допускают отклонение частоты в пределах $\pm 0,2\%$ ($+0,1$ Гц); временная работа систем допускается с изменениями частоты в энергосистеме $+0,4\%$ ($+0,2$ Гц). В системе электроснабжения возможны также кратковременные быстрые колебания частоты, которые не должны превышать $0,2$ Гц сверх допустимых значений частоты. В аварийном положении при резком снижении частоты предусматривается автоматическая частотная разгрузка (АЧР), отключающая менее ответственные потребители в порядке заранее усиленной очередности.

Шахтные потребители практически не могут влиять на регулирование частоты в системе, поэтому показатели качества частоты подлежат анализу и исследованиям при решении вопросов обеспечения надежности электроснабжения питающих сетей энергосистем. Остальные показатели качества электрической энергии зависят, главным образом, от индивидуальных осо-

бенностей ЭП, режима электропотребления, а также правильного выбора средств и законов регулирования.

С целью комплексного решения вопросов оптимизации электроснабжения подземных потребителей, на железорудных шахтах Кривбасса будут проведены исследования путем производства измерений каждого из показателей качества электроэнергии, главным образом, режимных показателей качества напряжения; изменения значений которых, в основном зависят от специфики работы электроприводов выемочно-доставочного и проходческого оборудования. При исследовании показателей качества напряжения также проанализированы причины, влияющие на: изменение указанных критериев оценки и их воздействие на работу шахтных электропотребителей.

Одним из важнейших режимных показателей качества напряжения, вызывающим наибольшее влияние на эффективность работы ЭП, является отклонение напряжения δU_i . В связи с этим при исследовании особое внимание уделяется анализу режимов напряжения, с выполнением конкретной задачи при проведении исследования δU_i . - получением и обработкой информации.

Система электроснабжения железорудной шахты имеет большую разветвленность распределительных сетей, что затрудняет сбор необходимой информации. В этой связи существенным является выбор метода проведения экспериментальных исследований и правильность его технического обеспечения.

Отклонение напряжения. Под ним понимают медленное (статическое) изменение напряжения со скоростью менее 1 % в секунду, вызванное изменением нагрузки во времени. Оценивается отношением разности между фактическим напряжением сети U_c и номинальным напряжением к номинальному напряжению $U_{ном}$, выраженным в процентах

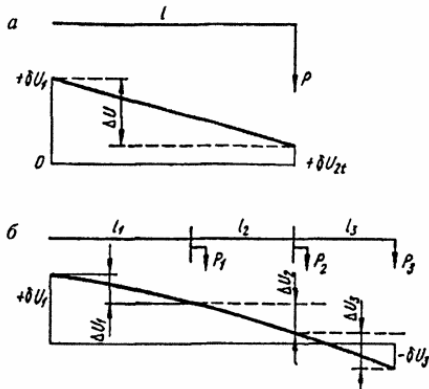
$$V = \frac{U_c - U_{ном}}{U_{ном}} 100.$$

Отклонение напряжения может быть положительным, если $U_c > U_{ном}$ и отрицательным, если $U_c < U_{ном}$.

Если известно отклонение напряжения в начале линии V_1 и потеря напряжения в линии ΔU , то отклонение в конце линии в момент времени t можно определить как (рис. 1)

$$U_{2t} = U_{1t} - \Delta U.$$

Рис. 1. Отклонение напряжения в конце линии: а - один участка; б - три участка



При n участков в сети отклонение напряжения в конце последнего участка, будет

$$V_{nt} = V_{1t} - \sum_1^n \Delta U_t.$$

На рис. 1б линия представлена тремя участками и отклонение напряжения V_{3t} , - отрицательное.

Если в сеть включены регулирующие устройства, то к отклонению напряжения в начале сети необходимо прибавить добавочные напряжения, создаваемые этими устройствами. Тогда отклонение в любой точке сети будет

$$V_{nt} = \sum V_t - \sum_1^n \Delta U_t$$

Колебание напряжения. Быстро протекающее кратковременное изменение напряжения (со скоростью более 1 % в сек) называют колебанием напряжения. Оно оценивается размахом и частотой изменения напряжения, а также интервалом времени между изменениями. Размах изменения напряжения δU (рис. 2) определяется разностью между следующими друг за другом наибольшими U_{max} и наименьшими U_{min} действующими значениями напряжения т.е.

$$\delta U = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{ном}} 100.$$

Другой оценкой колебания напряжения служат частота изменения напряжения

$$F = \frac{m}{T} \left(\frac{1}{c}; \frac{1}{\text{МИН}}; \frac{1}{\text{У}} \right)$$

где m - количество изменений напряжения со скоростью изменения более 1 % в сек за время T и интервал Δt (рис. 3) между следующими друг за другом изменениями напряжения.

Колебания напряжения дополнительно можно оценить *глубиной провала* напряжения по формуле

$$\delta U_{\text{п}} = \frac{U_{\text{НОМ}} - U_{\text{min}}}{U_{\text{НОМ}}} 100.$$

где U_{min} - минимальное действующее напряжение в течение провала напряжения.

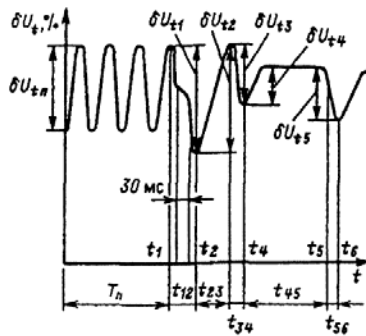


Рис. 2. Размах изменения напряжения

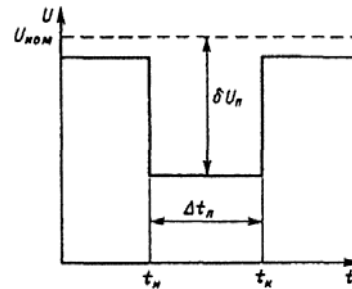


Рис. 3. Глубина провала напряжения

Устанавливаемый допустимый диапазон отклонений напряжения, не должны выходить за пределы -5% , $+10\%$ у электродвигателей и аппаратов их пуска и управления. Для электрических ламп и прожекторных установок повышение напряжения не должно быть более $+5\%$, а снижение не более $-2,5\%$ для внутреннего освещения предприятий и не более -5% для освещения жилых домов, На зажимах остальных ЭП допускаются отклонения напряжения в пределах $\pm 5\%$ номинального [6,7].

Указанные нормативы основаны на опыте развития электроэнергетики многих стран и являются компромиссными границами оптимальности режима напряжения для сети и совокупности ЭП.

По результатам ряда работ установлено, что для большинства ЭП и питающей сети более экономичны отрицательные, а не положительные отклонения напряжения (в пределах норм). Например, в США “благоприятный” диапазон δU равен $+4\%$, -8% .

Верхнее предельное значение напряжения ограничивается, величиной, при которой у ближайших потребителей обеспечивается напряжение не выше максимально - допустимых уровней на протяжении всех суток, а у остальных потребителей - ниже максимально допустимых. Нижнее предельное значение напряжения, при котором у самых удаленных потребителей на протяжении исследуемого периода напряжение не ниже минимально допустимых уровней, а у остальных - выше него.

В соответствии с установленными нормативами на границах раздела с потребителями при смешанной силовой и осветительной нагрузке допускаются отклонения напряжения в пределах $-2,5\%$, $+5\%$ номинального.

Для поддержания оптимальных уровней напряжения на подстанции задаются графики предельных значений напряжения для контрольных точек с периодической проверкой не реже раза в квартал. Верхний предел рабочего напряжения определяется допустимым напряжением на оборудовании подстанций. При этом допустимым напряжением по условиям изоляции является: для шин 35 кВ - величина напряжения $40,5 \text{ кВ}$, и для шин 6 кВ - напряжение $6,9 \text{ кВ}$.

Каждый приемник электроэнергии имеет наилучшие технико-экономические показатели при определенном оптимальном напряжении на его зажимах. Отклонение напряжения от оптимального приводит к изменению технико - экономических показателей приемников электрической энергии. При изменении напряжения меняются также показатели самой сети, в основном за счет изменения потерь мощности и энергии. Таким образом, отклонения напряжения в отдельных точках сети оказывают влияние на всю систему электроснабжения предприятия.

В настоящее время наиболее распространенными приемниками электрической энергии в подземных выработках шахт горнорудной промышленности являются асинхронные двигатели, которые используются для привода самых разнообразных механизмов.

В табл. 1 приведены данные влияния отклонений напряжения в пределах от -10 % до +10% на характеристик V_{nt} и асинхронных электродвигателей.

Таблица 1

Характеристики двигателей	Изменение характеристики при изменении напряжения	
	- 10 %	+10 %
Пусковой и максимальный вращающий момент	- 19%	+ 21 %
Синхронная частота вращения		
Скольжение, %	+ 23 %	- 17 %
Частота вращения при номинальной нагрузке	- 1,5 %	+ 1 %
Коэффициент полезного действия:		
При номинальной нагрузке	- 2 %	+ 1 %
При нагрузке 75 %		
При нагрузке 50 %	- 1 % / - 2 %	+ 1% / + 2 %
Коэффициент мощности при нагрузке :		
100 %	+ 1 %	- 3 %
75 %	+ 2 % / + 3 %	- 4 %
50 %	+ 4 % / + 5 %	- 5 % / - 6 %
Ток ротора при номинальной нагрузке	+ 14 %	- 11 %
Ток статора при номинальной нагрузке	+ 10 %	- 7 %
Пусковой ток	+ 10 % / + 12%	- 10 % / - 12 %
Прирост температуры обмотки при номинальной нагрузке	+ 5 % / + 6 %	Практически без изменения

При изменении напряжения сети по сравнению с номинальным активная мощность на валу асинхронного двигателя остается практически постоянной, однако изменяются потери активной мощности в нем, что может вызвать перерасход или получить экономию электрической энергии. Реактивная мощность при этом существенно меняется. Для приближенных расчетов можно принять, что для двигателей единой серии А мощность от 20-100 кВт повышение напряжения на 1% приводит к росту реактивной мощности на 3%, а для двигателей меньшей мощности на 5-7%.

Значительный ущерб промышленным предприятиям наносит сокращение срока службы асинхронных двигателей, работающих с большой загрузкой и пониженным напряжением. Расчеты показывают, что наиболее выгодным с точки зрения увеличения срока службы двигателей является номинальное напряжение или напряжение выше номинального.

Частота вращения асинхронных двигателей меняется в зависимости от подведенного напряжения.

Вывод. Отклонение напряжения существенно влияет на работу осветительных установок. От подведенного напряжения зависят световой поток, освещенность, срок службы, потребляемая мощность и КПД осветительных приемников электрической энергии.

Необходимость проведения мероприятий по улучшению качества напряжения в электрических сетях. При отклонениях напряжения у приемников электроэнергии выше нормы целесообразно не устанавливать средства регулирования напряжения, которые увеличивают капитальные затраты на сеть и потери электроэнергии, а радикально перестроить систему электропитания, осуществить переход на более высокий уровень напряжения распределительных сетей. Повышение напряжения, как правило, улучшает технико-экономические показатели системы электропитания предприятия, одновременно улучшается и качество электроэнергии у потребителей.

Список литературы

1. Беляк В.Л., Плащанский Л.А. Увеличение напряжения участковых сетей как способ повышения эффективности использования горных машин в высоконагруженных забоях угольных шахт М.: Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ - 2007 - № 9 - С. 286-290.
2. Железко Ю.С. Качество электроэнергии в сетях и электромагнитная совместимость оборудования / Ю.С. Железко // Электротехника. 1989. — №10 -с. 73-77.

3. **Нефедова, Н.В.** Улучшение качества напряжения в подземных распределительных сетях 6 кВ калийных рудников установками продольной компенсации потерь напряжения / **Н.В. Нефедова** и др. // М.: Энергетика. 1979. -324 с.
4. **Кронгауз, Д.Э.** Повышение качества электроэнергии в городских распределительных сетях посредством управления режимами реактивной мощности / Д.Э. Кронгауз // Промышленная энергетика. 2010. - № 10. - С. 39 - 43 .
5. **Плащанский Л.А.** Основы электроснабжения горных предприятий М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2006 г. — 499 с: ил. : Учебник для вузов. — 2-е изд., исправ.
6. **Плащанский Л.А., Беляк В.Л.** Анализ технологических схем с целью рационального электроснабжения участков угольных шахт при напряжении 3 (3,3) кВ// М.: Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ - 2007 - № 6 - С. 238-241

Рукопись поступила в редакцию 03.03.14

УДК 658.8: 622.8: 331.453

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., И.О. СИНЧУК, канд. техн. наук, доц.,
А.А. ХАРИТОНОВ, старший преподаватель, Криворожский национальный университет

К ВОПРОСУ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ ПРИЧИН ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМА В УСЛОВИЯХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В статье проведено анализирование и оценивание причин электротравматизма электротехнического и неэлектротехнического персонала в условиях железорудных производств. Приведены такие данные исследований, как динамика колебаний уровней электротравматизма на отечественных железорудных шахтах; тенденции электротравматизма по виду работ, связанных и не связанных с обслуживанием электроустановок на железорудных предприятиях; гистограмма распределения вероятностей травмирования электрическим током электротехнического и неэлектротехнического персонала железорудных производств; пример диаграммы причинно-следственных связей. Представлена структура возникновения травмоопасных факторов в системе «человек - горнорудное производство - электротехнические комплексы». Для рассматриваемого несчастного случая и построенных причинных диаграмм получены структурные уравнения, анализ которых позволил сделать вывод о выходных величинах на основании информации о входных, оценку состояния электротравматизма позволяющую, наряду с оценкой динамики, условий, очагов, обстоятельств несчастных случаев, получить причинно-следственную модель процесса электротравмирования, необходимую для принятия управляющих решений по обеспечению безопасности процесса электропотребления при ведении работ в подземных горных выработках.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Вопросы совершенствования системы строения организации безопасных условий труда вообще и в горно-металлургической отрасли в нынешних условиях весьма актуальны и требуют пристально-постоянного внимания к себе в том числе и, что весьма важно, в направлении мониторинга ситуаций и контроля действенности функционирования системы анализа произошедших несчастных случаев (НС) [1-3].

Анализ исследований и публикаций. Вышеизложенное в полной мере относится и к электробезопасности. Особенно на предприятиях с подземным способом ведения горных работ, в том числе железорудным шахтам (рудникам) [1]. Здесь, как известно, наиболее опасным по уровню поражений и их последствий является контактный провод (КП) тяговой контактной сети электровозной откатки. Около 40% от общего количества всех электротравм произошедших в подземных горных выработках рудных шахт это электротравмы полученные при несанкционированом, но реально возможным по технологии ведения горных работ, касании горнорабочими КП. Немаловажен для раскрытия этой проблемы в дальнейшем тот факт, что, как правило, за редким исключением, все случаи поражения электрическим током при касании КП были получены горнорабочими, чья работа не связана на прясую с эксплуатацией и обслуживанием комплекса внутришахтного транспорта (ВШТ).

Цель исследований. Идентификация и классификация причин электротравматизма в железорудных шахтах для дальнейшей разработки системы управляющих решений, направленной на разработку профилактических мероприятий по устранению потенциальных опасностей в системе «человек – железорудное производство – электротехнические комплексы».

Изложение материала и результаты. Динамика электротравматизма на железорудных шахтах представлена на рис.1, анализ которого показывает, что имеется тенденция роста общего электротравматизма (ЭТ) и близкая к стабильности тенденция смертельного электротравматизма и коэффициента тяжести.

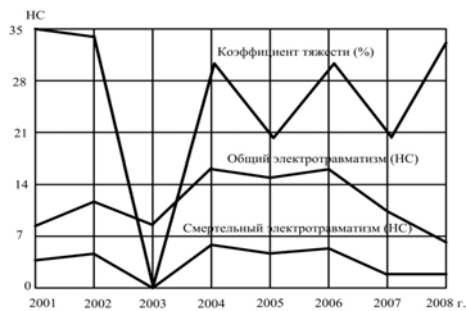


Рис. 1. Динамика колебаний уровней электротравматизма на открытых железорудных шахтах

При более глубоком изучении электротравматизма обращают на себя внимание тенденции по виду работ, приведенные в таблице 1.

Из данных табл. 1 видно, что общий электротравматизм, в том числе и его составляющие по виду работ, по прежнему имеют явную тенденцию роста. Тенденция же роста смертельного электротравматизма определяется только его составляющей - электротравматизмом на работах не связанных с обслуживанием электроустановок и может быть признана значительной.

Таблица 1

Тенденции электротравматизма по виду работ, связанных и не связанных с обслуживанием электроустановок на железорудных предприятиях

Наименование электротравматизма и его составляющих	Количество электро- травм в году		Характер изменения тенденций абсолютное значение % изменений в год		
	2011	2012	рост	стабилизация	снижение
<i>Общий электротравматизм:</i> (всего), в том числе по виду работ:	33,7	61,0	5,5 н.с./16,2%	-	-
связанный с обслуживанием электроустановок	29,2	48,7	3,9 н.с./15,4%	-	-
не связанный с обслуживанием электроустановок	2,6	17,0	2,9 н.с./110,8%	-	-
<i>Смертельный электротравматизм:</i> (все- го), в том числе по виду работ:	8,7	12,2	0,7 н.с./8,0%	-	-
связанный с обслуживанием электроустановок	8,0	8,0	-	8,0	-
не связанный с обслуживанием электроустановок	0,65	4,6	0,8 н.с./121,5%	-	-

Специфика электротравматизма на горных работах железорудных производств свидетельствует о необходимости более тщательного изучения причин его возникновения на основе исследования влияния факторов участвующих в формировании электротравмоопасных ситуаций и негативных влияний на надежность электрооборудования и средства электробезопасности. Эти исследования должны явиться основой разработки комплексов профилактических мероприятий, направленных на эффективное снижение процесса роста электротравматизма [5-7].

Профилактические меры должны быть направлены на снижение электротравматизма электротехнического персонала с различными группами, а также не электротехнического персонала, но особенно следует уделять внимание персоналу в четвертой группой по электробезопасности.

На рис. 2 представлена гистограмма распределения вероятностей травмирования не электротехнического и электротехнического персонала, из которой видно их значимое различие.



Рис. 2. Гистограмма распределения вероятностей травмирования электрическим током электротехнического и неэлектротехнического персонала железорудных производств

Применение электроэнергии на всех, без исключения, видах горных предприятий при обязательности обеспечения безопасности эксплуатации электротехнических комплексов и систем характеризуется рядом технических, организационных, санитарно-гигиенических, психофизиологических, социальных факторов [3]. Указанные факторы в непрерывном диалектическом взаимодействии обуславливают то, что мы характеризуем как «процесс труда» при использовании электроэнергии в горном деле. В этой связи исследование проблемы электробезопасности в методологическом плане должно опираться на комплексный подход, позволяющий решать задачи с учетом влияния вышеназванных факторов.

Исследование условий электробезопасности должно выполняться в рамках решения вопросов построения моделей эффективности, качества и надежности функционирования эрготехнической системы обеспечения электробезопасности (ЭТСОЭБ) [8,9]. Возможность создания математических моделей, полностью описывающих логику и динамику процессов трудовой деятельности при обслуживании и эксплуатации электроустановок горных предприятий с учетом изменения показателей качества функционирования персонала, в настоящее время затруднена из-за недостаточного уровня развития теории моделирования этих процессов.

С учетом сложности рассматриваемой проблемы целесообразно в рамках вышеуказанного комплексного подхода рассмотреть методические принципы и методики исследований отдельных аспектов, позволяющих: оценить показатели и характеристики электротравматизма, сравнительную степень электроопасности отдельных электроустановок; выполнить моделирование процесса возникновения электротравм; установить критериальные значения, определяющие безопасный уровень влияния на человека опасного производственного фактора - электрического тока; определить значения параметров и характеристик, обуславливающих безопасность в наиболее травмоопасных электроустановках; дать оценку персонала как элемента ЭТСОЭБ.

В основу оценки состояния электробезопасности целесообразно положить изучение статистического материала о несчастных случаях. Исследование статистических данных требует установления классификации электротравм, отражающей многообразие сопутствующих н.с. условий и факторов.

Классификация при анализе электротравм должна позволять выполнять их систематизацию для изучения и раскрытия сути явления электротравматизма. Одним из основных требований к классификации должно быть выявление цели, принципов и ведущих признаков группировок электротравм. Вместе с этим выполненная классификация должна помогать в практической работе по планированию, организации мероприятий по обеспечению электробезопасности.

К числу основных признаков классификации электротравм отнесено следующее: отрасль, технологический процесс производства, динамика электротравматизма, род тока и рабочее напряжение электроустановок, вид электрооборудования, место происшествия электротравм, время происшествия электротравм, профессия, стаж работы и возраст пострадавших.

Анализ статистического материала [10,11] об ЭТ позволяет предложить следующие рассуждения – события во временной цепи происхождения (возникновения) ЭТ упорядочены и осуществляются таким образом, что можно выдвинуть рассуждения о причинных связях между ними. В общем плане выражение этой причинной связи состоит в следующем. Событие А является причиной другого события В, если первое событие вызвало надежду на второе событие или если осуществление А достаточно, но не необходимо для осуществления В. Во временном аспекте А, являясь причиной, предшествует В - следствию. С учетом логического и временного аспектов причинную связь можно определить как связь, при которой осуществление первого события является достаточным условием для осуществления более позднего события.

Причинные связи проявляются в изменении состояний объектов вследствие наличия операторов, под которыми подразумевают вещественное устройство или наделенный структурой процесс, обеспечивающие выполнение причинных связей.

Операторы и причинные связи могут подразделяться на составляющие (компоненты), что позволяет осуществлять упрощение действия причинных связей с целью анализа превращения одного события в другое. Указанное разделение целесообразно вести до уровней, обеспечивающих понимание действия причинности.

Для анализа причинных связей, согласно рекомендаций профессора Ляхомского А.В., с целью большей наглядности целесообразно выполнить графическое изображение причинных отношений, возникающих при электротравмировании [5]. Это изображение целесообразно выполнять с помощью потоковых графов, которые предполагают представление событий в виде потоков, В этом случае причинная связь между разными событиями может характеризоваться с помощью потоковых характеристик. Потоковые графы являются теоретической моделью процесса электротравмирования как процесса с причинно-следственными связями.

Если обозначить, взяв за основу реальный НС, следующие события: протекание через пострадавшего недопустимого тока - А, отключенное реле утечки - В, ошибочную подачу напряжения С, то причинные связи могут быть отражены, как это показано на рис. 3а.

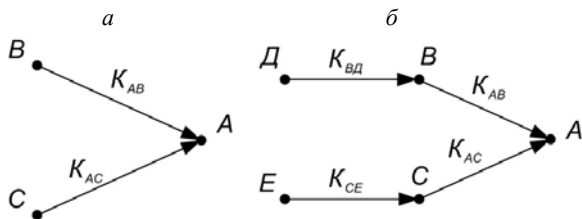


Рис. 3. Пример диаграммы причинно-следственных связей: а - с учетом причин В и С; б - с учетом причин Д,Е,В,С

Если к рассмотрению добавить события: снижение уровня сопротивления изоляции - Д, неправильное действие лица, включившего ошибочно напряжение - Е, то причинные связи отражаются диаграммой, приведенной на рис. 3б.

Анализ потоковых графов позволяет проследить за всеми последствиями входных переменных, в качестве которых выступают потоки событий, имеющие место при возникновении ЭТ.

При анализе потокового графа процесса электротравмирования рассматриваются различные всевозможные результаты действия системы, определяется степень коррелированности между переменными, делаются выводы о путях изменения системы для получения требуемых выходных характеристик.

Для целей анализа потоковых графов целесообразно составить структурные уравнения, с помощью которых качественные оценки выражаются в количественном виде.

Для рассматриваемого НС и причинных диаграмм, приведенных на рис. 3, имеем следующие структурные уравнения

$$A = K_{AB}B + K_{AC}C, \quad (1)$$

$$A = K_{AB}(K_{BD}D) + K_{AC}(K_{CE}E), \quad (2)$$

где K_{AB} , K_{AC} , K_{BD} - структурные коэффициенты, показывающие, каким образом преобразуется (количественно) изменение одной переменной (события) в изменение другой.

Анализ структурных уравнений позволяет сделать вывод о выходных величинах на основании информации о входных, оценка состояния электротравматизма позволяет, наряду с оценкой динамики, условий, очагов, обстоятельств НС, получить причинно-следственную модель процесса электротравмирования, необходимую для принятия управляющих решений по обеспечению безопасности процесса электропотребления при ведении работ в подземных горных выработках.

Выше было показано, что электротравматизм довольно сложное и многоаспектное явление, возникающее в системе "человек - железорудное производство - электротехнические комплексы" вследствие нарушения пространственно-временных и функциональных взаимосвязей ее элементов. Данная система отличается от рассмотренной и проанализированной многими авторами «человек - электроустановка - среда» большей конкретностью, поскольку категория «среда» заменена на более точную для решаемой в работе задачи категорию «горнорудное производство», а это требует развития методологических принципов анализа обстоятельств электротравматизма для установления его действительных причин.

Путем теоретического обобщения известных работ [4-8] разработана схема возникновения травмоопасных факторов в системе "человек-горнорудное производство-электротехнические комплексы" (Ч-ГП-ЭТК), представленная на рис. 4.



Рис. 4. Структура возникновения травмоопасных факторов в системе «человек - горнорудное производство - электротехнические комплексы»

Из нее видно, что производственный электротравматизм логично рассматривать как продукт совместного действия многих внешних причин (технических, санитарно-гигиенических, организационных, социальных) и человеческого фактора, включающего психофизические и физические особенности человека.

Такое представление возникновения производственного электротравматизма открывает принципиальную возможность более глубоко и объективно исследовать факторы и их сочетания, приведшие к несчастным случаям. Вместе с тем надо указать, что в железорудной промышленности до настоящего времени не известны сочетания факторов, определяющих возникновение электротравм, хотя наличие связей между уровнем электротравматизма и вышеперечисленными факторами (см. рис. 4) доказано достаточно убедительно в различных отраслях промышленности. Это одна из задач требующая своего решения путем дополнительных исследований.

Выводы и направления дальнейших исследований. Предложенная методика анализа и оценки состояний электротравматизма позволяет наряду с оценкой динамики, условий, очагов и обстоятельств произошедших несчастных случаев получить причинно-следственную модель процесса электротравмирования горнорабочих, которая необходима для принятия управляющих решений по обеспечению безопасного процесса потребления электрической энергии в условиях железорудных производств.

Список литературы

1. **Зеркалов Д. В.** Охорона праці в галузі. Загальні вимоги: навч. посібник / **Зеркалов Д. В.** // К.: Основа, 2011. – 551 с.
2. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв / **А.А.Азарян, Ю.Г. Вілкул, Ю.П. Капленко, Ф.І. Караманиц, В.О. Колосов, В.С. Моркун, П.І. Пілов, В.Д. Сидоренко, А.Г. Темченко, П.Й. Федоренко** – Кривий Ріг: Мінерал, 2006. – 219 с.
3. **Харитонов А.А.** Анализ электротравм для моделирования генезиса электротравм в электротехнических комплексах и системах железорудных шахт / Сборник интернет конференции «Образование и наука без границ», 07 – 15 декабря, 2013 г.
4. **Ляхомский А.В., Синчук О.Н., Харитонов А.А.** Физиологическая характеристика горнорабочих железорудных шахт как элемента эрготехнической системы обеспечения электробезопасности // Вестник Криворожского технического университета. – Кривой Рог: КНУ, 2013. Вип. 35. – С. 152 – 156.
5. **Синчук О.Н., Харитонов А.А.** К вопросу первичных критериев электробезопасности при эксплуатации тяговых контактных сетей железорудных шахт / Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського № 82. 2013г.
6. **Вышинская Н.Я.** Электротравматизм и меры снижения в системе электроустановка – среда – человек. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Всесоюзный научно-исследовательский институт охраны труда ВЦСПС – Ленинград, 1989 – 26 с.
7. **Ляхомский А.В.** Исследования условий и разработка мероприятий по обеспечению электробезопасности в контактных сетях электровозной откатки угольных шахт: автореф. дисс. на получение научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.09.03. – МГИ, Москва, 1977. – 15 с.
8. **Михайлов Р.Н., Самолдин А.А., Лямичева И.И.** Разработка автоматизированной системы обработки информации о несчастных случаях на производстве//Безопасность и гигиена труда: Сборник научных работ институтов охраны труда ВЦСПС. - М, 1980 г. - С. 38 – 39.
9. Основы охорони праці: підручник / **Ткачук К. Н., Халімовський М. О. Зацарний В. В.** [та ін.]; за ред. **К. Ткачука** і М. Халімовського. - К.: Основа, 2006 – 448 с.
10. **Вентцель Е.С.** Теория вероятностей: учебник для вузов / М.: – ВШ, 2002г.
11. **Никитенко В.И.** Элементы теории ранговых критериев, работающих в реальном времени / Вестник Военной академии республики Беларусь 2009г. № 2 (23) С. 93-99.

Рукопись поступила в редакцию 17.04.14

УДК 65.012.2

С.О. ПОПОВ, д-р техн. наук, проф., О.О. ПОПРОЖУК, аспірантка
Криворізький національний університет

ПРОБЛЕМА РЕСУРСНОГО ПЛАНУВАННЯ ПРОЕКТІВ РЕМОНТІВ І МОДЕРНІЗАЦІЇ СКЛАДНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Обґрунтовано необхідність застосування нового підходу до ресурсного планування ремонтів і модернізації складного технологічного обладнання в умовах сучасних машинобудівних підприємств на основі дослідження су-

часного стану застосування методології управління проектами до реалізації проектів ремонтних робіт. Запропоновано застосування поопераційного підходу до ресурсного планування проектів ремонтів і модернізації складного технологічного обладнання з метою спрощення розрахунків необхідних обсягів забезпечення проекту ресурсами.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Господарська діяльність підприємств завжди здійснюється в умовах обмеженості ресурсів. Особливо гострою ця проблема є для підприємств машинобудівної галузі у зв'язку з тим, що проекти, що реалізуються у цій галузі, є одними з найбільш матеріаломістких і характеризуються тривалим і структурно складним виробничим циклом.

Оригінальність кожного проекту ремонту і модернізації складного технологічного обладнання потребує тривалого процесу планування обсягу необхідного ресурсного забезпечення виробництва кожної складової частини, їх комплексів та агрегату в цілому. Процес ресурсного планування проекту ремонту і модернізації складного технологічного обладнання характеризується високим рівнем складності, значними затратами часу та підвищеною трудомісткістю.

Саме через це виникає необхідність застосування нового підходу до ретельного ресурсного планування реалізації таких проектів та спрощення методичних підходів до розрахунку необхідних обсягів забезпечення проекту ресурсами.

Викладені далі матеріали дослідження розроблені в контексті реалізації Концепції Загальнодержавної цільової економічної програми розвитку промисловості на період до 2020 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 липня 2013 року № 603-р [1], а також державної програми розвитку внутрішнього виробництва, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 12 вересня 2011 року № 1130 [2].

Аналіз досліджень та публікацій. На сьогоднішній день методологія управління проектами застосовується майже у всіх галузях промисловості і економіки.

Важливий внесок у розвиток цієї методології зробили такі вітчизняні вчені як С.Д. Бушуєв, А.В. Шахов, В.А. Рач, В. И. Чимшир, А.І. Білоконь та ін. Саме постійне удосконалення методології управління проектами забезпечує сталий динамічний розвиток вітчизняної та світової промисловості і економіки.

На основі апарату теорії управління проектами здійснюється реформування значної кількості галузей національної економіки, реалізація будівельних та виробничих проектів, розробка проектів енергозбереження та раціонального використання ресурсів, а також організація та управління проектами технічного обслуговування та ремонтів обладнання тощо. Дослідження вітчизняних вчених у сфері управління проектами (С. Д. Бушуєва, А. В. Шахова, В. А. Рача, К. В. Кошкіна та ін.) становлять теоретичну базу подальшого розвитку проектно-орієнтованого управління ремонтними та експлуатаційними стратегіями.

Слід акцентувати увагу на тому, що означеній проблемі застосування проектно-орієнтованого підходу до управління проектами ремонтних робіт присвячено низку досліджень вітчизняних та закордонних науковців, однак основна увага у них відводиться саме обґрунтуванню доцільності застосування методології управління проектами до проектів ремонтних робіт і неповною мірою відображено застосування окремих компонентів проектного менеджменту, наприклад планування ресурсного забезпечення. Тому закономірним продовженням існуючих наукових досліджень є розробка нового підходу до ресурсного планування проектів ремонтів і модернізації складного технологічного обладнання.

Постановка завдання. Метою даної публікації є дослідження сучасного стану застосування методології управління проектами ремонтних робіт та обґрунтування необхідності застосування нового підходу до ресурсного планування ремонтів та модернізації складного технологічного обладнання в умовах сучасних машинобудівних підприємств.

Об'єкт дослідження - проекти ремонту і модернізації складного технологічного обладнання.

Предмет дослідження - методологія ресурсного планування проектів ремонтів і модернізації складного технологічного обладнання.

Викладення матеріалу та результати. На сьогоднішній день в умовах нестабільності функціонування української економіки однією з перспективних галузей вітчизняної економіки є машинобудування, оскільки саме воно може забезпечити економічне зростання, соціальний розвиток та науково-технічний прогрес у будь-якій країні. Головною особливістю машинобу-

дування у порівнянні з іншими галузями господарювання є його універсальність, багатопрофільність, незалежність від наявності корисних копалин та інших природних умов.

Одним із перспективних напрямків діяльності сучасних машинобудівних підприємств є проведення ремонтів та модернізації складного технологічного обладнання.

Причинами цього є:

значна кількість одиниць складного технологічного обладнання, виготовленого ще за часів Радянського Союзу, яке відпрацювало свій моторесурс та потребує капітального ремонту з модернізацією;

моральне та фізичне старіння вітчизняного обладнання та необхідність його ремонту і модернізації з метою забезпечення ефективності роботи та конкурентоспроможності продукції;

відсутність на вітчизняних підприємствах можливості технічного оновлення виробництва та необхідність підтримки наявного обладнання у робочому стані тощо.

Отже, можна стверджувати, що проведення ремонтів та модернізацій складного технологічного обладнання на сьогодні - це одне з актуальних завдань вітчизняних машинобудівних підприємств.

Необхідно зазначити, що теоретична база вказаного напрямку дослідження розв'язання зазначеного завдання базується на роботах ряду вчених.

Так роботи С.Д. Бушуєва, А.В. Шахова, В. А. Рача, К.В. Кошкіна та ін. становлять теоретичну базу подальшого розвитку проектно-орієнтованого управління ремонтними та експлуатаційними стратегіями.

У публікації «Портфельно-орієнтоване управління судоремонтним виробництвом» [4] А. Шахов та О. Шамов доводять, що ремонтна діяльність належить до сфери методології управління проектами, а оскільки ремонтами судів займається промислове підприємство, то важливо приділити увагу саме формуванню його виробничої програми, яку доцільно представити у вигляді портфелю ремонтних проектів.

Таким чином, можна стверджувати, що портфельно-орієнтований підхід до управління ремонтними підприємствами дозволяє комплексно підійти до планування діяльності промислового підприємства, яке виконує оригінальні ремонтні роботи, за допомогою використання методології управління проектами.

Для машинобудівного підприємства важливо не лише систематично підходити до планування його ремонтної діяльності на основі портфельно-орієнтованого проектного підходу, але й доповнити його необхідністю врахування специфічності даної галузі особливо для підприємств, які виконують ремонті різнорідного складного технологічного обладнання. Крім цього, закономірним подальшим розвитком портфельно-орієнтованого підходу до управління ремонтними підприємствами може стати удосконалення системи ресурсного планування вказаних проектів.

Незважаючи на використання вітчизняними та світовими науковцями методології управління проектами для формування організаційно-економічного механізму адаптації систем технічного обслуговування і ремонту устаткування, їх основна увага приділяється саме зменшенню витрат на проведення планових і аварійних ремонтних і відновлювальних робіт. Тому можна стверджувати, що залишаються питання, які потребують подальшого розгляду, та проблеми, які необхідно вирішити.

Розробка методики ресурсного планування проектів ремонтів і модернізації складного технологічного обладнання може стати логічним продовженням використання проектно-орієнтованого підходу до ремонтної діяльності.

Подальшим удосконаленням системи технічного обслуговування і ремонтів обладнання, особливо складного технологічного, може стати досконале ресурсне планування, яке дасть змогу не лише досягти зниження витрат на ремонтну діяльність, а й дасть змогу визначити які саме види ресурсів необхідні на кожному етапі та які операції є найбільш ресурсномісткими і потребують подальшого удосконалення або альтернативної заміни.

А.В. Шахов у своїй дисертаційній роботі «Проектно-орієнтоване управління життєвим циклом ремонтоздатних технічних систем» [5] основну увагу приділив розробці методології управління ремонтоздатними технічними системами на основі використання основних принципів методології управління проектами.

Подальшим розвитком даного напрямку може стати саме удосконалення і більш глибока деталізація окремих компонентів проектного менеджменту, а саме етапу планування ресурсів, оскільки від ефективного управління ресурсами значною мірою залежить результат проекту, можливість його своєчасного завершення та виконання бюджету проекту. Саме розробка інноваційної методики ресурсного планування є одною з актуальних проблем сьогодення особливо для діяльності у сфері ремонтів і модернізації складного технологічного обладнання, характерними особливостями якої є значна матеріаломісткість, тривалий виробничий цикл і велика різноманітність можливих робіт.

Оскільки кількість можливих ремонтів і модернізації складного технологічного обладнання, виготовлення необхідних запасних частин, комплектуючих та цілих вузлів в умовах машинобудівного підприємства є надзвичайно великою, а кількість операцій, які можливо виконати в умовах певного виробництва, обмежена його технологічними можливостями, то з метою спрощення процесу розрахунку обсягів необхідного ресурсного забезпечення доцільно використовувати поопераційний підхід. При його використанні передбачається визначення обсягу необхідних витрат на кожну можливу операцію замість визначення витрат на кожен вид продукції, що виготовляється, чи послуг, що надаються.

У кінці 1980-х років в США було опубліковано книгу професорів Джонсона і Каплана «Втрата актуальності - зліт та падіння управлінського обліку» [3]. Основна ідея цієї книги полягає у тому, що традиційним системам обліку, особливо обліку поглинених витрат, немає більше місця у світі сучасних технологій. У даній книзі вперше було запропоновано термін «поопераційний облік».

Поопераційний облік заснований на ідеї про те, що продукція є не причиною виникнення витрат, а причиною необхідності виконання робіт (операцій), у результаті яких і виникають витрати. Сутність поопераційного методу, в якому витрати слідує за продуктом, полягає в тому, що під час завершення будь-якої операції накопичуються витрати, які переходять у витрати у розрахунку на одиницю продукції.

На відміну від традиційних систем розподілу виробничих витрат поопераційний підхід відмовляється від розподілу непрямих витрат на основі єдиної бази розподілу, якою, як правило, виступає залежність вказаних витрат від обсягів виробництва. Це пояснюється тим, що далеко не завжди невиробничі витрати пропорційні обсягам виготовленої продукції. Особливо це стосується розподілу витрат на технічне обслуговування та ремонт виробничого обладнання.

Проте саме витрати на наладку, технічне обслуговування та ремонт обладнання безпосередньо залежать від особливостей технологічного процесу та тих операцій, які виконуються за допомогою вказаного обладнання.

З іншого боку, враховуючи те, що коефіцієнти розподілу непрямих виробничих витрат сприяють спотворенню реального обсягу витрат на одиницю продукції, необхідно відмітити, що на сьогоднішній день завдяки стрімкому розвитку техніки і технології ці спотворення значно поглиблюються. Це в свою чергу призводить до недостовірності інформації, на основі якої приймаються управлінські рішення.

Для машинобудівних підприємств, на яких обсяг непрямих виробничих витрат подекуди сягає 40-45% загальної собівартості виготовлення, проблема їх розподілу є однією з провідних. Проте розподіл фактичних витрат є значно легшою проблемою, аніж їх планування, оскільки існують категорії витрат, які досить складно передбачити та спрогнозувати. У випадку, коли ми розглядаємо здійснення машинобудівним підприємством ремонтів і модернізації складного технологічного обладнання, яке належить до проектно-орієнтованої діяльності підприємства, дана проблема посилюється унікальністю виконуваних робіт та необхідністю виготовлення значної кількості різноманітних, а подекуди і оригінальних деталей, вузлів чи навіть цілих агрегатів.

Переваги поопераційного методу обліку витрат полягають в тому, що, як правило, визначення обсягу витрат при даному методі потребує менше зусиль і є більш економічним, ніж інші. Той факт, що витрати при поопераційному методі збираються за період, а не відносяться на певне замовлення, дозволяє мати певний запас часу у діяльності працівників, що здійснюють облік. Крім того, при використанні даного методу потоки витрат можна легко прослідкувати. Це сприяє більш чіткому визначенню меж відповідальності.

Значною перевагою поопераційного методу ресурсного планування проектів ремонтів і модернізації складного технологічного обладнання є його безпосередній зв'язок з технологічним процесом виробництва машинобудівного підприємства.

Щодо недоліків даного методу варто відмітити, що усереднення витрат, прийняте при поопераційному методі, іноді може призвести до неточності у розрахунках. Крім цього, запаси незавершеного виробництва, які є невід'ємною складовою реалізації проектів ремонтів і модернізації складного технологічного обладнання, повинні оцінюватися за ступенем завершеності. Ця оцінка тягне за собою неточності, які переходять через різноманітні операції на сумарний показник кількості необхідних ресурсів, загальну вартість проекту і показник чистого прибутку підприємства.

Отже, поопераційний облік витрат дозволяє не лише спланувати необхідний обсяг ресурсного забезпечення, а й визначити шляхи його зниження. Використання даного методу на підприємствах машинобудування дає змогу визначити не лише загальну кількість необхідних ресурсів, але й виявити, протягом яких саме операцій спостерігаються найбільші їх витрати і яким чином можна скоротити дані витрати.

Висновки та напрямок подальших досліджень. На основі аналізу вище викладеного матеріалу, можна стверджувати, що на сьогоднішній день розробка нового підходу до ресурсного планування проектів ремонтів і модернізації складного технологічного обладнання є актуальною і повинна здійснюватись за такими напрямками:

- подальше удосконалення методів ресурсного планування у галузі машинобудування;
- рішення гострої проблеми раціоналізації використання ресурсів (фінансових, трудових, матеріальних, енергетичних, інформаційних тощо);
- розробка нових та удосконалення існуючих теоретичних та методологічних основ ресурсного планування проектів машинобудівництва;
- узагальнення методологічних положень теорії ресурсного планування проектів ремонтів і модернізації складного технологічного обладнання і подальший її розвиток;
- пошук нових підходів до розробки формалізованих процедур обґрунтування управлінських рішень в сфері ресурсного планування проектів ремонтів і модернізації складного технологічного обладнання з використанням поопераційного підходу;
- систематизація досліджень проблеми ресурсного планування на основі поопераційного підходу на підприємствах машинобудівної галузі в ринкових умовах господарювання в нашій країні.

Список літератури

1. Концепція Загальнодержавної цільової економічної програми розвитку промисловості на період до 2020 року [Електронний ресурс] / Кабінет Міністрів України. – К. 2013. – № 603-р. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/603-2013-%D1%80>.
2. Державна програма розвитку внутрішнього виробництва [Електронний ресурс] / Кабінет Міністрів України. – К. 2013. – № 1130. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1130-2011-%D0%BF>.
3. Каплан Р. Потеря актуальности - взлет и падение управленческого учета / Р. Каплан, М. Джонсон. – М.: Гарвардский университет, 1989. – 185 с.
4. Шахов А. В. Портфельно-ориентированное управление судоремонтным производством / А. В. Шахов, А. В. Шапов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2010. – с. 34-36.
5. Шахов А. В. Проектно-орієнтоване управління життєвим циклом ремонтоздатних технічних систем : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : 05.13.22 «Управління проектами та програмами» / А. В. Шахов. – Одеса, 2007. – 38 с.

Рукопис подано до редакції

УДК 004.93+57.087.1

А. И. КУПИН, д-р техн. наук, проф., Ю. А. КУМЧЕНКО, аспирант,
Криворожский национальный университет

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАДАЧАХ БИОМЕТРИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

Приведена мультимодальная информационная технология для распознавания объектов, которая объединила две биометрические характеристики: голос и лицо. Предложен жесткий порог фильтрации для снижения шума в спектрограмме голоса и алгоритм расширения динамического диапазона, чтобы оптимально отобразить максимальное количество деталей изображения лица.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. В настоящее время информационные технологии (ИТ) все активнее применяются в различных отраслях промышленности.

Это, в первую очередь, связано с тем, что современные задачи идентификации, распознавания и авторизации объектов (например, служащих, обслуживающего персонала, финансовых агентов и т.д.) требуют достаточно высокой степени точности и эффективности их решения в режиме реального времени. Как правило, перечисленные задачи являются сложными и многофакторными.

Одним из наиболее перспективных подходов в данном случае являются мультимодальные методы, основанные на одновременном использовании нескольких классификационных признаков.

В случае использования одной биометрической характеристики для распознавания объектов существует вероятность ошибки системы.

Это связано с неправильным использованием технологии, условиями окружающей обстановки и качеством образца.

Нужно также отметить, что одной из основных проблем в области биометрических технологий, тормозящих их развитие, является отсутствие на данный момент основных стандартов.

Анализ исследований и публикаций. Идентификация, распознавание и авторизация объектов обусловлена активной информатизацией современного общества и увеличением потоков конфиденциальной информации.

Общие проблемы использования биометрических информационных технологий исследовали отечественные и зарубежные ученые, в частности: Кухарев Г.А., Завгородний В.В., Мельников Ю.Н., Ушма А.С., Mark Nixon, John Carter, John R. Vacca, Samir Nanavati и другие.

Однако научные труды, в которых бы освещались в полной мере мультимодальные подходы биометрических технологий, практически отсутствуют [1].

Постановка заданий. Рассмотреть преимущества мультимодальных ИТ перед унимодальными системами.

Разработать алгоритмы модулей работы со звуком (голосом) и изображением (лицом).

Спроектировать мультимодальное устройство для распознавания объектов. Обосновать выбор алгоритмов для снижения шумов на спектрограмме голоса и изображении лица.

Изложение материалов и результатов. Мультимодальные информационные технологии могут устранить многие ограничения унимодальных систем, поскольку одни характеристики компенсируют недостатки, присущие другим характеристикам.

Достоинства мультимодальных ИТ:

увеличение охвата сферы применения (нет одной характеристики, используем другую);

уменьшение ошибок неправильного распознавания, расширение диапазона условий окружающей среды, за счет использования нескольких модальностей;

уменьшение чувствительности к шуму.

Мультимодальная ИТ для идентификации, распознавания и авторизации объектов, объединила две биометрические характеристики: голос и лицо.

Сначала был разработан алгоритм работы модуля со звуком (голосом): включение устройства, выбор режима (запись эталона или идентификация), при выборе первого – происходит прием звукового стерео сигнала, шумоподавление и запись эталонной спектрограммы; при выборе второго - устройство принимает звуковой стерео сигнал в режиме реального времени, осуществляет шумоподавление и сравнивает его с эталоном.

В случае если запись не соответствует эталону, значит идентифицируемый объект не получит доступ рис. 1а.

Затем был разработан алгоритм работы модуля с изображением: включение устройства, выбор режима (сохранение эталона или идентификация), при выборе первого - происходит прием 3D видеосигнала, наложение снимков и сохранение эталонного изображения; при выборе второго - устройство принимает 3D видеосигнал в режиме реального времени, осуществляет наложение снимков и сравнивает их с эталоном.

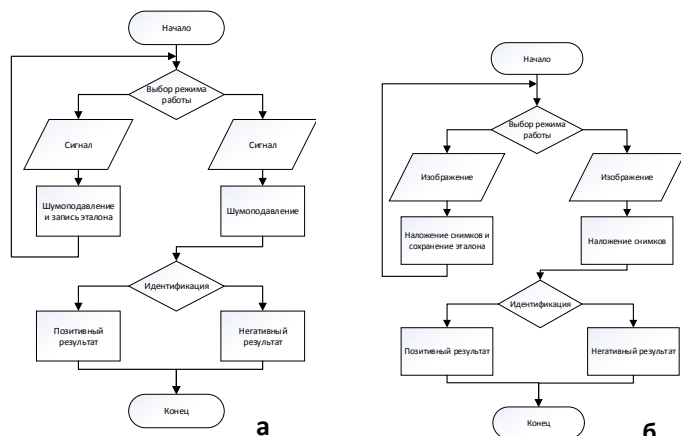


Рис. 1. Алгоритмы работы модулей звука *а* и изображения *б*

реозвука» рис. 2.

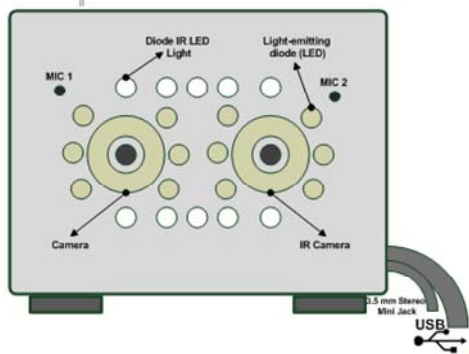


Рис. 2. Комбинированная 3D камера с функцией ИК съемки и записи стереозвука

Преимущества данной схемы проекта:

получение двух снимков: обычный и в ИК диапазоне. (При дальнейшей обработке фотографии возможно наложение снимков достигая 3D эффекта);

благодаря 2 микрофонам возможна запись стереозвука;

регулируемая светодиодная подсветка для съемки в вечернее время или в слабоосвещенных помещениях (состоит из 12 светодиодов);

ИК подсветка для съемки ночью. Благодаря 10 ИК диодам и ИК камеры расстояние ночной съемки в пределах 15 м;

простое подключение по USB для получения снимков и 3,5 mm MiniJack для подключения микрофонов. Не требует дополнительных источников питания; низкая себестоимость.

Первый прототип устройства состоял из двух видеокамер: ИК и обычной, 12 светодиодов с возможностью регулировки яркости, 2-х микрофонов и схемы коммутации этих устройств.

Звуковые сигналы, с которыми приходится иметь дело на практике, всегда в той или иной степени зашумлены. В тех случаях, когда шум имеет значительную интенсивность, его наличие может существенно исказить результаты обработки, анализа или распознавания звука.

Для снижения шума применяется жесткий порог фильтрации и он устанавливается для каждого уровня вейвлет разложения рис. 3.

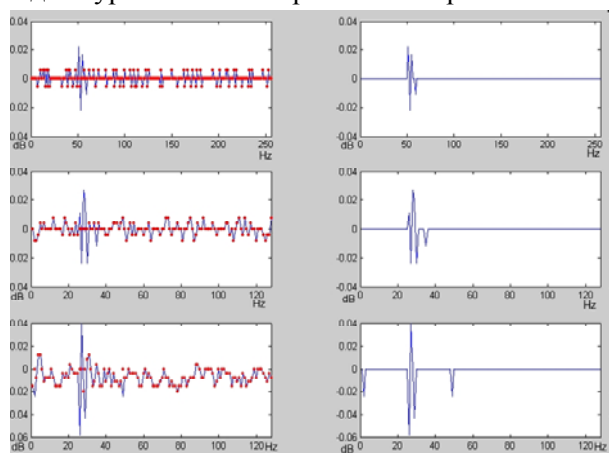


Рис. 3. Графики двух уровней вейвлет-разложения звукового сигнала и вейвлет-коэффициентов после пороговой обработки

Данный порог реализуется следующим образом: на *i*-м уровне разложения вычисляется уровень порога по формуле

$$X = L_{\max} / N, \quad (1)$$

где L_{\max} - значение вейвлет-отсчета с максимальной амплитудой; N - количество ненулевых вейвлет-отсчетов.

В процентном соотношении данное выражение имеет вид

$$X = L_{\max} \cdot K, \quad (2)$$

где K - величина порога в процентах;

поэлементное сравнение всех ненулевых элементов N -го уровня с заданным порогом X и обнуления всех отчетов, равных или меньше данного уровня.

Достоинства данного метода пороговой обработки:

самая маленькая вычислительная сложность из совокупности других методов.

Недостатки данного метода пороговой обработки:

возможность полной потери полезного сигнала при высоком уровне шума;

возможность потери полезного сигнала также и при малом уровне шума [2].

Для обработки полученных снимков применяется алгоритм расширения динамического диапазона.

Расширение динамического диапазона необходимо для того, чтобы оптимально отобразить на дисплее видеосигнал с двух камер, содержащий максимальное количество деталей лица, видимых на готовом совмещенном снимке.

Для расширения динамического диапазона изображения, а также подавления ярких точечных источников (пересвет и расплывание ярких объектов) был реализован режим съемки обычной камерой и ИК: один кадр отображал цветной обычный снимок, а следующий кадр формировался с помощью ИК фильтра.

Объединение двух таких изображений позволят оптимальным образом отобразить хорошо и плохо освещенные области, получить более «глубокий» снимок, как в дневное, так и ночное время.

Особенностью реализованного подхода является оценка и обработка локальных участков изображения.

Это позволяет сохранить и даже улучшить показатели локального контраста, величина которого важна для задач обнаружения и распознавания объектов в поле зрения системы наблюдения [3].

Выводы и направление дальнейших исследований. Информационная технология распознавания объектов, с применением биометрических методов, имеет существенные преимущества.

Благодаря использованию мультимодального подхода, учитывающего сразу несколько биометрических характеристик, можно снизить на порядок количество людей, биометрическая идентификация которых невозможна, и значительно повысить защищенность информационных ресурсов от несанкционированного доступа в целом.

Дальнейшие исследования направлены на анализ существующих алгоритмов подавления шумов, чтобы определить наиболее эффективный для нашей задачи, и создание сравнительной сверточной нейронной сети.

Список литературы

1. **Кухарев Г.А.** Биометрические системы: Методы и средства идентификации личности человека / Г. А. Кухарев. – СПб.: Политехника, 2001. – 240 с.
2. **Борискевич А.А.** Цифровая обработка речи и изображений / А. А. Борискевич. – Минск: 2007. – 295 с.
3. **Вудс Р.** Цифровая обработка изображений / Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

Рукопись поступила в редакцию 07.03.14

УДК 004.9

А.С. ЗЕЛЕНСКИЙ, д-р техн. наук, проф., В.С. ЛЫСЕНКО, канд. экон. наук, доц.
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ОБУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИБЛИОТЕКИ OPENGL В 3D-ГРАФИКЕ

Приводятся результаты и краткая характеристика разработанного программного комплекса "Graf10", используемого в учебном процессе. Данный программный комплекс реализован на языке программирования Visual C++ 2010 с использованием открытой графической библиотеки OpenGL. Особое внимание уделено перспективной и ортографической проекциям, матрицам проекции и модели, работе с буфером глубины и трафарета, освещению и теням, текстурам, построению кривых и поверхностей. При этом уделяется внимание математической основе задач: умножению, транспонированию матриц, переходу от одной системы координат к другой, нахождению проекции на заданную плоскость и т.д. При работе с кривыми и поверхностями представлены авторские разработки построения кривых и поверхностей Безье, полиномов в 2D и 3D графике, интерполяционных сплайнов и сплайнов Эрмита, кривых и поверхностей на основе B-сплайн.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В современном мире информационных технологий большое внимание уделяется 3D-графике. Это имеет место при решении различных задач, где применение 3D-графики является необходимым или целесообразным.

Анализ исследований и публикаций. Изучение 3D-графики без практических примеров достаточно трудоемко. Необходима разработка программного обеспечения для отражения основных возможностей 3D-графики с использованием библиотеки OpenGL. В основном используются две библиотеки работы с 3D-графикой: OpenGL и DirectX. Преимуществом библиотеки OpenGL является ее независимость от операционной системы. Так с помощью OpenGL можно разрабатывать приложения для операционных систем Windows, MacOS, IOS, Android и т.д., в то время как DirectX работает только для Windows.

Постановка задачи. Основной целью статьи является изучение библиотеки OpenGL для представления результатов решения задач в 2D и 3D графике.

Изложение материала и результаты. OpenGL является одним из самых популярных интерфейсов, предназначенным для разработки приложений в области двумерной и трехмерной графики [1-6].

Программное обеспечение разработано на языке программирования Visual C++ 2010 с применением библиотеки OpenGL и используется кафедрой информатики и прикладного программного обеспечения в учебном процессе для дисциплин, связанных с компьютерной графикой.

Разработанный программный комплекс "Graf10" состоит из 6 основных модулей, каждый из которых содержит отдельные задачи. Выбор модуля, а затем его задачи выполняется с помощью меню.

Структура пользовательского меню "Graf10" приведена на рис. 1, где выделены следующие модули:

- Работа с ортографической проекцией.
- Работа с графическими примитивами и буферами.
- Геометрические преобразования.
- Работа с освещением и тенями.
- Работа с пикселями и текстурами.
- Работа с кривыми и поверхностями.

Для выполнения каждой из представленных задач разработана универсальная структура, которая позволяет расширять возможности программного комплекса новыми задачами и совершенствовать уже разработанные. Студенты в процессе обучения получают исходный код программ в виде модулей и могут его эффективно использовать в своих задачах.

В данный программный комплекс вошли отдельные примеры книги "OpenGL. Суперкнига" [1] и авторские разработки. Примеры из данной книги переделаны из консольного режима C++ на язык Visual C++ 2010 под библиотеку MFC (Microsoft Foundation Classes) и адаптированы под структуру, предложенную авторами.

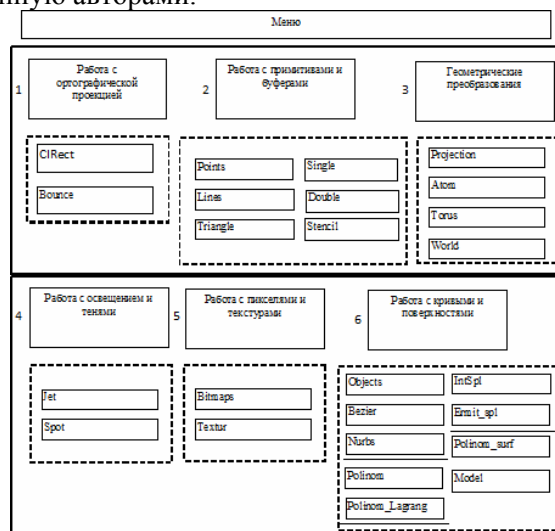


Рис. 1. Структура пользовательского меню "Graf10"

Укрупненная блок-схема решения произвольной задачи, входящей в пакет "Graf10" приведена на рис. 2.

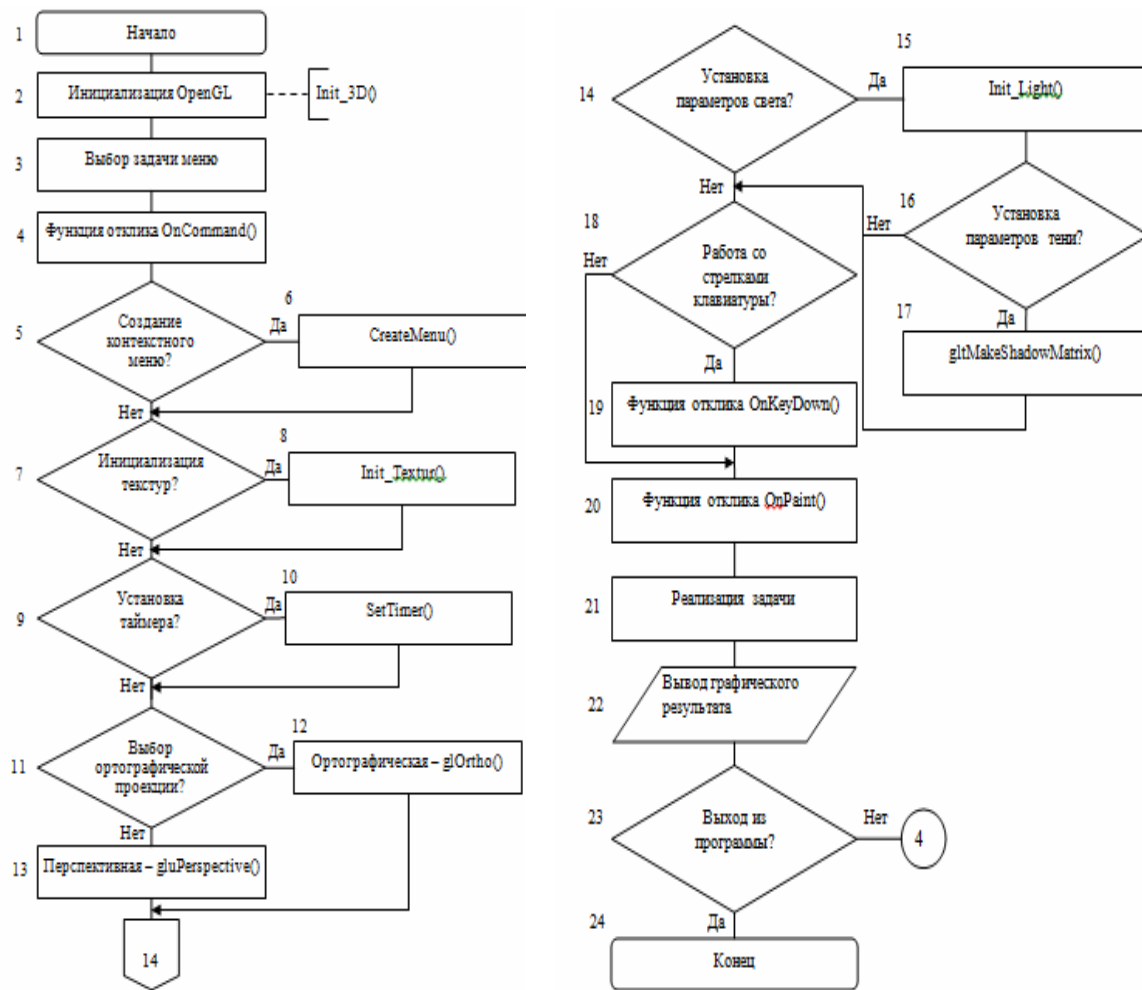


Рис .2. Блок-схема решения задачи

При загрузке приложения "Graf10" выполняется инициализация 3D-графики (функция Init_3D). Выбор задачи выполняется через пользовательское меню.

Последовательность выполнения выбранной задачи:

При нажатии опции меню подключается функция отклика OnCommand(), где в зависимости от требований выбранной задачи могут добавляться следующие возможности: создание контекстного меню, инициализация текстур, установка таймера, выбор проекции, установка параметров света и тени, работа со стрелками клавиатуры.

Функция отклика OnKeyDown() – подключается при обработке сообщений от клавиатуры. В зависимости от нажатых стрелок выполняется поворот объектов относительно осей координат, а также камер наблюдения.

Функция отклика OnPaint() – подключается при явном вызове Invalidate() или когда возникает необходимость перерисовки окна. В ней по коду подключается необходимая функция реализации задачи.

Краткая характеристика задач программного комплекса "Graf10" (см. рис.1), состоящего из 6 модулей:

1. В первом модуле реализуются простейшие задачи вывода фигур в Ortho-проекции.
2. Во втором модуле рассматриваются простейшие примитивы – точки (Points), линии (Lines), треугольники (Triangle) и т.д. Показана работа с одиночной (Single), двойной (Double) буферизацией, а также с буфером трафарета (Stencil).
3. В третьем модуле рассматриваются следующие задачи:

3.1. Projection – пример работы с ортографической и перспективной проекциями. Их изучение рассматривается на примере куба. При использовании ортографической проекции все грани куба выглядят одинаково, при использовании перспективной проекции – задняя грань куба будет выглядеть меньше передней, так как она наиболее удалена от наблюдателя. В последнем случае куб будет выглядеть в виде усеченной пирамиды. В процессе обучения имитируются различные углы обзора и расстояние до наблюдателя, что приводит к уменьшению или увеличению размеров куба, а также изменению соотношений передней и задней граней куба.

3.2. Atom – пример динамической модели атома. Здесь три электрона движутся по собственным орбитам вокруг ядра атома. Электроны и ядро атома представлены в виде шаров. Орбита каждого электрона формируется с помощью угла поворота относительно ядра и последующего смещения. Студенты на основании данной задачи имитируют различные орбиты, а также устанавливают скорость вращения электронов за счет таймера и угла поворота.

3.3. Torus – построение тора с помощью связанных треугольников. Результат работы программы приведен на рис. 3.

3.4. World – пример работы с камерой и актерами.

Актеры – объекты, которые могут перемещаться и имеют собственную систему отсчета или локальную систему координат.

Для представления системы отсчета использована структура данных, которая содержит точку в пространстве ($vLocation$), вектор, указывающий вперед ($vForward$), и вектор, указывающий вверх (vUp). Камера – это позиция наблюдателя. Чтобы выполнить преобразование камеры, необходимо изменить данные три вектора.

Так, при вращении камеры меняется вектор вперед $vForward$, а при движении – позиция наблюдателя $vLocation$.

Изучение данной задачи основано на построении собственного мира объектов-актеров (World) и установке камеры наблюдения. Затем, с помощью клавиш курсора происходит изменение позиции камеры наблюдения с изменением матрицы OpenGL.

4. В четвертом модуле осуществляется работа с освещением и тенями объектов.

В задаче Jet приведен пример рисования самолета с использованием освещения и теней (рис. 4) [1]. Самолет представлен в виде треугольников.

При вращении самолета с помощью клавиш курсора происходит подсветка его частей (треугольников), а также изменение тени объекта. Тень объекта представляет собой его проекцию на горизонтальную плоскость.

В задаче Spot приведен пример работы с прожектором. С помощью клавиш курсора осуществляется перемещение источника света, который с разных сторон освещает объекты сцены.

5. В пятом модуле приведена работа с пиксельными операциями и текстурами.

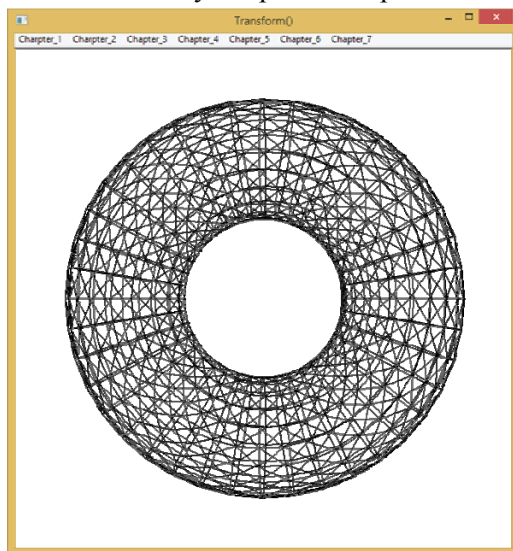


Рис. 3. Результат работы программы Torus

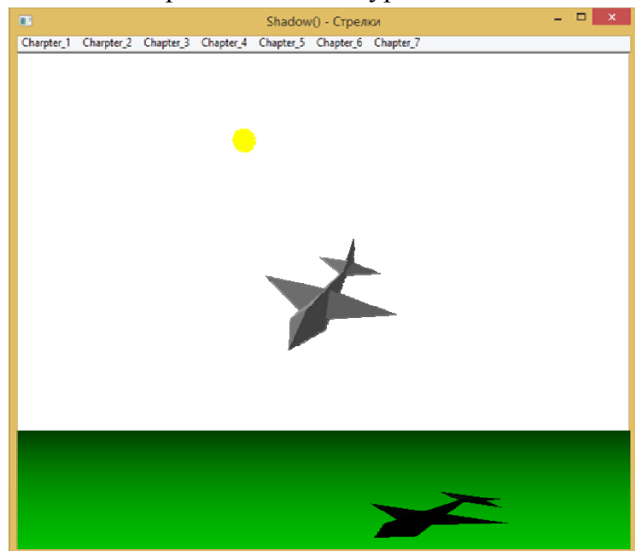


Рис. 4. Результат работы программы Jet с использованием освещения и теней

5. В пятом модуле приведена работа с пиксельными операциями и текстурами.

Пример Bitmaps показывает возможности загрузки и вывода растровых изображений с использованием пиксельных операций.

При изучении этого примера студент открывает произвольный файл в формате bmp или tga и с помощью контекстного меню выбирает пиксельные операции: поворот изображения, масштабирование, инвертацию, черно-белый режим, красный, зеленый или синий цветовые каналы и т.д.

Пример Textur демонстрирует разные возможности работы с текстурами (рис. 5).

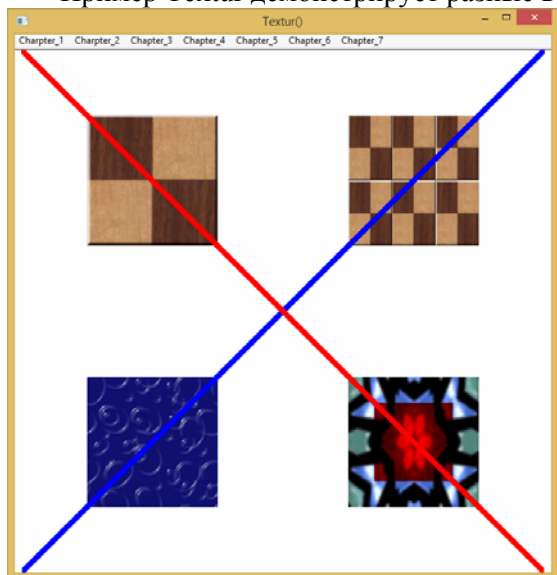


Рис. 5. Результат работы программы с выводом текстур (Textur)

Первый способ - это привязка текстурных координат к координатам объекта. При этом координаты (0, 0) характеризуют левый нижний угол объекта; (1, 1) - правый верхний. На рисунке это левый нижний и левый верхний квадраты. Если необходимо привязать к объекту несколько текстур, скажем две текстуры по горизонтали и три по вертикали (верхний квадрат справа) необходимо задать следующие координаты (рис. 6).

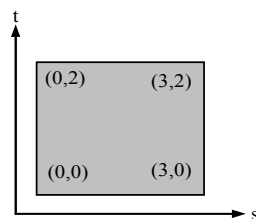


Рис. 6. Привязка текстурных координат

Второй способ - это автоматическая генерация текстурных координат (нижний квадрат справа) вписывается в объект.

при котором текстура полностью

Так, в процессе обучения студент привязывает текстуры к различным объектам, а также выполняет автоматическую генерацию текстур.

6. В шестом модуле осуществляется работа с выводом кривых и поверхностей. Первый пример Objects демонстрирует работу со стандартными Glu- и Glut-объектами. Далее представлены авторские разработки построения кривых и поверхностей Безье, полиномов в 2D и 3D графике, интерполяционных сплайнов и сплайнов Эрмита, кривых и поверхностей на основе B-сплайн. Кроме того, приведен сравнительный анализ каркасной, столбиковой моделей и модели с использованием B-сплайн.

Характеристика задач 6-го модуля:

6.1. Objects – пример работы со стандартными Glu- и Glut-объектами: сфера, цилиндр, диск с отверстием, часть диска с отверстием, чайник, конус, тор, тетраэдр, гексаэдр (куб) октаэдр, икосаэдр, додекаэдр. При этом предусмотрен выбор объекта через контекстное меню, а также способ вывода объекта (в виде линий GL_LINE или с заливкой GL_FILL).

6.2. Bezier - пример вывода кривой и поверхности Безье.

6.3. Nurbs - пример вывода Nurbs-поверхности с использованием весовых коэффициентов.

6.4. Polinom - пример построения полинома в 2D-графике.

Модель полинома в общем виде представлена следующим образом

$$f(x) = A_0 + A_1x + A_2x^2 + \dots + A_M^M, \text{ или } f(x) = \sum_{i=0}^M A_i x^i,$$

где M - степень полинома.

На рис. 7. приведем полином 8-й степени для 9 контрольных точек, заданных своими координатами. Исследования показали, что если степень полинома приближается к количеству контрольных точек, несмотря на повышение коэффициента детерминации R^2 , результат построения кривой ухудшается [8].

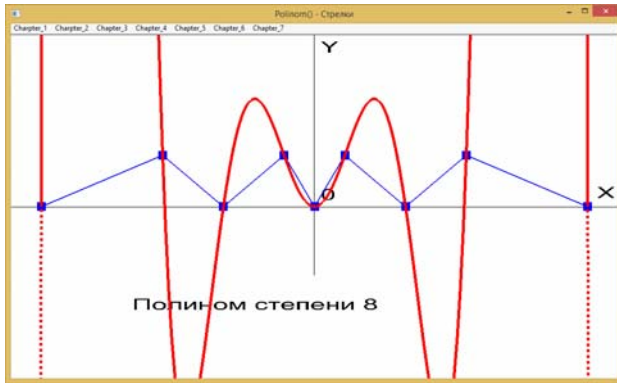


Рис. 7. Интерполяция полиномом 8-й степени

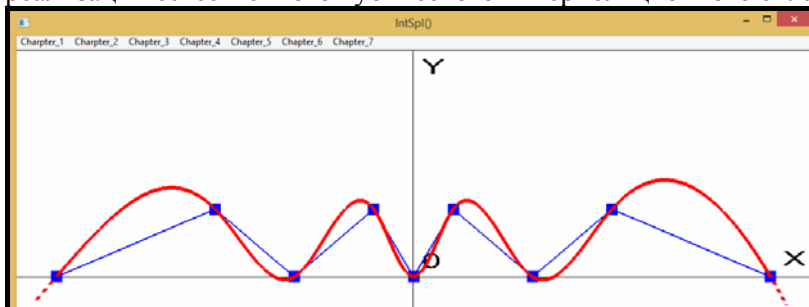
6.5. Polinom_Lagrang - пример построения интерполяционного полинома с помощью формулы Лагранжа. Здесь для вычисления координат точек используется следующая зависимость

$$y(x) = \sum_{i=0}^n y_i \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j}.$$

непрерывны первая и вторая производные. Данный сплайн является глобальным, то есть изменение одной контрольной точки влияет на все поведение кривой. На рис. 8. приведен результат реализации естественного кубического интерполяционного сплайна.

6.6. IntSpl – пример построения естественного кубического сплайна [8], в котором

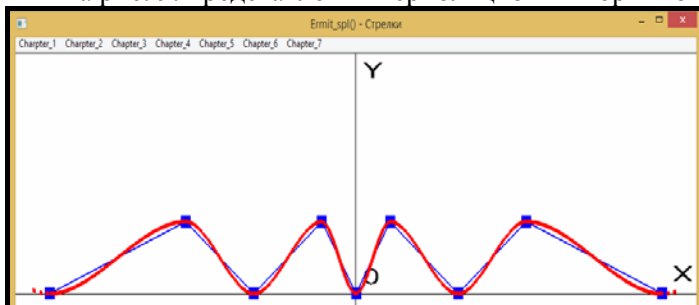
Рис. 8. Интерполяционный кубический сплайн



6.7. Ermit_Spl - пример построения эрмитового сплайна, который в отличие от естественного кубического сплайна, локален и для его построения кроме значений в контрольных точках, необходимо задать соответствующие значения первых производных. Изменение производной в контрольной точке влияет только на соседние точки. Таким образом, можно управлять первыми производными исходных точек для изменения поведения кривой.

На рис. 9. представлен интерполяционный эрмитовый кубический сплайн.

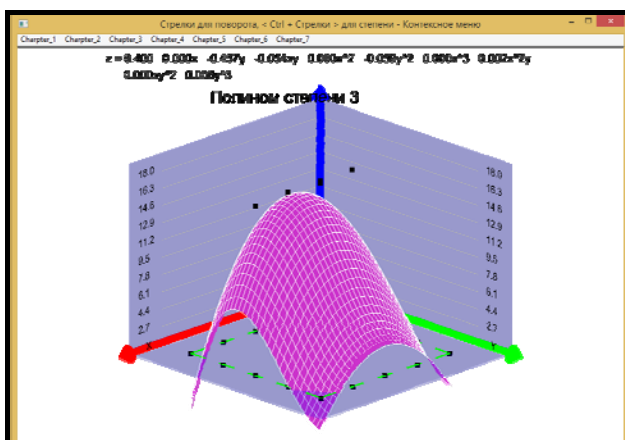
Рис. 9. Интерполяционный эрмитовый сплайн



6.8. Polinom_Surf - пример построения полиномиальной поверхности $z=f(x,y)$.

На рис. 10. представлен полином 3-й степени в пространстве.

Рис. 10. Сглаживание поверхностью полинома 3-й степени



Для определения зависимости полинома в трехмерном пространстве $z=f(x,y)$ используется предложенный авторами алгоритм [8].

Для полинома 5-й степени данную зависимость можно представить в виде

$$z = A_0 + A_1x + A_2y + A_3x^2 + A_4xy + A_5y^2 + A_6x^3 + A_7x^2y + A_8xy^2 + A_9y^3 + A_{10}x^4 + A_{11}x^3y + A_{12}x^2y^2 + A_{13}xy^3 + A_{14}y^4 + A_{15}x^5 + A_{16}x^4y + A_{17}x^3y^2 + A_{18}x^2y^3 + A_{19}xy^4 + A_{20}y^5,$$

где A_0, A_1, \dots, A_{20} - коэффициенты полинома,

которые нужно определить.

Количество коэффициентов при неизвестных (линейных уравнений) в зависимости от степени полинома α определяется по формуле

$$C_A = \sum_{i=1}^N C_i d_i^{-\alpha} / \sum_{i=1}^N d_i^{-\alpha},$$

где C_A - интерполированное значение показателя в узле A; N - количество ближайших точек; α - показатель степени; d_i - расстояние между ближайшими точками и узлом интерполирования; C_i - значение показателя в точке, ближайшей к узлу интерполирования.

Массив интерполированных значений в дальнейшем используется для визуализации пространственной изменчивости показателей в трехмерном пространстве и является исходным для построения поверхностей. Сравнивая столбиковую (рис. 12), каркасную (рис. 13) модели, модель на основе В-сплайна (рис. 14), визуально становится очевидным преимущество сплайна над другими способами оценки изменчивости показателей. На рис. 12-14 исследуемым показателем является $Fe_{\text{общ}}$, который определяется по данным опробования скважин на рудных карьерах.

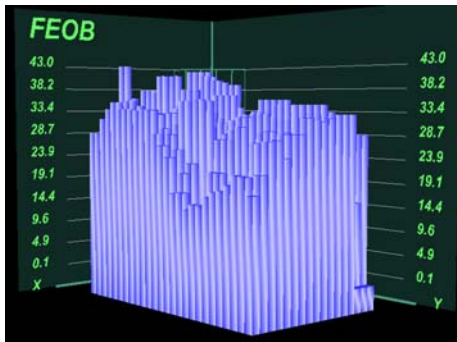


Рис. 12. Столбиковая модель изменчивости показателя

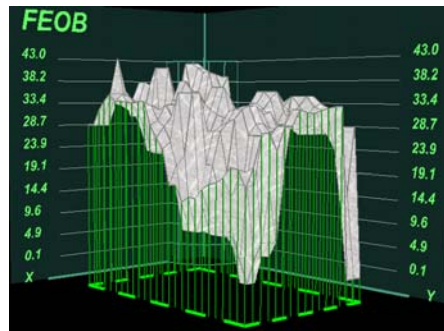


Рис. 13. Каркасная модель изменчивости показателя

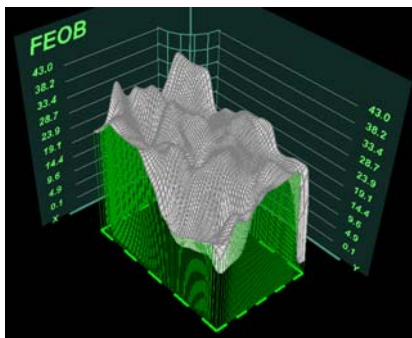


Рис. 14. Отображение изменчивости показателя с помощью В-сплайн

При построении каркасных моделей выполняется соединение линий между интерполяционными точками в двух взаимно-перпендикулярных направлениях.

В столбиковых моделях формируются соприкасающиеся прямоугольные призмы.

В сечениях этих призм квадраты с центром в интерполяционных точках и сторонами, равными шагу интерполяционной сети.

Высота призм определяет значения показателя в узлах.

На основе интерполяционной сети наиболее эффективно построение топофункций в виде NURBS-поверхностей (В-сплайна).

Преимущества использования В-сплайна в следующем. При корректировке исходных данных изменяется только ближайшая к этим данным область поверхности. NURBS-поверхность является управляемой, можно изменить характер прохождения поверхности относительно контрольных точек, изменяя вес их влияния.

Построение такой поверхности не требует высокой значности исследуемых показателей, обеспечивается высокая оперативность реализации [7-10].

Построение NURBS-поверхностей с помощью стандартных функций OpenGL не позволяет гибко управлять поверхностью, отсутствует возможность получения координат узлов поверхности для выполнения различных расчетов.

Кроме того, нельзя выделить цветом часть поверхности, а только поверхность в целом.

В этой связи были разработаны собственные функции для построения NURBS - поверхностей на основе В-сплайнов.

При построении NURBS-поверхности, используется следующая формула

$$P(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{k=0}^L w_{i,k} P_{i,k} N_{i,m}(u) N_{k,n}(v)}{\sum_{i=0}^M \sum_{k=0}^L w_{i,k} N_{i,m}(u) N_{k,n}(v)},$$

где $(M + 1)$ - количество контрольных точек по оси OX (нумерация точек от 0 до M); $(L + 1)$ - количество контрольных точек по оси OY (нумерация точек от 0 до L); $P_{i,k} = (x_{i,k}, y_{i,k}, z_{i,k})$ - координаты контрольных точек; $w_{i,k}$ - весовые коэффициенты контрольных точек; $N_{i,m}(u)$ и $N_{k,n}(v)$ - соответственно стыковочные В-сплайн функции в направлении осей OX и OY ; m и n - соответственно порядок стыковочных В-сплайн функций $N_{i,m}(u)$ и $N_{k,n}(v)$; $u \in 0, \dots, u_{max}$ (u_{max} - максимальное значение в узловом векторе u в направлении оси OX , равное $M - m + 2$); $v \in 0, \dots, v_{max}$ (v_{max} - максимальное значение в узловом векторе v в направлении оси OY , равное $L - n + 2$).

Выводы и направление дальнейших исследований. Реализация программного обеспечения комплекса задач "Graf10" выполнена авторами на языке Visual C++ 2010 под Windows с использованием инструментальных средств открытой графической библиотеки OpenGL.

Для выполнения каждой из представленных задач разработана универсальная структура, которая позволяет расширять возможности программного комплекса новыми задачами и совершенствовать уже разработанные.

Разработанный программный комплекс используется кафедрой информатики и прикладного программного обеспечения в учебном процессе для преподавания дисциплин, связанных с компьютерной графикой.

Список литературы

1. Ричард С. Райт, мл., Бенджамин Липчак OpenGL. Суперкнига, 3-е издание.: Пер. с англ – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1040с.
2. Зеленский О.С., Лисенко В.С., Баран С.В. Методичні вказівки до самостійного вивчення стандартних команд графічної бібліотеки OPENGL з використанням мови C++. – Кривий Ріг: КЕІ КНЕУ, 2006.-41с.
3. Зеленский А.С., Лысенко В.С., Чуринов Н.А. Методические указания для самостоятельного изучения математических основ компьютерной графики. – Кривой Рог: КЭИ КНЭУ, 2007.-41с.
4. Хилл Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики. Для профессионалов.– СПб.: Питер, 2002.– 1088 с.
5. Дональд Херн, М. Паулин Бейкер Компьютерная графика и стандарт OpenGL, 3-е издание.–М.: Издательский дом «Вильямс», 2005.–1168 с.
6. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики: Пер. с англ.– М.: Мир, 2001.-604с.
7. Автоматизация геолого-маркшейдерского обеспечения в информационной системе управления рудным карьером: монография / А.С. Зеленский, С.В. Баран, В.С. Лысенко и др.- Кривой Рог: Издательский центр ГВУЗ «КНУ», 2012.–362 с.
8. Зеленский А.С., Лысенко В.С. Построение кривых и поверхностей при решении горно-геометрических задач //Вісник Криворізького національного університету. Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: КНУ.–2013. -С. 186-190.
9. Зеленский А.С. Моделирование поверхности карьера с использованием В-сплайнов / А.С. Зеленский, В.С. Лысенко, В.И. Мельничук // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг: КТУ. – 2009. – №23. – С. 50–54.
10. Зеленский А.С. Использование NURBS поверхностей для автоматизированного построения изолиний изменчивости качественных показателей руды на карьерах / А.С. Зеленский, С.С. Пуханов, В.И. Мельничук // Науковий вісник НГУ.–2009.–№6.–С. 69–73.

Рукопись поступила в редакцию 12.03.14

УДК 621.315.052.7 – 621.395.14

В.П. РОЗЕН, канд. техн. наук, проф. Национальный технический университет Украины «КПИ»
Э.С. ГУЗОВ, канд. техн. наук, доц.; Р.А. ПАРХОМЕНКО, старший преподаватель.
Криворожский национальный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОЕМКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ШАХТ

В работе выполнена кластеризация значений электрических нагрузок для электроприемников с неоднородными режимами работы: компрессоров и подъемных машин. В результате были получены значения устойчивых уровней электрических нагрузок (максимального и минимального) и времени их действия.

Ключевые слова: электрические нагрузки, электроприемники, железорудные шахты.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Повышение эффективности электропотребления (ЭП) на всех видах горных предприятий напрямую связано с необ-

ходимым улучшением технико-экономических показателей использования электроэнергии. В этой связи значительную роль играют обоснованные решения, которые возможно принять на основе ожидаемых электрических нагрузок (ЭН). В свою очередь, прогнозирование ЭН с достаточной точностью возможно лишь на основе адекватных математических моделей энергетических режимов потребителей электроэнергии (ЭЭ), позволяющих также устанавливать электроемкость основных технологических процессов при разработке полезных ископаемых.

Анализ исследований и публикаций. Анализ состояния моделирования энергетических режимов энергоемких потребителей показывает, что получение адекватных моделей режимов ЭН приемников железорудных шахт возможно при использовании методического подхода, который применялся для установления моделей режимов ЭН электроприемников [1,2,3]: выделение из всего их множества устойчивых уровней и получение значений расчетных величин осреднением на временных участках расчетного периода, где действует каждый устойчивый уровень нагрузки.

Постановка задания. Целью работы есть выполнение кластеризации значений ЭН и получение значения устойчивых уровней и времени их действия для электроприемников железорудных шахт с неоднородными режимами работы.

Изложение материала и результаты. В этой связи была выполнена кластеризация значений ЭН для электроприемников с неоднородными режимами работы: компрессоров и подъемных машин. В результате были получены значения устойчивых уровней электрических нагрузок (максимального и минимального) и времени их действия (табл. 1).

Математическая модель режимов ЭН будет иметь вид

$$P_c^* = P_{c,max}^* [t_{max}^* + K_2(1 - t_{max}^*)], \quad (1)$$

На рис. 1 приведен график двухуровневой модели ЭН для компрессоров 4ВМ10-100/8.

Полученные результаты позволяют разработать рекомендации по совершенствованию расчетов ЭН.

Таблица 1

Статистические характеристики моделей режимов электрических нагрузок потребителей железорудных шахт

Характеристики режимов нагрузок	Статистические характеристики		
	математическое ожидание	среднеквадратическое отклонение	коэффициент вариации
Компрессоры (P = 630 кВт)			
$P_{c,max}^*$	0,79	0,13	0,16
$t_{1,max}^*$	0,82	0,15	0,18
$P_{c,min}^*$	0,19	0,15	0,68
$t_{1,min}^*$	0,18	0,02	0,11
Компрессоры (P = 300кВт)			
$P_{c,max}^*$	0,90	0,11	0,12
$t_{1,max}^*$	0,71	0,12	0,17
$P_{c,min}^*$	0,28	0,22	0,78
$t_{1,min}^*$	0,29	0,12	0,41
Подъемные установки			
$P_{c,max}^*$	0,81	0,35	0,43
$t_{1,max}^*$	0,52	0,29	0,56
$P_{c,min}^*$	0,23	0,41	2,05
$t_{1,min}^*$	0,48	0,36	0,75

Режимы сменного расхода электрической энергии энергоемких потребителей шахт возможно анализировать на основе статистических моделей. Здесь следует отметить, что доля потребления электроэнергии на процессы производства сжатого воздуха, подъема горной массы, вентиляции горных выработок и откачки воды составляет от 70 до 80 % общего электропотребления железорудных шахт.

Одной из характеристик, определяющих режимы расхода электроэнергии, является сменный расход.

Применение указанного показателя для анализа режимов расхода электроэнергии обусловлено и тем, что в этом случае облегчается (в плане получения информации) выявление взаимосвязей между расходом электроэнергии и производственными факторами.

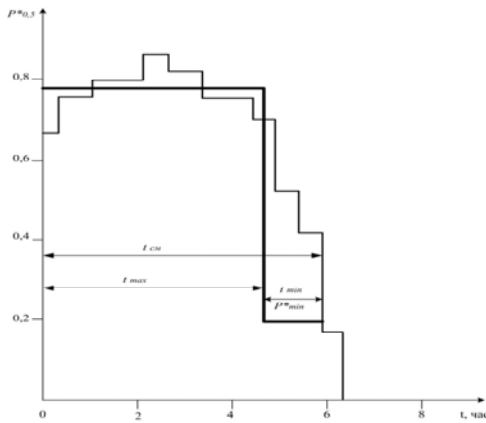


Рис. 1. Двухуровневая модель режимов ЭН потребителей железорудных шахт: 1 – график сменной нагрузки; 2 – двухуровневый эквивалент (модель) нагрузки

оценки среднего использована кроме точечной оценки интервальная оценка (при уровне значимости 0,05).

Статистики распределений сменного расхода электроэнергии основных энергоемких потребителей железорудных шахт приведены в табл. 2.

Таблица 2

Статистики распределений сменного электропотребления энергоемких потребителей железорудных шахт*

Потребители	Статистические характеристики							
	средняя	нижняя граница	верхняя граница	дисперсия, $D \cdot 10^{-2}$	среднеквадратическое $\cdot 10^{-1}$	коэффициент вариации, v	асимметрия, A	эксцесс, E
Установки главного водоотлива	0,937	0,88	0,98	0,11	0,33	3,52	-0,51	-0,52
Вентиляторы главного проветривания	0,75	0,70	0,80	0,22	0,46	6,11	0,01	-0,56
Компрессорные установки	0,73	0,69	0,77	3,05	1,75	23,9	0,08	-0,88
Подъемные установки	0,52	0,45	0,59	2,10	1,45	28,1	-0,60	-0,41

* В относительных единицах.

Экспериментальные интегральные и дифференциальные функции распределения сменного электропотребления энергоемких установок полиметаллических рудников приведены на рис. 2.

Анализ данных табл. 2 и графиков функций распределения (рис. 2) позволяет заключить следующее.

Сменное ЭП энергоемких потребителей железорудных шахт как случайная величина имеет унимодальное распределение с явно выраженным центром рассеяния и достаточно симметричным рассеянием отдельных значений относительно центра. В этой связи следует отметить, что распределения сменного ЭП для компрессорных и подъемных установок отличаются по характеру от их распределений ЭН.

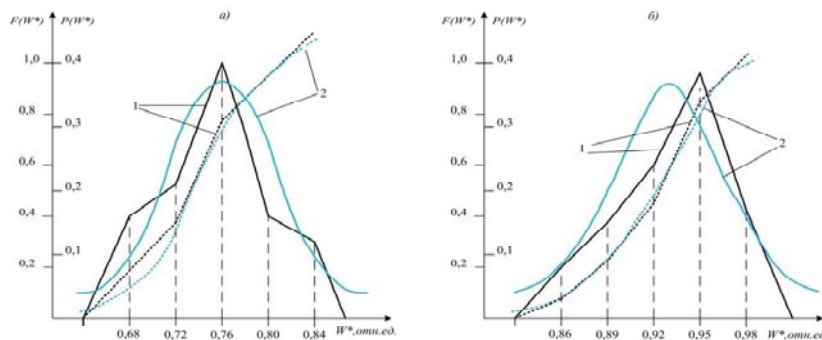


Рис. 2. Экспериментальные (1) и теоретические (2) статистические модели сменного электропотребления вентиляторных а) и водоотливных б) установок железорудных шахт

Это обстоятельство объясняется тем, что в течение смены по сравнению с получасовыми интервалами факторы, влияющие на рассматриваемые величины, имеют более однородный (в статистическом плане) характер.

Распределения сменного ЭП вентиляторных и водоотливных установок имеют меньшую изменчивость (коэффициенты вариации соответственно составляют 6,11 и 3,52 %) по сравнению с распределениями сменного ЭП компрессорных и подъемных установок (коэффициенты вариации - 23,9 и 28,1%). Таким образом, электропотребители с неоднородными режимами ЭН (компрессоры и подъемные установки) имеют и более "рассеянные" распределения сменного ЭП.

Большую плотность заполнения графика нагрузки имеют потребители водоотливных установок $M=0,93$, меньшую - потребители подъемных установок $M=0,52$.

Распределения сменного ЭП водоотливных и подъемных установок имеют большую часть своих значений слева от центра (левая асимметрия). Распределения сменного ЭП вентиляторных и компрессорных установок имеют большую часть своих значений справа от центра (правая асимметрия).

Распределения сменного ЭП для всех рассматриваемых энергоемких потребителей имеют выположенный характер, о чем свидетельствуют отрицательные значения эксцесса.

Для полного описания режимов сменного расхода электроэнергии требуется определение теоретических законов распределения. Вид экспериментальных распределений (рис. 2), незначительное рассеяние отдельных значений относительно центра (коэффициент вариации не превышает 33%) позволяют выдвинуть гипотезу о нормальном виде законов распределения. Проверка этой статистической гипотезы с помощью критерия согласия χ^2 Пирсона показала, что с доверительной вероятностью 0,95 для распределения сменного расхода электроэнергии может быть принят нормальный закон распределения.

Наблюдаемые χ_n^2 и критические $\chi_{кр}$ значения критерия Пирсона составляют, соответственно, для распределений сменного ЭП: вентиляторных установок - 1,9 и 6,0; водоотливных установок - 2,9 и 6,0; компрессорных установок - 4,2 и 6,0; подъемных установок - 2,8 и 6,0.

Таким образом, статистические модели сменного ЭП наиболее энергоемких потребителей железорудных шахт описываются выражениями

$$F(W^*) = [\sigma(W^*)\sqrt{2\pi}]^{-1} \int_0^{W^*} \exp\left\{-\frac{[W^* - M(W^*)]^2}{2\sigma^2(W^*)}\right\} dW^*, \quad (2)$$

$$f(W^*) = [\sigma(W^*)\sqrt{2\pi}]^{-1} \exp\left\{-\frac{[W^* - M(W^*)]^2}{2\sigma^2(W^*)}\right\}, \quad (3)$$

В (2) и (3) W^* - сменное электропотребление, отнесенное к номинальному сменному потреблению.

Анализ зависимостей сменного расхода электроэнергии от технологических факторов.

Режимы расхода электроэнергии зависят от многих производственных факторов.

Выделение действия каждого из них представляет собой практически неразрешимую задачу. В этой связи следует выделить основные факторы, которые оказывают влияние на ЭП в обобщающем (интегральном) виде и в значительной мере.

К таким факторам можно отнести: для вентиляторных установок - производительность (объем воздуха для проветривания) Q и депрессию F ; для водоотливных установок - производительность (объем перекачиваемой жидкости) Q ; для компрессорных установок - производительность (объем выработанного сжатого воздуха) Q , для подъемных установок - производительность (масса поднятой горной массы) Q .

Для оценки тесноты связи между указанными факторами и сменным расходом электроэнергии в соответствии с методическими принципами выполнен корреляционный анализ.

Для этой цели рассчитаны статистические характеристики (распределений и связей) для вышеуказанных факторов: средние M , среднеквадратические отклонения σ , ковариации τ , коэффициент корреляции r , приведенные в табл. 3.

Статистические характеристики распределения и связи между ЭП энергоемких потребителей железорудных шахт и обуславливающими его параметрами

Параметры	Статистические характеристики			
	М [*])	σ [*])	T	R
Производительность, м ³	Установки главного проветривания			
	4042	1206	4,38·10 ⁵	0,518
Депрессия, Па	1863	701	7,96·10 ⁵	0,840
Электроэнергия, кВт·ч	3385	1295	-	-
Производительность, м ³	Установки главного водоотлива			
	297	79	23,3	0,980
Электроэнергия, кВт·ч	1,1	0,30	-	-
Производительность, м ³	Компрессорные установки			
	23,9	6,1	2,92·10 ²	0,985
Электроэнергия, кВт·ч	1797	484	-	-
Производительность, м ³	Подъемные установки			
	274	97	5,42·10 ⁴	0,955
Электроэнергия, кВт·ч	1818	586	-	-

*¹) Размерность параметра

Корреляционные зависимости имеют вид:

для вентиляторных установок:

$$W = b_0 + b_1 \cdot F + b_2 \cdot Q, \quad (4)$$

для водоотливных, компрессорных и подъемных установок:

$$W = b_0 + b_1 \cdot Q. \quad (5)$$

Значения коэффициентов, входящих в зависимости (4) и (5), приведены в табл. 4.

Таблица 4

Коэффициенты корреляционных зависимостей ЭП от производственных факторов

Вид технологических установок	Значения коэффициентов		
	b ₀	b ₁	b ₂
Вентиляторные	-1,74 · 10 ³	1,55	0,56
Водоотливные	1,5 · 10 ⁻²	3,72 · 10 ⁻³	-
Компрессорные	-60	78	-
Подъемные	-237	576	-

Выводы и направление дальнейших исследований. Анализ приведенных в табл. 3 данных показывает наличие тесной корреляционной связи между производственными факторами и уровнем электропотребления.

Полученные зависимости позволяют выполнять оценку режимов сменного электропотребления в зависимости от производственных параметров, характеризующих основные энергоемкие потребители железорудных шахт.

Список литературы

1. Щуцкий В.И., Ляхомский А.В., Ковальчук Н.А. Статистические характеристики сменных нагрузок электроприемников при разработке россыпных месторождений. – Изв. вузов. – Горный журнал, 1995, № 3, – С. 76 – 80.
2. Електрифікація гірничого виробництва: Підручник для ВНЗ: у 2-х т. – Вид. 2-ге перероб. та допов./ За рецензією Л.О. Пучкова і Г.Г. Півняка. – Д.: Національний гірничий університет, 2010. т.1. – 503 с.
3. Синчук О.Н., Лесной Н.И., Пархоменко Р.А., Яловая А.Н. Оценка состояния и определение тактики повышения эффективности работы участковых подстанций железорудных шахт. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація, ВИП.25, Ч.ІІ - КНТУ, 2012, - С. 248-254

Рукопись поступила в редакцию 12.03.14

В.М. РАДИОНОВ, аспирант, Криворожский национальный университет

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОЦИКЛОНОМ С ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ ПАРАМЕТРОВ И ВЫБОРОМ ОПТИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

Рассмотрены общие вопросы формирования системы управления динамическими объектами. Определены критерии управления гидроциклоном-классификатором. Проведен краткий анализ существующих и перспективных моделей процесса. Гидроциклон, в предложенной системе управления, рассматривается как сложный динамический объект, в условиях неопределенности параметров и неполной информации о состоянии. Предложено пополнение и использование базы стандартных моделей с выбором лучшей, по определенным критериям, модели. Представлены результаты моделирования и зависимости изменений давления и гранулометрического состава от колебания свойств пульпы при выборе различных критериев.

Система управления гидроциклоном; ультразвуковые и априорные модели.

Анализ исследований и публикаций. Для более эффективного управления сложными динамическими объектами необходима идентификация и учет влияния различного рода неопределенностей на состояние объект управления [1]. В то же время зачастую отсутствует точное математическое описание объектов, либо существуют ограничения проведения прямых измерений параметров состояния объекта в процессе работы. Неопределенность параметров объекта управления, неполнота информации о математической модели накладывает значительное ограничение на используемые методы синтеза управлений. Для решения задач управления сложными динамическими многомерными объектами с несколькими входами и выходами (ММО - multi input, multi output), в условиях неопределенности или неполноты информации о состоянии объекта управления предназначены системы управления на основе робастных и адаптивных подходов, с возможностью идентификации недостающих параметров [2], что позволит повысить надежность систем, а также снизить технологические требования при их проектировании.

Для оценки состояния системы необходимо знать математическую модель исследуемого объекта. Рассмотренные модели описания гидродинамических процессов, в многофазных закрученных потоках гидроциклона [3,4], требуют достаточно сложных математических решений, или принятия определенных ограничивающих начальных условий, при несоответствии которым данные о модели объекта могут являться, в определенном диапазоне, неточными. Поэтому дополнительная настройка параметров модели по истории наблюдений за входами и выходами системы может существенно улучшить качество управления системой. Кроме того существуют эмпирически параметризованные модели, как априорные, так и полученные в ходе самого процесса, при достаточных возможностях информационно-измерительных систем многофазных, агрессивных, газонаполненных суспензий [4].

С развитием ультразвуковых средств воздействия и контроля состояния многофазных сред [5], в том числе агрессивных и газонаполненных, появилась возможность производить анализ состояния по целому ряду параметров в режиме реального времени и в темпе переходного процесса. Комплексное применение эффектов ультразвукового воздействия и контроля состояния пульпы позволяет отойти от сложностей математического описания сложно формализуемых, нелинейных, динамических процессов в турбулентном потоке гидроциклона [6,7], дав при этом возможность более точного и быстрого получения информации о текущем состоянии объекта управления.

Цель исследований. Разработка системы управления сложным многомерным объектом, гидроциклоном, на основе расширенной базы моделей

Изложение материала и результат. Для определения параметров динамических объектов используются различные методы параметрической идентификации. В частотной и временной областях, с явными или неявными идентифицирующими моделями и т.п. При этом задача параметрической идентификации часто должна выполняться в условиях неполноты информации о состоянии объекта, что выражается в том, что доступны измерению не все координаты вектора состояния исследуемого объекта, а зачастую только параметры входа и выхода. Поэтому возникает необходимость парамет-

рической идентификации, в каждый момент времени, векторного объекта в условиях неполноты информации о состоянии.

При этом важное значение имеет выбор эффективной информационно-измерительной системы (ИС), способной проводить текущую идентификацию параметров и оценивание вектора состояния в режиме работы гидроциклона. Адекватная по точности и скорости ИС позволяет применять нелинейные законы управления которые, как известно, более эффективны для объектов со сложной динамикой, особенно в переходных режимах.

Система управления гранулометрическим составом слива гидроциклона классификатора, посредством регулирования давления на входе гидроциклона, производит коррекцию давления при изменении параметров векторов состояния, при стохастичности изменения этих параметров, которая соответствует стохастическому изменению физико-химических свойств пульпы, поступающей после измельчения на классификацию.

При разработке структуры такой модели следует учитывать, что существуют такие режимы динамики, когда движение динамического объекта оказывается вырожденным (например, квазиустановившиеся процессы). В таких режимах оценка параметров модели только на основе данных текущего квазиустановившегося процесса становится некорректной и зачастую ошибочна, что приводит к некачественному управлению или даже к неустойчивой динамике замкнутой системы. Подобная ситуация характерна также и для режимов, близких к бифуркационным (для нелинейных динамических объектов с хаотическими свойствами). В этих случаях более адекватными моделями часто оказываются априорные модели, или эмпирически параметризованные модели процессов, уже происходивших в определенных, и ранее зафиксированных в базе, режимах работы аппарата, естественно с результатом соответствующим выходным критериям качества. Модели полученные на основе предыдущих измерений конкретных ситуаций, или их осреднения, модели, полученные из фундаментальных законов (гидродинамики, сохранения энергии, момента, импульса, масс и др.) могут определять нижний порог качества. [1,2]

Когда движение объекта не является вырожденным часто наиболее качественное управление получается на основе использования моделей, полученных из анализа текущего состояния, на основе данных адаптивной информационно-измерительной системы, состоящей из идентификаторов параметров и состояния.

Определяя параметры системы по результатам наблюдений векторных входа и выхода можно определить параметры системы исходя из минимума рассогласования выхода модели, и наблюдений объекта, во временной области, что соответствует минимизации следующего функционала (при нулевых начальных условиях)

$$J(\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}, \hat{D}) = \int_{t_0}^t \sum_{i=1 \dots r} e_i^2(t) dt, \quad (1)$$

$$e_i = Y_i - \hat{C}_i (sI - \hat{A})^{-1} \hat{B}U - \hat{D}_i U$$

где матрица системы A , элементы которой определяются структурной схемой системы и значениями ее параметров, характеризует динамические свойства системы, ее свободное движение. Матрица управления B характеризует влияние внешних воздействий на переменные состояния системы, т.е. определяет чувствительность системы к внешним воздействиям (задающим и возмущающим). Матрица наблюдения C характеризует связь выходной величины системы с вектором состояния. При гидравлической классификации в гидроциклонах не все составляющие вектора состояния являются наблюдаемыми сигналами, т.е. могут быть измерены с помощью каких-либо датчиков, в то время как входной и выходной сигнал всегда наблюдаем. Матрица связи D устанавливает связь выходной величины системы с внешним воздействием.

Для непрерывного случая в качестве критерия качества можно выбрать интегральный квадратичный критерий

$$J(C, D) = \int_0^t \sum_{i=1}^r e_i^2(t) dt, \quad (2)$$

где $e(t) = Y - C\hat{X} - DU$ - ошибка между выходами системы и модели.

Критерий (23) минимизируется только по коэффициентам матриц C, D . Начальные условия и параметры матриц A, B принимаются из модели (3)

$$\begin{cases} \dot{\hat{X}} = \hat{A}\hat{X} + \hat{B}U \\ \hat{Y} = \hat{C}\hat{X} + \hat{D}U; \quad \hat{X}(t_0) = \hat{X}_{ic}. \end{cases} \quad (3)$$

Тогда оптимальной оценкой матриц C и D по критерию (2) будет являться следующая

$$\begin{bmatrix} \hat{C} \\ \hat{D} \end{bmatrix} = \left(\int_0^t Y(t) \begin{bmatrix} \hat{X}(t) \\ U(t) \end{bmatrix} dt \right) \left(\int_0^t \begin{bmatrix} \hat{X}(t) \\ U(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{X}^T(t) & U^T(t) \end{bmatrix} dt \right)^{-1} \quad (4)$$

где $\hat{X}(t)$ - решение системы (3) в момент времени t .

Использование фильтров в задачах параметрической идентификации в первую очередь связано со сложностями определения производных по времени от входного и выходного сигналов при наличии шумов в измерениях. В связи с этой проблемой существует целый ряд методов определения параметров динамических систем в условиях шумов измерений, такие как метод модулирующих функций, метод моментов, «фильтры состояния».

Если обозначить через W - вектор параметров «фильтров состояния» (параметры числителя и знаменателя передаточных функций фильтров, постоянные времени и т.д.), то разным параметрам фильтров состояний будут соответствовать разные значения критерия (1), таким образом, находятся оптимальные параметры «фильтров состояния»

$$\hat{W} = \arg \min J(W). \quad (5)$$

Построение адаптивной системы требует создания математической структуры, интегрирующей в себя как априорные модели динамики объекта, так и алгоритмы параметрической идентификации объекта, оценку вектора состояния динамической системы, синтез управления объектом.

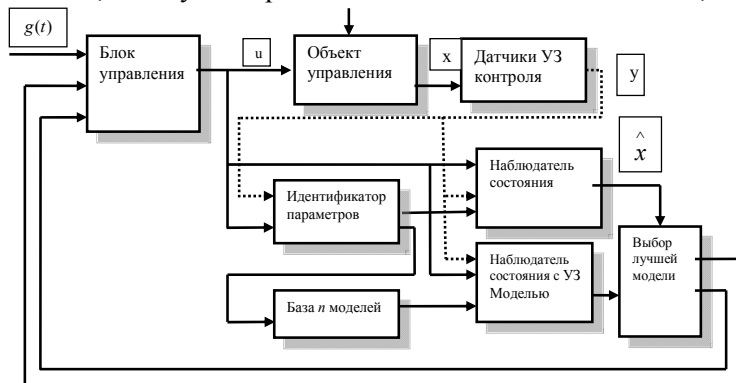


Рис.1. Структурная схема адаптивной системы управления гидроциклоном с базой ультразвуковых ситуационных моделей

Рассмотрим систему управления в которой вместе с математической моделью, которая будет ограничивать нижний порог качества системы, и ультразвуковой модели текущего состояния введем контур с уже эмпирической базой ультразвуковых моделей определенных ситуаций.

Имея текущую и априорную(математическую) параметризованные, в том числе с помощью ультразвуковых средств воздействия и контроля, модели, исходя из выше изложенного, оцениваются выходные критерии, и проводится выбор модели. Одновременно текущая параметризованная модель сохраняется в базе моделей, при этом сохраняются параметры векторов входа-выхода и результат соответствующий достижению определенного качественного критерия. Далее происходит повторное сравнение на совпадение параметров входа-выхода (поиск в базе модели конкретной ситуации по идентичности начальных условий) при нахождении результирующее сравнение с выбором лучшей по качественному критерию параметризованной модели, при этом в базе сохраняется лучшая модель конкретной ситуации. Так происходит улучшение базы моделей определенных динамических ситуаций.

Выводы. Предложенная система управления многомерного объекта по состоянию векторов входа-выхода, и базой ультразвуковых ситуационных моделей интегрирует в себе элементы систем управления с эталонной моделью, элементы адаптивных и «обучающихся» систем. Открывает возможности применения нелинейных регуляторов в динамических режимах, алгоритм предотвращения возникновения неустойчивости системы в режимах близких к установившимся. При этом сокращается длительность переходных процессов и повышается качество управления гранулометрическим составом слива гидроциклона.

Список литературы

1. **Надеждин О.В.** Координатно-параметрическая идентификация динамической системы с векторными входом и выходом// Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. - 2009. - №6. - С. 50-63.
2. **Надеждин О.В.** Матричная идентификация нелинейного нестационарного объекта управления// Междуна. школа-семинар БИКАМП-03: Сб. трудов. -СПб:СПбГУАП, 2003. -С.68-71.
3. **В.С. Моркун, В.М. Радионов** Моделирование процесса классификации железорудной пульпы с учетом ее физикохимических свойств. , Вестник Криворожского национального университета, вып. 33, 2012, с48-53.
4. **Евтюшкин Е.В.** Математическое моделирование движения дисперсной фазы и сепарации в гидроциклоне // Автореферат, Томский Государственный Архитектурно-строительный университет. Томск, 2007.
5. **Моркун В.С.** Ультразвуковой контроль характеристик измельченных материалов и адаптивное управление процессами измельчения-классификации руд на его базе: дисс. докт. техн. наук: 05.13.07 // **Моркун Владимир Станиславович** - Кривой Рог, 1999.
6. Numerical Simulation of Solid-liquid Flow inHydrocyclone J. Zhang, X.-Y. You, and Z.-G. Niu, China, *Chem. Biochem. Eng. Q.* 25 (1) 37–41 (2011)A.
7. **Griffiths W.D. and Boysan F.** (1996). Computational Fluid Dynamics (CFD) and Empirical modeling of The Performance of A Number of Cyclone Samplers, *Aerosol Science.* 27: 281-30.

Рукопись поступила в редакцию 12.03.14

УДК [620.92.002.2: 621.31]: 339.977

М.С. ЧЕТВЕРИК, д-р техн. наук, проф., ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины

СМЕНА ВО ВРЕМЕНИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МИРА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОНОМИКУ И ЭКОЛОГИЮ

Рассмотрены виды энергетического обеспечения мирового сообщества от древнейших времен до современности. Приведена теория смены во времени энергетических систем мира, которая на основании установленной закономерности уменьшения их продолжительности эффективного применения позволяет определить время перехода к последующей.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Развитие мирового сообщества сопровождается непрерывным ростом его энергетического обеспечения, необходимого как для улучшения благосостояния, так и в связи с увеличением народонаселения.

С древнейших времен по мере развития технического прогресса изменяются виды энергетического обеспечения или их применяется несколько, образуя систему. Малопроизводительные или неэффективные виды энергетического обеспечения, или их системы, с течением времени заменяются другими, их удельный вес в общем энергетическом обеспечении снижается. Эта замена сопровождается как изменениями в технике и технологии, так и изменениями в общественном развитии: изменению потребностей, вспышке безработицы [1]. Применяется следующая терминология.

Энергетическая система - применение одной или одновременно нескольких видов энергетического обеспечения

Вид энергетического обеспечения - механические или электрические устройства, которые приводятся в действие определенным видом энергии: механическая (водяная, ветровая, паровая); электрическая (тепловая, гидравлическая, атомная).

Анализ исследований и публикаций. Рассмотрены виды энергетического обеспечения мирового сообщества от древнейших времен до современности. Для этого использованы различные источники (более 70): литература, а также информационные данные интернет - сайтов свободного доступа. В рассмотренных публикациях проанализированы виды энергетического обеспечения, время их возникновения и применения в различных странах и регионах, а также в различных отраслях хозяйственной деятельности.

Постановка проблемы. Проведенный анализ применения видов энергетического обеспечения свидетельствует о смене энергетических систем со временем. Однако не установлена взаимосвязь между продолжительностью применения энергетической системы и временем ее замены другой. Смена энергетических систем оказывает определенное влияние на

экономическое развитие и экологию. Поэтому определение срока перехода от одной энергетической системы к другой имеет важное значение, поскольку позволяет наметить пути, обеспечивающие менее болезненный переход.

Изложение основного материала и результаты. Свыше 2600 лет человечество применяло водяные и ветровые энергетические установки. В 800 г. до Р.Х. водяные мельницы в Риме имели колесную зубчатую передачу, которая изменяла сравнительно медленные повороты расположенного горизонтально мельничного колеса в быстрое вращение вертикально укрепленного жернова. Водяные колеса приводили в движение кузнечные меха, точильные камни и пилы.

Кузнечный молот, приводимый в движение водяным двигателем, значительно продвинул вперед обработку металлов. Водяное колесо нашло применение также при добыче руды и угля - для подачи воздуха в шахту или откачивания грунтовых вод. И только с 1800 г. на смену им пришли паровые энергетические установки, которые просуществовали всего 150 лет, в 17 раз менее продолжительно, чем водяные.

Как следует из анализа данных до IX столетия применялись механические, а после - электрические энергетические установки. По каждому виду энергетического обеспечения определено начало широкого промышленного применения, затухание или конец применения. Виды энергетического обеспечения по мере развития технического прогресса изменяются. Продолжительность использования во времени каждого последующего вида энергетического обеспечения уменьшается. Время затухания данного вида энергетического обеспечения устанавливалось исходя из того, что ему на смену приходил другой, который был уже главным в какой либо стране или регионе. Так, период затухания тепловых электростанций определен исходя из того, что на смену им пришли атомные электростанции. Они в некоторых странах стали доминирующими, например во Франции, Японии, Украине. Гидроэлектростанции в мире потеряли свое доминирующее значение в энергетическом обеспечении. Определено время наиболее эффективного применения каждого вида энергетического обеспечения, а также продолжительность его применения (табл. 1).

Таблица 1

Развитие энергетических систем мира во времени							
Виды энергии	Виды энергетического обеспечения	Начало широкого промышленного применения T_n , год	Затухание или конец широкого промышленного применения, T_k , год	Наиболее эффективное применение (расцвет), T_p , год	Продолжительность применения, лет		
					факт.	соответственно кривой эффективного применения	по прогнозу
Механическая	Водяные энергетические установки, ВдЭУ	800 г до Р.Х.	1850	500	2650	-	-
	Ветровые энергетические установки, ВтЭУ	700	1950	1200	1250	-	-
	Паровые энергетические установки, ПЭУ	1800	1950	1900	150	150	204
Электрическая	Тепловые электростанции, ТЭС	1900	2010	1950	-	110	129
	Гидроэлектростанции, ГЭС	1900	1985	1960	-	85	129
	Атомные электростанции I поколения, АЭС	1975	2045	2010	-	70	78
	Атомные электростанции IV поколения, АЭС	2020	2055	2050	-	35	48

На основании полученных данных построена диаграмма продолжительности применения энергетических систем во времени (рис. 1).

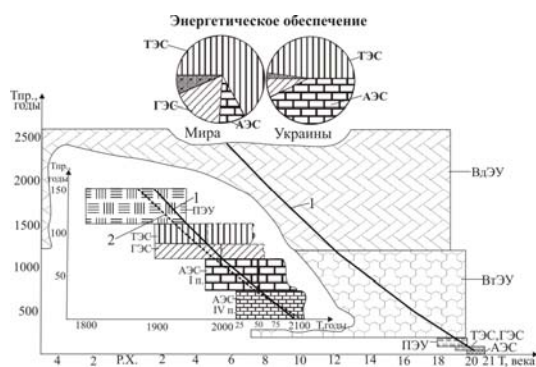


Рис. 1. Изменение во времени энергетического обеспечения: 1 - кривая эффективного применения видов энергетического обеспечения; 2 - кривая прогноза эффективного применения видов энергетического обеспечения

Поскольку продолжительность применения каждой последующей энергетической системы, например, паровой, после ветровой и водяной, существенно уменьшается, то применение всех последующих систем на рисунке приведено в увеличенном масштабе. Годы наиболее эффективного применения энергетических систем

соединены кривой I , которая названа зависимостью продолжительности эффективного использования вида энергетического обеспечения во времени. В таблице приведены данные продолжительности эффективного применения ТЭС, ГЭС, АЭС I и IV поколений.

Несмотря на широкое применение в мире тепловых электростанций (ТЭС) с 60-х годов темпы эффективного их применения стали снижаться. Это объясняется тем, что традиционные тепловые электростанции достигли предела своего совершенства, определяемого законами термодинамики и свойствами материалов, из которых изготавливают котлы и турбины. С начала 70-х годов эти технические факторы усугубились в связи с ростом капитальных затрат, увеличением сроков строительства электростанций, повышением требований к защите окружающей среды от вредных выбросов. В результате стоимость производства электроэнергии из угля резко возросла. Поэтому с 2010 г. начинается постепенное затухание применения ТЭС.

Следует несколько остановиться на некоторых основных направлениях в атомной энергетике. Создание мощных атомных электростанций имеет недостатки: большие капитальные вложения и увеличение стоимости электроэнергии; большие сроки строительства атомных электростанций большой мощности, достигающие 5-10 лет; авария на больших атомных станциях поражает и большее пространство. Эти недостатки привели к повышенному спросу на достаточно мощные, но компактные и недорогие атомные электростанции. Поэтому в атомной энергетике развивается направление - создание и использование мини атомных электростанций - маломодульные реакторы (АЭС ММР). Атомные электростанции мощностью 1000 МВт и менее называют «мини». В ряде стран разрабатывают проекты и создают мини-АЭС мощностью от 10 до 1000 МВт. Крупные атомные электростанции обладают элементами активной безопасности, требующими для правильного функционирования взаимодействия с человеком. Малые модульные ядерные реакторы обладают элементами пассивной безопасности, основанными на физических законах. Малые модульные ядерные реакторы производят на заводах и транспортируют к месту размещения. Это снижает стоимость и сроки строительства. Прогноз продолжительности эффективного использования последующего определенного вида энергетического обеспечения мира, определен исходя из следующего. Продолжительность применения очередного вида энергетического обеспечения $T_{пр}$ определим путем нормирования продолжительности применения предыдущей энергетической системы $T_{пр.с}$ относительно прогнозируемого года ее широкого промышленного применения, лет

$$T_{пр.с} = (T_o - T_n) / T_n K,$$

где T_o - прогнозируемый конечный год отсчета; $T_o=2100$ г; T_n - прогнозируемый год широкого промышленного применения, год; K - коэффициент; $K=1,02$.

Для построения графика прогноза продолжительности применения энергетических систем принимаем $T_n = T$, где T - текущие и прогнозируемые годы. Тогда, лет

$$T_{пр} = T_{пр.с} (T_o - T) / TK.$$

Как следует из табл. 1 и графика (см. рис.1), кривая эффективного применения и кривая прогноза эффективного применения энергетических систем близки.

Энергетическое обеспечение мира постоянно совершенствуется. В будущем можно предположить, что следует из обширных исследований в различных областях по разработке, обоснованию новых эффективных систем энергообеспечения [2], возможен переход к автономному энергетическому обеспечению не только предприятий, поселков, но и индивидуальных зданий. И это может наступить, как следует из табл. 1, начиная с 50 годов нынешнего столетия.

Такое неизбежное развитие энергетического обеспечения приведет к существенным изменениям в промышленности, экономике, экологии, социальном состоянии общества.

Это исходит из следующего. Основное энергетическое обеспечение в мире осуществляется тепловыми электростанциями (см. рис.1), что требует для производства электроэнергии свыше 6,5 млрд т угля. Из них Китай добывает около 3 млрд т угля и 1 млрд добывают в США. Для добычи угля используют огромное количество металла, электроэнергии, железнодорожных перевозок и др.

Для выполнении этих работ занято большое количество рабочей силы, населения. Как производство электроэнергии, так и добыча угля, других горючих ископаемых приводит к существенным необратимым нарушениям окружающей природной среды.

В США предусматривают замену угольных блоков на ТЭС «мини» атомными электростанциями.

Страны с большим количеством населения и малым энергетическим обеспечением на душу населения (Китай, Пакистан, Индия и др.) не намечают строительство крупных тепловых электростанций.

Китай является одним из лидеров по созданию мини атомных электростанций на быстрых нейтронах и планирует их создавать не только у себя, но и в Пакистане.

Отсюда следует, что добыча угля в мире в ближайшие 15-20 лет, как следует из прогноза развития тепловой энергетики (см. рис. 1), может существенно сократиться.

Следовательно, уменьшится потребность в металле, электроэнергии, рабочей силе как в угольной, металлургической, так и в других отраслях промышленности.

Это может привести не только к снижению затрат на производство продукции, но и крупным социальным проблемам.

Замена тепловых электростанций атомными или другими системами энергетического обеспечения положительно отразится на состоянии окружающей среды [3]: не будет нарушаться геологическая среда, улучшится состояние атмосферы и водной среды.

Выводы и направления дальнейших исследований. Рассмотрены виды энергетического обеспечения мирового сообщества от древнейших времен до современности.

Приведена теория смены во времени энергетических систем мира, которая на основании установленной закономерности уменьшения их продолжительности эффективного применения позволяет определить время перехода к последующей.

При снижении добычи энергетических углей уменьшится потребность в металле, электроэнергии, рабочей силе как в угольной, металлургической, так и в других отраслях промышленности.

Это может привести не только к снижению затрат на производство продукции, но и крупным социальным проблемам.

Замена тепловых электростанций атомными или другими системами энергетического обеспечения положительно отразится на состоянии окружающей среды: не будет нарушаться геологическая среда, улучшится состояние атмосферы и водной среды.

Список литературы

1. Булат А.Ф., Четверик М.С. Проблемы горного дела, энергетики и экологии. Геотехнічна механіка: Між-від.зб. наук.праць /І нститут геотехнічної механіки ім.М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2013. - Вип. 110. - С. 3-13.

2. Соломин Е.В. Возобновляемые источники энергии. Новые возможности человечества. Альтернативная энергетика и экология, 2013, №10. С. 38-40.

3. Гринько Н.К. Охрана окружающей среды на примере угольной промышленности. Уголь. М., 2013. - №11. - С. 30-33.

Рукопись поступила в редакцию 02.04.14

УДК 658.38: 622.8

О.В. ГНЕННА, аспірантка, Криворізький національний університет

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЩОДО ОЦІНКИ РИЗИКУ З ОХОРОНИ І БЕЗПЕКИ ПРАЦІ НА ГІРНИЧОДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ КРИВБАССУ

Розглянуто основні питання, які необхідні при обробці та узагальненні інформації щодо ідентифікації небезпек. Виділені головні методи оцінки ризику і наведені заходи боротьби з травматизмом на виробництві.

Ключові слова: виробничий травматизм, система управління охороною праці, оцінка ризику, небезпечні ситуації, профілактика травматизму, нещасний випадок, метод «HAZID», «Bow-Ti», дослідження безпеки робіт «ДБР», «ENVID».

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Безпека на виробництві є одними з найбільш важливих питань. Шахтарі і металурги пов'язані з роботою в умовах підвищеної небезпеки. Спираючись на кращі світові практики, розроблені заходи щодо побудови єдиної системи підвищення безпеки з ОП, яка ґрунтується на принципах згідно з якими усі травми і аварії можуть і повинні бути попереджені.

Аналіз досліджень і публікацій. Для досягнення нульового травматизму і аварійності група Метінвест розробила вперше на підприємствах ПАТ «Центральному ГЗК», ПАТ «Інгулецькому ГЗК» і ПАТ «Північному ГЗК» у відповідності з прийнятою політикою і принципами в галузі ОП, ПБ і ОНС нормативно-методичні рекомендації щодо ідентифікації небезпек і оцінки ризику, не обмежуючись вимогами законодавства. Головної стратегії формування культури безпеки на виробництві, досягають створюючи додаткові механізми забезпечення надійності.

У 2012 р. прийнято новий стандарт щодо «Оцінки і зниження ризику виробничих процесів», який вводить процедуру оцінки ризиків за міжнародною методикою HAZID (hazard identification), Bow-Ti, ДБР, а також процедуру щодо навколишнього середовища методикою ENVID. Таким чином, по всім виробничим процесам описуються ризики і розробляються конкретні заходи щодо їх зниження. Формується єдиний підхід до проведення оцінки ризику на робочому місці і щодо навколишнього середовища [1].

Постановка завдання. Для підвищення рівня безпеки робіт, розробляються корпоративні стандарти, які доповнюють існуючі норми і вимоги які пов'язані з поведінкою працівника і з роботою обладнання. На сьогодні найбільш високий пріоритет є процес запобігання травмування працівників на виробництві, наприклад, стандарт «Організація безпечної роботи на висоті» виявився необхідний у зв'язку із значною кількістю зареєстрованих травм, пов'язаних з падінням з висоти і з важкістю їх наслідків. Сьогодні такі випадки становлять близько 30 % від загального травматизму. Перед ремонтом і обслуговуванням обладнання, працівники повинні відключити його від усіх джерел живлення і зафіксувати точку відключення, це є найважливішою сутністю стандарту «блокування, маркування і перевірки».

Отже, обладнання не може прийти в рух випадково або з чиєїсь необережності. Найкритичнішими з точки зору ОП, ПБ і ОНС називають професії, у яких раптове погіршення самопочуття працівника може створити загрозу для життя як одного так і декількох осіб, призвести до аварії або екологічної кризи або інциденту із значним матеріальним збитком, наприклад, це водії автобусів або важкої техніки [1].

Викладення матеріалу та результати. Застосування методів HAZID, Bow-Ti, ДБР, ENVID не потребують запрошення зовнішньої експертної підтримки, оцінка зазвичай виконується співробітниками компанії. Оцінка за даними методами у багатьох випадках проводиться спільно з підрядниками. Такі методи універсальні і можуть застосовуватись як для відокремлених, так і для взаємопов'язаних видів діяльності і технологічних процесів. Область застосування і ступінь глибини методів може змінюватись.

Для проведення оцінки, при використанні методів особи, що приймають рішення, створюють робочу групу (РГ), у яку входять представники, які мають досвід: фахівці з ОП, ПБ, ОНС, які мають досвід проведення оцінки за методами HAZID, Bow-Ti, ДБР, ENVID, а також секретар, спонсори які представляють методи, менеджери проекту, інженери проекту, керівники виробництва, інженери технологи, фахівці з технічного обслуговування і інші. Найважливішою вимогою для застосування методу є включення у групу оцінки учасників, які не є фахівцями з ОП, ПБ і ОНС, але які володіють розумінням оцінюваних видів робіт, визначають тривалість оцінки [1].

Під методом HAZID представляють якісну оцінку ризику ОП, ПБ і ОНС. Він полягає у розділенні процесу або об'єкту на елементи і систематичному аналізі небезпек і ризиків для кожного елемента окремо, його застосовують щодо поточних або запланованих процесів. Якщо розглядати метод докладніше, можна сказати, що це один з основних методів систематичної і структурованої оцінки ризиків ОП, ПБ і ОНС на різних етапах проекту і у процесі виробничої діяльності.

Підготовка оцінки Головою HAZID виконується не більше ніж 5 днів, 3 дні робочою групою, в якій знаходиться від 6 до 12 фахівців, 3 дні виділяється на оброблення результатів.

Практика показує, що оптимальна загальна кількість учасників оцінки, що забезпечує її ефективне проведення, знаходиться у межах 12 осіб.

В основному, даний метод використовується у наступних випадках: на усіх етапах проекту для надання інформації з ОП, ПБ і ОНС для інженерно-конструкторських робіт, планування різних видів діяльності і розроблення процедур; при підготовці до безпечного виконання конкретного блоку робіт, пов'язаного з проектом або виробничою діяльністю; у якості базового HAZID у циклі оцінки ризиків виробничих процесів; при повторній оцінці ризиків і заходів управління ризиками для існуючих технологічних процесів, різних об'єктів, а також виробництва, технічного обслуговування і іншої штатної діяльності [2].

Для досягнення успішного результату, велике значення має визначення загальної мети і області застосування методу, крім того, із спонсором HAZID, при цьому слід уникати постановки нечітких цілей, оскільки це ускладнює взаємодію і знижує ефективність процесу.

Після того, як загальна мета і область застосування сформульовані, визначаються чіткі межі методу, приймається рішення про те, що саме буде розглядатися під час проведення методу, а що буде виключено з оцінки. Визначають логічну структуру, яка представляє собою послідовне розміщення елементів для покрокового мозкового штурму і проведення оцінки, підсумкова структура оцінки вноситься у робочу таблицю HAZID, яку використовують у ході оцінки. При виконанні оцінки використовують перевірочний аркуш і ключові слова, які дозволяють полегшити і забезпечити повноту оцінки [2].

Підводячи підсумок, можна зазначити, що оцінку за методом HAZID можна представити у вигляді: Пояснення щодо видів діяльності або об'єктів, які підлягають оцінці; Проведення інструктажу щодо мети, області, методу і тривалості оцінки; Проведення аналізу щодо структури методу, при необхідності, заносяться зміни, і для подальшої роботи структура проектується на екран; Проведення покрокового колективного обговорення, так званого, мозкового штурму, і оцінку кожного аспекту методу. Спосіб проведення обговорення може змінюватись у залежності від уподобань, а також з урахуванням складу робочої групи. Такий підхід допомагає підвищити вимоги до безпеки праці, вони можуть застосовуватись не тільки на наших підприємствах, але і для інших замовників, зберігаючи життя робітників [2].

Для кращого застосування методу HAZID експертами рекомендуються використовувати наступні підходи: пропонують учасникам групи висловити свою думку щодо можливих ризиків, які пов'язані з першим аспектом, у ході підтримують вільний хід обговорення. Секретар заносить опис ризиків до таблиці оцінки HAZID, яка проектується на екран. Описують усі три елемента "ключової трійки": небезпека-подія-наслідок. Ризики заносяться до таблиці, тільки якщо усі учасники групи згодні з тим, що ці ризики дійсно пов'язані з аспектом який їх цікавить; після завершення колективного обговорення уточнюють, які ще питання і небезпеки не були розглянуті, і обговорюють їх. При виконанні цієї оцінки використовують ключові слова, щоб переконатися у тому, що були розглянуті усі відповідні небезпеки. Секретар заносить узгодження опису ризиків до таблиці; Завершивши визначення ризиків проводять ініціювання аналізу цих ризиків. Спочатку визначається рівень поточного ризику для кожного ризику з використанням Матриці оцінки ризиків у сфері ОП, ПБ і ОНС за умови, що додаткових заходів щодо зниження ризиків немає. Після цього члени групи визначають можливі заходи щодо зниження ризиків середнього і високого рівнів, до прийнятного рівня, ґрунтуючись на принципі ALARP, і визначають рівень залишкового ризику з урахуванням додаткових заходів щодо зниження ризиків. Якщо для зниження ризиків потрібні додаткові заходи, необхідно чітко сформулювати наступні дії і визначити для проведення заходів відповідальних і встановити терміни їх виконання. Оцінка методом HAZID завершується перевіркою ключової інформації. Крім того, переглядають опис ризиків середнього і високого рівнів, щоб переконатися, що усі члени групи згодні з формулюваннями ризиків, рівнями ризиків, рекомендованими методами зниження ризиків, а також із відповідальними сторонами і ризиками виконання дій [2].

У результаті, після завершення оцінки ризиків, розробляють робочу таблицю методу, основне завдання якої, дати чіткий опис ризиків. Найважливішою вимогою, є опис так званої "ключової трійки": "небезпека-подія-наслідок", а також заповнений стовбчик небезпек. Велике значення має описання ризику повністю, оскільки різні сценарії, що призводять до однакових наслідків, потребують різних заходів управління, приміром це пожежа на складі, яка може бути

викликана блискавкою, курінням, роботами пов'язаними з нагріванням або застосуванням полум'я під час ремонту [2].

Під методом ENVID представляють оцінку негативного впливу і ризику щодо навколишнього середовища. Він є широко застосовуваний метод систематичної та структурованої оцінки негативних впливів і ризиків щодо навколишнього і соціального середовища на різних етапах проекту і у процесі виробничої діяльності. Питання, пов'язані з навколишнім середовищем, можуть розглядатися у ході інших оцінок ризиків ОП, ПБ і ОНС, наприклад, метод HAZID, проте більшість з них у основному фокусуються на питаннях безпеки.

Практика показує, що оптимальна загальна кількість учасників оцінки, що забезпечує її ефективне проведення, знаходиться у межах 15 осіб. Крім того, підготовка виконується 7 днів Головою ENVID, 3 дні робочою групою, у якій знаходиться від 6 до 12 фахівців, 3 дні виділяється на оброблення результатів.

Даний метод використовується у наступних випадках: на усіх етапах проекту, і особливо на ранніх етапах проекту, для надання інформації для інженерно-конструкторських робіт, планування різних видів діяльності і розроблення відповідних стандартів і процедур; у процесі виробничої діяльності для оцінки екологічного впливу і ризику, а також для оцінки результативності існуючих заходів попередження і зниження впливів і ризиків та результативності заходів відновлення; при підготовці області застосування і складу більш детальних екологічних досліджень, наприклад, детального процесу ОВНС і детальної оцінки соціальних впливів; при визначенні пріоритетів щодо заходів відносно зниження впливу на навколишнє середовище.

Наступним є визначення уразливих і значущих компонентів екосистеми і соціального середовища, які включають: флору і фауну, яка є високочутлива до змін у стані навколишнього середовища; рідкісні види флори і фауни які знаходяться під загрозою зникнення; заповідні зони або ландшафтні заповідники.

Наступним етапом є визначення області застосування методу, який визначається поетапно: визначення меж і підготовка попереднього переліку аспектів методу, який включає компоненти процесу або діяльності в рамках цих меж; визначення ключових нормативних вимог відносно методу; визначення ключових проблем екологічного і соціального характеру і типових ризиків; встановлення зв'язків між виявленими проблемами екологічного і соціального характеру, типовими ризиками, уразливими і значущими компонентами екосистеми та соціального середовища, з одного боку, та попередніми аспектами ENVID, з іншого боку; визначення ступеня застосовності проблем екологічного і соціального характеру, типових ризиків, вразливих і значущих компонентів екосистеми і соціального середовища для кожного з попередніх аспектів ENVID [3].

Наступним є підготовка Таблиці оцінки ENVID, на основі питань і аспектів, класифікованих як "відповідні" в ході визначення області застосування методу. До таблиці входять відповідні компоненти діяльності, а також ключові проблеми екологічного і соціального характеру і типові ризики, класифікованих як "відповідні" для даної оцінки. Також, готують допоміжні матеріали, такі документи можуть включати ескізи, карти екологічно вразливих районів і ін. Останнім етапом методу ENVID є складання переліку учасників і визначення тривалості оцінки, а також підготовка повідомлення учасникам попередньої інформації щодо ENVID.

Коли сформульовано усі етапи проведення методу, переходять до безпосередньої оцінки: Надають коротке пояснення щодо видів діяльності, які підлягають оцінці, інструктують робочу групу щодо мети, області, методу і тривалості оцінки; після завершення інструктажу робоча група проводить аналіз структури методу. При необхідності, вносяться зміни, і структура проектується на екран для подальшої роботи; Після закінчення визначення структури ENVID починається покрокове колективне обговорення і оцінка кожного аспекту методу [3].

Рекомендується наступний підхід послідовності оцінки: Голова озвучує перший аспект даного методу і попередній перелік екологічних проблем і типових ризиків для даного аспекту і пропонує учасникам групи перевірити, чи усі потенційні реципієнти впливів визначені. Якщо виявляються додаткові реципієнти, їх вказують у відповідному стовбці таблиці оцінки методу; Переходять до етапу "мозкового штурму" для визначення екологічних ризиків щодо реципієнтів негативного впливу, що відносяться до даного аспекту. Як правило, для одного ас-

пекту можна визначити кілька різних негативних впливів і сценаріїв ризику. Виявлений негативний вплив і ризик реєструють окремо; Потім робоча група оцінює виявлений вплив за допомогою Матриці оцінки негативного впливу, щоб встановити рівень поточного ризику за допомогою Матриці оцінки ризиків ОП, ПБ і ОНС - щоб встановити рівень поточного ризику. Поточний рівень означає рівень негативного ризику, існуючий до застосування додаткових заходів щодо зниження такого негативного ризику. Якщо порушені кілька реципієнтів, загальний рівень негативного ризику визначається по відношенню до реципієнта, для якого визначений найвищий рівень негативного впливу; Після цього члени групи визначають можливі заходи щодо зниження негативного впливу, до прийнятного рівня, ґрунтуючись на принципі ALARP, і визначають рівень залишкових негативних ризиків з урахуванням додаткових заходів щодо їх зниження. Якщо для зниження ризиків потрібні додаткові заходи, необхідно чітко сформулювати усі відповідні заходи і визначити для них відповідальних і встановити терміни їх виконання. Секретар вносить цю інформацію до таблиці методу, що проектується на екран; Оцінка ENVID завершується перевіркою ключової інформації. Переглядається опис ризику середнього і високого рівнів, щоб переконатися, що усі члени групи згодні з формулюваннями негативного впливу, рівнями ризику, рекомендованими заходами щодо зниження ризику, а також із відповідальними сторонами і термінами виконання дій; Наступний етап – опційний, такий метод може включати визначення пріоритетів щодо заходів відносно зниження ризиків. Визначення пріоритетів базується на ранжуванні заходів щодо зниження ризиків з урахуванням таких факторів: Вартість заходів щодо зниження ризику; Рівень негативного впливу до зниження; Результативність заходів щодо зниження ризику; Управлінський пріоритет щодо розглянутих заходів [3].

Для кожного з цих чинників встановлюється трирівнева система бальної оцінки. Підсумковий бал зараховується шляхом множення усіх окремих балів.

Метод Wow-Тіє дає наочний опис оцінки ризику ОП, ПБ, ОНС із застосуванням наочного представлення сценаріїв "небезпека-подія-наслідки", а саме так званих сценаріїв ризику, і заходів щодо управління ризиками, а також конкретних небезпечних подій. Важливою перевагою даного методу є його здатність встановлювати і демонструвати виразний зв'язок між ризиками ОП, ПБ, ОНС і заходів з управління ризиками. Особливість методу може слугувати дієвим засобом інформування і навчання [4].

Як правило, із застосуванням методу Wow-Тіє можна оцінити декілька небезпечних подій у день. Іноді у цілях наочного подання і звітності використовують спеціальне програмне забезпечення. Метод оцінки Wow-Тіє застосовується при цільових оцінках ризику для ретельного аналізу конкретної небезпечної події або подій, визначення заходів щодо управління ризиками ОП, ПБ, ОНС, пов'язаних з небезпеками, подією і наслідками, а також для наочного подання інформації. Підготовка проведення оцінки методом виконується не більше 5 днів Головою Wow-Тіє, 3 дні оцінка виконується робочою групою, 3 дні виділяють для оброблення результатів. Необхідно зазначити, що витрати часу і зусиль на підготовку і проведення оцінки залежать від кількості оцінюваних небезпечних подій із цієї причини можуть істотно варіюватися. Практика показує, що оптимальне загальна кількість учасників оцінки, що забезпечує її ефективне проведення, знаходиться у межах 15 осіб. Підготовка до оцінки починається з вибору небезпечної події і визначення цілі і сфери застосування оцінки Wow-Тіє.

Небезпечні події визначають за допомогою аналізу відомих небезпек і ризиків, використовуючи наявну інформацію, зокрема, опис процесу, схеми технологічного процесу, результати попередніх оцінок ризику, реєстри ризику і звіти про події. За підсумками вибору небезпечних подій формується ціль, область застосування оцінки [4].

Наступним етапом є узгодження мети й області застосування оцінки Wow-Тіє із Спонсором даного методу і підготовкою попереднього переліку сценаріїв оцінки, первинних схем і таблиць оцінки Wow-Тіє. Сценарії використовуються для підготовки первинних схем оцінки. Попередній перелік не є завершеним, у процесі учасники можуть виявити інші наслідки і, навіть, цілі сценарії.

Наступним етапом є підготовка додаткових документів які необхідні у процесі оцінки, а також складають перелік учасників. Крім того, визначається тривалість оцінки, враховуючи при цьому кількість аналізованих небезпек і їх складність. Для повного аналізу одної

небезпечної події потрібно від 4 до 8 годин, однак у деяких випадках може знадобитися більше часу.

Останнім етапом є повідомлення учасникам попередньої інформації щодо оцінки, цілі і галузі застосування, а також структури оцінки і графіку її проведення. Безпосередньо сама оцінка починається з організаційних вимог, при яких необхідне окреме приміщення, ізольоване від стороннього шуму і перешкод, також необхідні додаткові матеріали такі як схеми, фотографії, які повинні бути вивішені на стендах.

Коли сформульовані усі етапи проведення даного методу, необхідно перейти безпосередньо до оцінки, яка проводиться у чотири етапи: Дають коротке пояснення щодо видів діяльності, які підлягають оцінці. Інструктують робочу групу щодо мети, області, методу і тривалості оцінки; проводиться "мозковий штурм" і аналіз небезпечної події із застосуванням схеми Bow-Tie.

Розглядають небезпеку як загрозу яка переходить у небезпечну подію і його наслідок.

Потім робоча група визначає усі загрози, що ведуть від небезпеки до виникнення небезпечної події, а оскільки загроза є шлях до поширення небезпеки, тим самим задають питання "що може привести до такої події" або "як може статися така подія"?

Після завершення попереднього аналізу робоча група переходить до визначення можливого шляху поширення, ескалації небезпечної події до виникнення можливих наслідків, наприклад, надмірний нагрів газу може створити надмірний тиск, у результаті чого виникає вибух, який заподіює шкоду активів і ведучий до численних травм або загибелі людей.

Крім цього, надмірний нагрів газу може привести до перегріву резервуара і клапанів і їх пошкодження без вибуху [4].

Встановлюється рівень поточного ризику, існуючого до застосування додаткових заходів щодо зниження даного ризику. Рівень поточного ризику реєструється у таблиці оцінки Bow-Tie.

Після того, як визначено усі загрози і наслідки для схеми оцінки Bow-Tie, робоча група визначає існуючі бар'єри, заходи щодо управління ризиками, які націлені на попередження небезпечної події або припинення розповсюдження небезпечної події, зменшення тяжкості небажаних наслідків, і оцінюють їх результативність.

Після цього робоча група визначає, які зміни необхідно внести в існуючі бар'єри або ж які нові бар'єри необхідно передбачити для кожної загрози і лінії розповсюдження, а також оцінюють результативність бар'єрів з метою привести ризик до прийняттого рівня на основі ALARP.

Оцінка завершується перевіркою ключової інформації. Переглядається інформація в Таблиці оцінки методу, щоб переконатися, що всі члени групи згодні з формуваннями загроз, ліній розповсюдження, наслідків, рівнів ризиків, рекомендованих заходів щодо попередження і відновлення, а також з відповідальними сторонами і термінами виконання дій.

Оцінка ризику методом досліджування безпеки робіт «ДБР», є якісною оцінкою ризику. Фокусується на ризиках, властивих різним видам або методам робіт, і націлений на попередження травм і несприятливих наслідків для здоров'я працівників, а також на запобігання збитків для активів і навколишнього середовища, який може виникнути у результаті подій при виконанні робіт. Як правило, така оцінка виконується невеликою групою людей, які беруть участь у виконанні оцінюваної роботи, або мають досвід її виконання.

Проведення однієї оцінки методом ДБР займає кілька годин. Метод «ДБР» застосовується для визначення, оцінки та управління ризиками ОП, ПБ, ОНС, які виникають при виконанні штатних і нештатних видів робіт, здатних призвести до серйозних наслідків [4]. Такий метод може застосовуватися для розроблення заходів безпеки при виконанні конкретних одиничних видів робіт або при розробленні, перегляді, процедури забезпечення безпеки при виконанні штатних видів робіт.

Необхідність проведення оцінки ДБР може виникнути, зокрема, у наступних випадках: Стандартні види робіт, при виконанні яких можливі серйозні випадки; нові види робіт; Роботи, у яких задіяні нові методи, нестандартні або окремі види робіт; Стандартні види робіт, що вимагають повторної оцінки, наприклад, після події. Підготовка проведення оцінки методом виконується не більше 2 днів Головою ДБР, при цьому надається тільки декілька годин для

оцінки робочою групою, при необхідності оцінка може тривати 1 день, до складу групи входять 8 осіб, 2 дні виділяють для оброблення результатів [5].

Ретельна підготовка до оцінки ДБР вкрай важлива, як і в інших випадках визначають цілі і сферу застосування оцінки і узгоджують із Спонсором ДБР.

Визначають зміст роботи, при цьому спостерігають за виконанням робіт щоб визначити етапи роботи, отримати уявлення щодо виробничого середовища і взаємозв'язку даної роботи з іншими видами діяльності і зазначити можливі події при виконанні роботи, а також заходи з управління ризиками і реагування у разі події [5].

Наступним етапом є підготовка поетапного розділення роботи на елементи за рахунок використання інформації, яку отримано у процесі спостереження за роботою, вивчення опису робіт, робочих процедур та інструкцій, обговорень з іншими фахівцями.

При визначенні етапів слід домогтися балансу між зайвою деталізацією і занадто загальною картиною роботи.

Як правило, розмежування етапів відзначається якою-небудь зміною, наприклад, зміною виду діяльності та місця її здійснення, що призводить до інших небезпек і негативного впливу. Досвід показує, що більшість видів робіт, для яких проводиться оцінка, можуть бути розбиті на десять і менше етапів. У результаті розділення виходить 15 етапів, таку кількість неможливо об'єднати без втрати істотних деталей, тому рекомендується розділяти роботу на частини і проводити різні оцінки для кожної з частин [5].

Коли сформульовані усі етапи проведення методу, переходять безпосередньо до оцінки, яка проводиться у п'ять етапів: Спочатку інструктують робочу групу щодо оцінюваної роботи, а також цілі і методу оцінки ризику; робоча група розглядає етапи роботи, представлені у таблиці оцінки ДБР, і при необхідності, конкретизують структуру поетапного розбиття на елементи;

Зачитують перший етап поділу праці і робоча група проводить "мозковий шторм" для виявлення ризиків, пов'язаних з цим етапом роботи, відповідаючи на наступні питання: Що ж може статися?

Хто може постраждати або чому може бути завдано шкоди? Цей процес повторюють для кожного етапу, зазначеного у розділенні робіт, а інформація заноситься до таблиці оцінки ДБР.

Оцінка завершується перевіркою ключової інформації. Разом з робочою групою переглядають інформацію, включену до таблиці оцінки ДБР, щоб переконатися, що усі члени групи згодні з формулюваннями ризиків, рекомендованими заходами з управління ризиків, а також із відповідальними сторонами і термінами виконання заходів [5].

Висновки та напрямок подальших досліджень. Після завершення оцінок конкретизують і формують робочу таблицю. Також уточнюють формулювання запропонованих заходів щодо зниження ризиків, однак змінені формулювання, як і в інших випадках, не повинні відрізнятися за змістом від узгоджених у процесі оцінки, складають звіт за підсумками оцінки. Подальші дії проводяться у відповідності із загальними вимогами системи менеджменту ОП, ПБ і ОНС, включаючи рекомендовані заходи щодо зниження ризиків на виробництві.

Список літератури

1. Социальный отчет группы Метинвест. «Металл для жизни человека», 2012.
2. Нормативно-методическая документация. Методические указания по оценке рисков ОТ, ПБ, и ООС с использованием метода «HAZID», МУ -4.3.1-06, Донецк, 2011.
3. Нормативно-методическая документация. Методические указания по оценке негативных воздействий и рисков в отношении окружающей среды с использованием метода «ENVID», МУ -4.3.1-07, Донецк, 2011.
4. Нормативно-методическая документация. Методические указания по оценке рисков ОТ, ПБ, и ООС с использованием метода «Bow-Tie», МУ -4.3.1-08, Донецк, 2011.
5. Нормативно-методическая документация. Методические указания по оценке рисков ОТ, ПБ, и ООС с использованием метода «ИБР», МУ-4.3.1-09, Донецк, 2011.
6. ISO 14001:2004 Environmental management systems. Requirements with guidance for use.
7. OHSAS 18001:2007 Occupational health and safety management system. Requirements.
8. ДСТУ EN 1050:2003 Безпечність машин. Принципи оцінювання ризику (EN1050:1996, IDT)
9. OHSAS 18001:2007 «Система управления охраной труда и производственной безопасности. Требования».
10. Методические рекомендации. Системы управления охраной труда. Порядок проведения работ по оценке рисков в области охраны труда: утв. председателем Госстандарта Респ. Беларусь 19.06.2006. – Мн.: БелГИСС, 2007.

Рукопись поступила в редакцию 02.04.14

АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ РЕВЕРСИВНОЮ ПРОКАТНОЮ КЛІТТЮ НА БЛЮМІНГУ

Запропоновано підхід до керування електроприводом обтискних валків реверсивної прокатної кліти на блюмінгу на основі робастного алгоритму швидкісного градієнту з використанням явної еталонної моделі, що реалізує сигнально-параметричну адаптацію.

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Сучасний розвиток прокатного переділу на металургійних підприємствах характеризується інтенсивним впровадженням технологій неперервного лиття заготівель. Не дивлячись на це, обтискні стани на блюмінгу все ще залишаються в експлуатації на деяких вітчизняних металургійних підприємствах. Процес гарячої прокатки на блюмінгу є дуже ресурсомістким. Основними ресурсами, що споживаються при обтисненні зливок металу на блюмінгу, є електроенергія та елементи робочих механізмів, що періодично виходять з ладу. До них відносять шпинделі, передаточні механізми, валки і т.д.[1]. Заміна та ремонт даних елементів призводить до простоїв стану та залучення значних матеріальних ресурсів, що, в свою чергу, призводить до зниження продуктивності роботи стану. Перераховані проблеми обумовлюють актуальність дослідження раціональних методів керування процесом обтиснення металу на блюмінгу.

Основною причиною, що призводить до збільшення витрат електроенергії та виникнення поломок елементів обтискної кліти, є динамічні навантаження в лінії стану. Вони призводять до зниження міцності деталей механізмів кліти і, відповідно, до їх швидкого виходу з ладу. Динамічні навантаження в лінії стану виникають через ряд неконтрольованих факторів. По-перше, внаслідок того, що зливоч подається в кліть необроблений і мають місце дефекти лиття. По-друге, через недосконалість технології нагрівання зливок в колодязях, зливоч подається в кліть прогрітий нерівномірно. Третя група факторів характеризується технологічними режимами процесу прокатки – підштамповка, реверсивність прокатки, дії операторів в нестійких режимах прокатки і т.д.[1].

Найбільш небезпечним явищем при експлуатації обтискного стану є пробуксовки. Пробуксовки в лінії стану виникають через різку зміну сил тертя між валом та зливком металу. При цьому відбувається різка зміна енергосилових параметрів, що в свою чергу призводить до виникнення коливальних процесів в електромагнітних та пружних моментах, а також швидкостях обтискних валків.

Аналіз досліджень та публікацій. Проблеми автоматизації процесу реверсивної гарячої прокатки на блюмінгу були досліджені С.Г. Буряковським, А.Є. Гуревичем, С.Я. Дунаєвським, С.Л. Коцарем, О.В. Світличним, О.В. Слежановським та багатьма іншими ученими.

Проблеми зниження динамічних навантажень у кінематичній лінії стану прокатної кліти розглядалися у роботах В.А. Воскресенського, А.Г. Жигалкіна, Ф.К. Іванченка, В.Б. Клепікова, С.Н. Кожевнікова, О.С. Лехова, П.І. Полухіна, Б.Н. Полякова, М.А. Тилкіна, А.П. Чекмарьова, В.А. Чичигина, Г.І. Яха.

Використання методів сучасної теорії автоматичного керування для автоматизації процесу реверсивної гарячої прокатки досліджено в працях Л.В. Акімова, Б.І. Кузнецова, Т.Б. Нікітіної.

Постановка завдання. Розробка способу керування на основі адаптивних методів та нечіткої логіки дозволить знизити вплив людського фактору, підвищити ефективність використання устаткування обтискної кліти та зменшити енерговитрати за рахунок зменшення динамічних навантажень, а також підвищити продуктивність в часі за рахунок зменшення простоїв. Оптимізація динамічних процесів під час прокатки передбачає узгоджене керування швидкостями обтискних валків та компенсацію пружних коливань, що виникають в лінії стану при односторонніх та двосторонніх пробуксовках.

Викладення матеріалу та результати. На даний час розроблено методи, що оснований на використанні модальних регуляторів, замкнених за повним вектором стану, що відновлюється спостерігачем стану. Хоча даний метод і забезпечує системі астатизм першого порядку, але йо-

го недолік полягає у використанні методів модального керування, що в основному базуються на інтуїції та досвіді дослідника [2]. Проблеми застосування оптимального керування пов'язані із відновленням повного вектору стану оптимальними спостерігачами, що не враховують нестационарність деяких параметрів [3,4]. Загальним недоліком існуючих способів керування прокаткою на блюмінгу є зберігання за оператором головної ролі, при цьому час реакції оператора на виникнення пробуксовки складає 0,5-2,5 с і залежить від досвіду та стану оператора.

Цього часу достатньо для виникнення небезпечних динамічних явищ.

За результатами проведеного аналізу сучасного стану автоматизації прокатки металу на блюмінгу, особливостей технологічного процесу в режимі пробуксовок та сучасних методів керування механізмами, що знаходяться під впливом випадкового навантаження, сформульовано підхід до адаптивного керування обтиснення металу на блюмінгу.

Математична модель, що описує динамічні явища у верхній і нижній кінематичних лініях описується наступною системою диференційних рівнянь [5]:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{26}(t) = K_e \cdot \omega_{16}(t) + I_{я6}(t) \cdot R_{я6} + L_{я6} \cdot \frac{dI_{я6}(t)}{dt}; \\ J_{16} \cdot \frac{d\omega_{16}(t)}{dt} = K_m \cdot I_{я6}(t) - M_{126}(t) - \alpha_{16} \cdot (\omega_{16}(t) - \omega_{26}(t)); \\ M_{126}(t) = \begin{cases} c_{126} \left(\Delta\varphi_{126}(t) - \frac{\delta}{2} \right), & \Delta\varphi_{126}(t) \geq \frac{\delta}{2}; \\ 0, & |\Delta\varphi| < \frac{\delta}{2}; \\ c_{126} \left(\Delta\varphi_{126}(t) + \frac{\delta}{2} \right), & \Delta\varphi_{126}(t) \leq -\frac{\delta}{2}; \end{cases} \\ J_{26} \cdot \frac{d\omega_{26}(t)}{dt} = M_{126}(t) + \alpha_e \cdot (\omega_{16}(t) - \omega_{26}(t)) - \alpha_{m6}(\omega) - M_{m6}(t) \cdot \omega_{26}(t) - \\ - K \cdot (\omega_{26}(t) - \omega_{3n}(t)); \\ U_{2n}(t) = K_e \cdot \omega_{1n}(t) + I_{яn}(t) \cdot R_{яn} + L_{яn} \cdot \frac{dI_{яn}(t)}{dt}; \\ J_{1n} \cdot \frac{d\omega_{1n}(t)}{dt} = K_m \cdot I_{яn}(t) - M_{12n}(t) - \frac{\alpha_n}{2} \cdot (\omega_{1n}(t) - \omega_{2n}(t)); \\ M_{12n}(t) = \begin{cases} c_{12n} \left(\Delta\varphi_{12n}(t) - \frac{\delta}{2} \right), & \Delta\varphi_{12n}(t) \geq \frac{\delta}{2}; \\ 0, & |\Delta\varphi| < \frac{\delta}{2}; \\ c_{12n} \left(\Delta\varphi_{12n}(t) + \frac{\delta}{2} \right), & \Delta\varphi_{12n}(t) \leq -\frac{\delta}{2}; \end{cases} \\ J_{2n} \cdot \frac{d\omega_{2n}(t)}{dt} = M_{12n}(t) - M_{23n}(t) + \frac{\alpha_n}{2} \cdot (\omega_{1n}(t) - \omega_{2n}(t)) - \frac{\alpha_n}{2} \cdot (\omega_{2n}(t) - \omega_{3n}(t)); \\ M_{23n}(t) = \begin{cases} c_{23n} \left(\Delta\varphi_{23n}(t) - \frac{\delta}{2} \right), & \Delta\varphi_{23n}(t) \geq \frac{\delta}{2}; \\ 0, & |\Delta\varphi| < \frac{\delta}{2}; \\ c_{23n} \left(\Delta\varphi_{23n}(t) + \frac{\delta}{2} \right), & \Delta\varphi_{23n}(t) \leq -\frac{\delta}{2}; \end{cases} \\ J_{3n} \cdot \frac{d\omega_{3n}(t)}{dt} = M_{23n}(t) + \frac{\alpha_n}{2} \cdot (\omega_{2n}(t) - \omega_{3n}(t)) - \alpha_{m3}(\omega) - M_{m3}(t) \cdot \omega_{3n}(t) - \\ - K \cdot (\omega_{3n}(t) - \omega_{26}(t)). \end{array} \right. \quad (1)$$

де $U_{26}(t)$, $U_{2n}(t)$ - напруга генераторів верхнього та нижнього двигунів, $I_{я6}(t)$, $I_{яn}(t)$, $R_{я6}$, $R_{яn}$, $L_{я6}$, $L_{яn}$ - струм, опір та індуктивність якорних обмоток двигунів, J_{16} , J_{1n} - момент інерції якорів верхнього та нижнього двигунів, J_{2n} - момент інерції редуктора, J_{26} , J_{3n} - момент інерції прокатних валків, $M_{126}(t)$ - пружний момент у верхній кінематичній лінії, $M_{12n}(t)$, $M_{23n}(t)$ - моменти інерції у нижній кінематичній лінії, $M_{н6}(t)$, $M_{нn}(t)$ - неконтрольований момент навантаження для верхнього і нижнього прокатних валків, $\omega_{16}(t)$, $\omega_{1n}(t)$ - кутова швидкість обертання якорів верхнього та нижнього двигунів, $\omega_{2n}(t)$ - кутова швидкість обертання редуктора, $\omega_{26}(t)$, $\omega_{3n}(t)$ - кутова швидкість обертання прокатних валків, $\Delta\varphi_{126}(t)$ - різниця кутів повороту якоря і прокатного валка у верхній кінематичній лінії, $\Delta\varphi_{12n}(t)$, $\Delta\varphi_{23n}(t)$ - різниця кутів повороту якоря і редуктора та редуктора і прокатного валка відповідно у нижній кінематичній лінії, c_{126} - коефіцієнт пружності у верхній кінематичній лінії, c_{12n} , c_{23n} - коефіцієнти пружності у нижній кінематичній лінії, $\alpha_{m6}(\omega)$, $\alpha_{m3}(\omega)$ - моменти зовнішнього тертя для верхнього і нижнього прокатних валків, δ - величина зазору, K_3 - коефіцієнт зв'язку між прокатними валками через метал.

Нижче показано структурну схему системи керування реверсивною прокатною кліттю на блюмінгу (рис. 1).

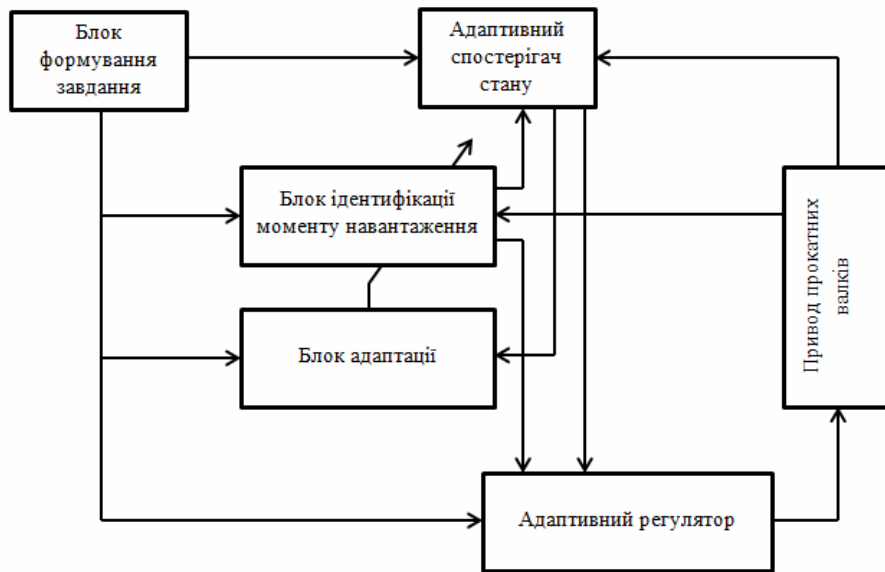


Рис. 1. Структурна схема адаптивної системи керування динамічними навантаженнями в прокатній клітці на блюмінгу

Як видно із схеми до складу системи входить адаптивний спостерігач стану для відновлення повного вектору стану, підсистема ідентифікації моменту навантаження на прокатні валки із схемою адаптації, блок формування сигналу завдання для узгодженого керування та адаптивний регулятор, вхідними впливами для якого є відновлений вектор стану, ідентифіковані моменти навантаження на валки та узгоджені сигнали завдання по швидкості.

Розробка адаптивної системи керування передбачає застосування сучасних методів керування для чого модель об'єкта керування необхідно представити в просторі станів:

$$\begin{cases} \frac{dX(t)}{dt} = A \cdot x(t) + B \cdot u(t) + V_o(t); \\ y(t) = C \cdot x(t) + V_{cn}(t); \end{cases} \quad (2)$$

де $V_o(t)$, $V_{cn}(t)$ - некорельовані збурення, що діють на об'єкт і перешкоди спостереження.

Вектор керування:

$$u(t) = [U_{гв}(t), U_{гн}(t)],$$

вектор змінних стану:

$$x(t) = [I_{яв}(t), \omega_{1в}(t), M_{12в}(t), \omega_{2в}(t), I_{ян}(t), \omega_{1н}(t), M_{12н}(t), \omega_{2н}(t), M_{23н}(t), \omega_{3н}(t)],$$

вектор виходу:

$$y(t) = [I_{яв}(t), \omega_{1в}(t), I_{ян}(t), \omega_{1н}(t)],$$

вектор збурюючих впливів:

$$V_o(t) = [M_{нв}(t), M_{нн}(t)].$$

Для зменшення динамічних навантажень в лінії стану запропоновано використовувати адаптивне керування на основі робастного алгоритму швидкісного градієнту з використанням явної еталонної моделі, що реалізує сигнально-параметричну адаптацію, де закон управління [6]

$$U(t) = K_X(t) \cdot X(t) + K_Y(t) \cdot Y(t) + U_S(t), \quad (3)$$

де $U_S(t)$ - сигнальна складова керування, $K_X(t)$, $K_Y(t)$ - матриці коефіцієнтів регуляторів, що налаштовуються.

Цільовий функціонал має вигляд

$$q = \frac{1}{2} \cdot E(t)^T \cdot H \cdot E(t), \quad H = H^T > 0, \quad (4)$$

де $E(t)$ - вектор похибки, H - матриця рішення рівняння Ляпунова.

Алгоритм управління

$$\frac{dK_Y(t)}{dt} = -\gamma \cdot B^T \cdot H \cdot E(t) \cdot Y(t)^T, \quad (5)$$

$$\frac{dK_X(t)}{dt} = -\gamma \cdot B^T \cdot H \cdot E(t) \cdot X(t)^T, \quad (6)$$

$$U_S(t) = -\gamma \cdot \text{sign}(B^T \cdot H \cdot E(t)), \quad (7)$$

$$\gamma_S(t) = -\gamma_0 \cdot |E(t)|, \quad (8)$$

Застосування даного методу вимагає знання повного вектору стану. З цією метою використовується спостерігач, в якому адаптація невідомих параметрів відбувається за методом самоналаштування [7].

Для визначення ефективності застосування адаптивного методу керування проведено також моделювання застосування двоконтурної системи підпорядкованого керування та модального регулятора. Результати моделювання різних методів керування наведено на рис. 4.

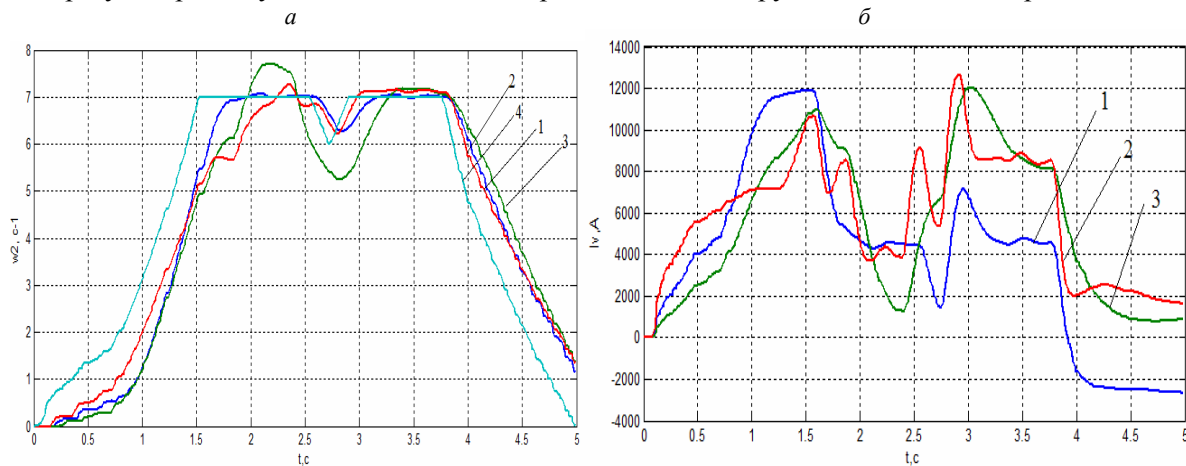


Рис. 2. Порівняння результатів застосування адаптивного регулятора (1), двоконтурної схеми підпорядкованого керування (2) та модального регулятора (3); сигнал завдання (4)

Як видно з графіків, адаптивне керування забезпечую більшу швидкість, похибку керування та пере регулювання.

Для реалізації запропонованої системи може бути використане обладнання виробництва фірми Schneider Electric.

Розрахунки ефективності впровадження показують що, наприклад для цеху Блюмінг-2 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» річні витрати на експлуатацію обтискного стану 1300 при впровадженні даної системи керування прокатною кліттю нижче ніж при існуючому методі управління на 336740 грн.

Зниження річних витрат при впровадженні оптимальної стохастичної САК з підсистемою узгодженого керування швидкостями обтискних валків відбувається за рахунок:

1. Підвищення продуктивності прокатного стану за рахунок збільшення міцності деталей механізмів обтискної кліті і, як наслідок, зменшення ремонтних простоїв і витрат на нові деталі.

2. Зменшення споживання електроенергії внаслідок своєчасної реєстрації початку режиму буксування та запобігання його розвитку до небезпечних явищ.

Висновки та напрямок подальших досліджень. В статті вирішено науково-практичне завдання підвищення продуктивності функціонування прокатного стану в умовах блюмінгу. Задача вирішена шляхом розробки методики керування процесом реверсивної прокатки за рахунок адаптивного керування, що забезпечує зниження витрати електроенергії та зменшення ремонтних простоїв внаслідок збільшення періоду служби елементів механізмів прокатної кліті. Подальші дослідження присвячено підвищенню точності формування узгодженого керування валками за рахунок сучасних засобів штучного інтелекту.

Список літератури

1. Лехов О.С. Динамические нагрузки и линии привода обжимных станов. – М.: Машиностроение, 1975. – 184с.

2. **Потапенко Е. М.** Обзор работ по динамике многомассовых неопределенных электромеханических систем выполненных на кафедре электропривода ЗНТУ / Е. М. Потапенко, А. Е. Казурова, А.В. Савранская // Электротехника та електроенергетика. – 2011. – № 1. – С. 7–10.

3. **Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, А.В. Волошко, И.В. Бовдуй, Е.В. Винниченко.** Математическая модель индивидуальных приводов прокатных валков с синхронными двигателями и с учетом их взаимного влияния через прокатываемый металл при цифровом управлении. // Вісник НТУ: ХП, 2011. - №4. – С. 123-132.

4. **Б.И. Кузнецов, А.В. Волошко, И.В. Бовдуй, Е.В. Винниченко.** Динамические характеристики робастной системы управления синхронными приводами прокатных станов с учетом их взаимосвязи через прокатываемый металл. // Вісник НТУ: ХП, 2011. - №4. – С. 58-69.

5. **Башарин А.В.** Управление электроприводами: учебн. пос./ А.В. Башарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовский. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 392с.

6. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти тт.; 2-е изд.; перераб. и доп., Т.5: Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: МГТУ им. Баумана, 2004. – 784 с.

7. **Вдовин В.В., Панкратов В.В.** Синтез адаптивного наблюдателя координат бездатчикового асинхронного электропривода // Известия Томского политехнического университета. – Томск: 2012. Т320. - №4. – С.147-153.

Рукопис поступив до редакції 20.03.14

УДК 621.314

В.Е. МОМОТ, канд. техн. наук, доц., О.Р. ТКАЧУК, магистрант
Криворожский национальный университет

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

В статье рассматривается анализ электропотребления и пути повышения энергетической эффективности эксплуатации наиболее энергоемких центробежных механизмов типовой районной котельни с использованием частотно регулируемых приводов.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Внедрение во всех отраслях промышленности энергосберегающих технологий ставит важнейшие задачи повышения энергетической эффективности эксплуатации электроприводов насосов, вентиляторов, дымососов производств горячего водоснабжения.

Современное состояние тепло-водоснабжения, занимающего одно из главных мест в инфраструктуре и жизнеобеспечения городского хозяйства, с каждым годом требует все больше и больше капитальных затрат. Оборудование районных котельных устарело как морально так и физически. Затраты на тепло являются значительными в бюджете государства, регионов и населения, являясь причиной социальной и экономической нестабильности.

Анализ исследований и публикаций. Как показывают исследования [1], тепло полезно используется только на 30 % (с учетом ненормативных потерь тепла через ограждающие конструкции, потерь, связанных с несовершенством внутренних инженерных систем и др.), т.е. коэффициент энергетической эффективности существующей централизованной системы тепло-водоснабжения не превышает 0.3.

Наиболее высоким потенциалом энергосбережения обладают производственные механизмы, работающие в продолжительном режиме работы с изменяющейся производительностью, такие как насосы, вентиляторы, дымососы котельных установок и управляемые в ручном режиме, путем воздействия на задвижки или направляющие аппараты.

В последние годы широкое развитие во всех отраслях получил регулируемый асинхронный электропривод на базе преобразователей частоты (ПЧ-АД), обеспечивающий экономию электроэнергии на 30 % и более [2]. Однако само по себе оснащение механизмов частотно-регулируемым электроприводом не гарантирует экономии электроэнергии, а должно быть технически и экономически обосновано применительно к конкретным условиям эксплуатации с определением количественной оценки диапазона регулирования, технологических требований, энергетических и режимных характеристик.

Постановка задачи. Целью работы является анализ электропотребления и оценка энергетической эффективности эксплуатации наиболее энергоемких центробежных механизмов типовой районной котельни с использованием частотно-регулируемых электроприводов.

Изложение материалов и результаты. Большинство действующих котельных установок централизованного тепло-водоснабжения характеризуются не регулируемыми электроприводами центробежных механизмов суммарной установленной мощностью около 3 МВт, большими диапазонами изменения расхода, переменным характером нагрузки, низкой управляемостью технологическими параметрами, значительными мощностями электрооборудования работающего, как правило, в недогруженных режимах.

Центробежные механизмы типовых котельных можно условно разделить на три группы:
 большой мощности - 500 кВт и выше - сетевые насосы и дымососы;
 средней мощности - 50-300 кВт - насосы сырой воды, питательные насосы и дутьевые вентиляторы;
 малой мощности - 5-50 кВт - подпитывающие насосы, дутьевые вентиляторы, циркуляционные насосы.

На первом этапе работы выполнен анализ электропотребления с целью дальнейшего обоснования экономической эффективности мощных регулируемых приводов дымососов типовой районной котельной с 6-ю водогрейными котлами типа КВГМ.

Учитывая различную мощность электроприводов центробежных механизмов котельной (насосы, вентиляторы, дымососы) произведен расчет долевого потребления электроэнергии за сутки этими механизмами в виде соответствующих диаграмм.

Расчет производился по формуле

$$\eta_{kl} = \frac{\sum_{i=1}^3 W_{ikl}}{\sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^3 W_{ikl}} \cdot 100\% ,$$

где η_{kl} - долевое потребление k -го механизма районной котельной при первом режиме, %; W_{ikl} - энергопотребление k -го механизма, за i -й час при первом режиме, кВт·год.;

Результаты расчетов представлены в табл. 1

Таблица 1

Долевое электропотребление механизмов центробежного типа котельной (%)

Долевое потребление электроэнергии, %	Насосы строй воды	Дутьевые вентиляторы			Питательные насосы	Подпитывающие насосы	Сетевые насосы	Дымососы	Рециркуляционные насосы воды	Рециркуляционные насосы дымовых газов
		Котел №4-5	Котел №6	Котел №7-9						
1,9	1	1,1	6,8	1,9	2,2	39,7	27,3	7,3	10,8	

На рис. 1. в виде диаграмм представлены результаты расчетов долевого электропотребления.

Из графиков видно, что наибольшее значение электроэнергии потребляют сетевые насосы и дымососы.

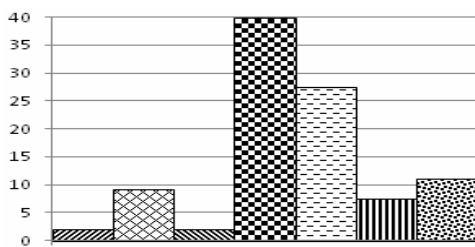


Рис. 1. Диаграммы долевого потребления электроэнергии исследуемых механизмов: ■ -насосы сырой воды; ▨- дутьевые вентиляторы; ▩-питательные насосы; ▣- сетевые насосы; ▤- дымососы; ▥- рециркуляционные насосы воды; ▧- рециркуляционные насосы дымовых газов;

Например, диаграммы расхода дымовых газов дымососа за отопительный период (2012-2013 г.г.) при механическом регулировании (рис. 2), аэродинамической характеристики дымососа ДН-22-0,65 и паспортных данных приводного двигателя типа А4 ДА304 мощностью 500кВт, напряжением 6кВ и номинальной скоростью 1500 об/мин, определена потребляемая мощность дымососа в номинальном режиме работы (с учетом КПД дымососа и КПД двигателя).

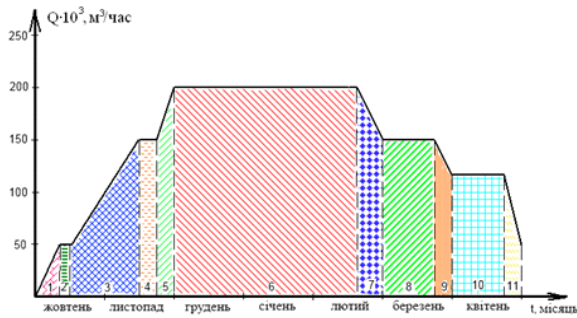


Рис. 2. Диаграмма расхода дымовых газов за отопительный период при механическом регулировании

При этом за отопительный период 6 мес (4368 ч), интервалы времени составляют:

- $t_1=120$ ч; $t_2=120$ ч;
- $t_3=624$ ч; $t_4=120$ ч; $t_5=120$ ч;
- $t_6=1800$ ч; $t_7=360$ ч;
- $t_8=528$ ч; $t_9=216$ ч; $t_{10}=240$ ч;
- $t_{11}=120$ ч.

Исходя из известных законов пропорциональности [3], рассчитывались значения скорости двигателя и потребляемой мощности (P') при повышении производительности дымососа от: 25 до 75 % и от 75 до 100 %, при снижении производительности из 100 до 75 %, от 75 до 50 % и от 50 до 25 %, а также при установившейся производительности(табл. 2).

Графический вид зависимостей показан на рис. 3,4.

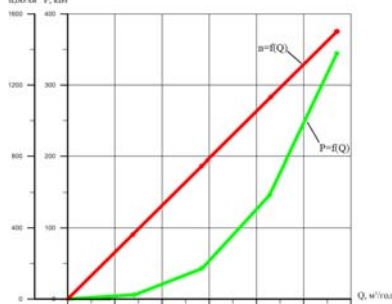


Рис.3. Зависимость потребляемой мощности $P=f(Q)$ и скорости $n=f(Q)$ от производительности дымососа

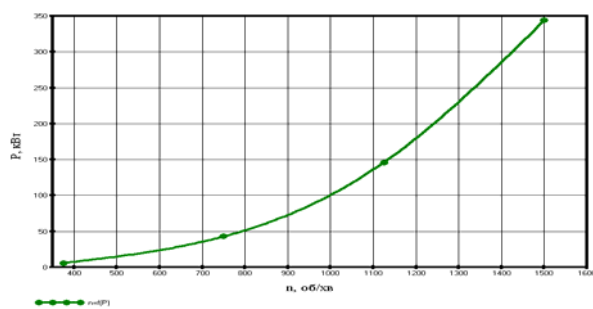


Рис.4. Расчетная зависимость потребляемой мощности от изменения скорости

С учетом временных интервалов отопительного периода (см. рис. 2) расход электроэнергии при повышении производительности составит, кВт

из 25% до 75%: $\mathcal{E}_1 = ((5,37 + 145,6)/2) \cdot 624 = 47102,64$,

из 75%до 100%: $\mathcal{E}_2 = ((145,6 + 343,7)/2) \cdot 120 = 29358$.

Таблица 2

Численные значения расчета потребляемой мощности

$Q_{25\%}$		$Q_{50\%}$		$Q_{75\%}$		$Q_{100\%}$	
$n_{25\%}=(n_n Q_{25})/Q_{100}$	$P'_{25\%}=P_{\text{погр}}(n_n/n_{25})$	$n_{50\%}=(n_n Q_{50\%})/Q_{100}$	$P'_{50\%}=P_{\text{погр}}(n_n/n_{50})^3$	$n_{75\%}=(n_n Q_{75\%})/Q_{100}$	$P'_{75\%}=P_{\text{погр}}(n_n/n_{75})^3$	$n_{100\%}=n_n$	$P'_{100\%}=P_{\text{погр}}$
375 об/мин	5,37 кВт	750 об/мин	42,96 кВт	1125 об/мин	145,6 кВт	1500 об/мин	343,7 кВт

Расход электроэнергии при снижении производительности, кВт

из 100% до 75%: $\mathcal{E}_3 = ((145,6 + 343,7)/2) \cdot 360 = 88074$,

из 75% до 50%: $\mathcal{E}_4 = ((145,6 + 42,96)/2) \cdot 216 = 16304,76$,

из 50% до 25%: $\mathcal{E}_5 = ((42,96 + 5,37)/2) \cdot 120 = 2899,8$.

В установившемся режиме работы дымососа в интервалы времени 2,4,6,8,10 (см. рис. 2).

$\mathcal{E}_6 = 5,37 \cdot 120 + 145,6 \cdot 120 + 343,7 \cdot 1800 + 145,6 \cdot 528 + 42,96 \cdot 240 = 723963,6$ кВт/ч

Суммарный расход электроэнергии с регулируемым электроприводом с учетом реальной работы дымососа составляет

$\mathcal{E}_{\text{пер}} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_5 + \mathcal{E}_6 = 907702,8$ кВт/ч.

Расход электроэнергии без использования регулируемого электропривода дымососа будет равен

$$\mathcal{E}_{\text{рег}} = P_{\text{потр}} \cdot T = 343,7 \cdot 4368 = 1527489 \text{ кВт/ч.}$$

Таким образом, затраты электроэнергии дымососа при работе с регулируемым электроприводом составляет $(907702,8 / 1527489,6) \cdot 100\% = 60\%$ от работы без регулируемого электропривода. При этом стоимость электроэнергии:

при использовании регулируемого электропривода:

$$C = \mathcal{E}_{\text{рег}} \cdot \mathcal{C} = 907702,8 \cdot 0,52 = 472005,5 \text{ грн;}$$

без использования регулируемого электропривода:

$$C = \mathcal{E}_{\text{н.рег}} \cdot \mathcal{C} = 1527489,6 \cdot 0,52 = 79429,6 \text{ грн}$$

где \mathcal{C} - стоимость одного кВт/ч электроэнергии на предприятии.

Выводы и направление дальнейших исследований. Произведенный анализ электропотребления позволяет снизить затраты на электроэнергию при регулировании производительности одного дымососа примерно в 1,7 раза, что при установленных 6 дымососов одной типовой районной котельной составляет около 5,0 млн.грн.

Однако при модернизации производств централизованного тепло-водоснабжения необходима уточнения режимных характеристик автоматизированных электроприводов механизмов, а также экономических показателей с учетом затрат на приобретение нового электрооборудования.

При этом существующая система управления технологическим оборудованием также требует значительной модернизации.

Необходима замена устаревших средств КИП и А и внедрение новой автоматизированной системы управления технологическими процессами на базе современного программно-технического комплекса.

Список литературы

1. Шарипов А.Я. Энергоэффективные и энергосберегающие технологии в системе теплоснабжения жилого района. Энергосбережение, 2001. -№5.
2. Радимов С.Н. Потенциал энергоснабжения наиболее широко используемых агрегатов и установок. Реализация потенциала средствами электропривода. «Экологические системы», 2007. - №8.
3. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов.-М.: Энергия, 1980. - 360 с.

Рукопись поступила в редакцию 20.03.14

УДК 621.791.92

Е.В. БЕРЕЖНАЯ, канд. техн. наук, Ю.А. ЧЕПЕЛЬ, аспирант

Донбасская государственная машиностроительная академия

Н.И. ЦЫВИНДА, канд. техн. наук доц., Криворожский национальный университет

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ НАПЛАВКИ

Разработана численная одномерная математическая модель распределения локальных и интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния металла при электроконтактной наплавке металлической лентой, учитывающая реальный характер распределения геометрических параметров наплавляемого слоя в зоне очага деформации.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Важной задачей эксплуатации современных подъемно-транспортных машин и почвообрабатывающего оборудования является повышение их экономической эффективности и безопасности. Решение этих вопросов прямо зависит от создания и освоения высокоэффективных технологических процессов производства, повышения качества изделий, снижения их себестоимости [1,2].

Изнашивание деталей рабочих органов является закономерным процессом, неизбежно сопровождающим работу землеройных машин, который приводит к изменению размеров, геометрической формы деталей и тем самым вызывает снижение функциональных качеств и производительности машин. Так, допускаемый на практике износ режущих элементов землерой-

ных машин вызывает увеличение силы резания на 60-80 % и более, что снижает производительность, повышает энергоемкость и себестоимость разработки грунта [3,4].

Анализ исследований и публикаций. Одним из путей повышения эффективности и экономичности работы землеройной техники является своевременный периодический ремонт режущих элементов (ножей бульдозеров, скреперов; зубьев экскаваторов, погрузчиков и т.д.) по мере их износа методом электроконтактной наплавки износостойких сплавов [5,6].

Постановка задачи. Указанный способ выгодно отличается от дуговых методов нанесения износостойких покрытия и характеризуется высокой производительностью, низкой энергоемкостью, минимальной зоной термического влияния импульса электрического тока на металл детали вследствие его кратковременности, а также отсутствием необходимости использования защитной атмосферы.

Процесс электроконтактной наплавки износостойких сплавов может применяться для восстановления деталей с плоской поверхностью различной протяженности, с цилиндрическими и коническими поверхностями [7,8].

Целью данной работы является численное математическое моделирование энергосиловых параметров процесса электроконтактной наплавки цилиндрических деталей, работающих в условиях абразивного износа.

Изложение материала и результаты. Сущность процесса восстановления цилиндрических деталей методом электроконтактной наплавки заключается в том, что на поверхность восстанавливаемой осесимметричной вращающейся детали 1 помещают ленту 2, через нее пропускают импульсы электрического тока от источника питания, доводят присадку до пластического состояния и деформируют ее при помощи ролика-электрода 3 наплавочной электроконтактной машины (рис. 1).

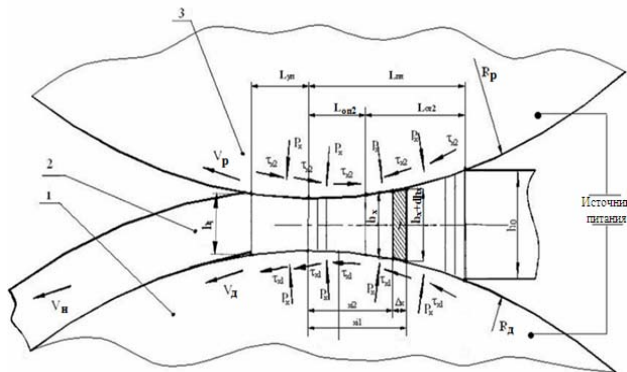


Рис. 1. Расчетная схема процесса электроконтактной наплавки цилиндрической детали

Вследствие совместной пластической деформации приконтактного объема восстанавливаемой детали 1 и присадочного материала 2 образуется твердофазное соединение покрытия с основным металлом.

В основу математического моделирования был положен ряд следующих допущений:

деформация наплавляемой ленты двухмерная и установившаяся во времени;

физико-механические свойства деформируемого металла и кинематические условия процесса пластического формоизменения металла изменяются только по длине очага деформации, а по высоте каждого отдельного сечения остаются постоянными;

текущие значения нормальных контактных напряжений P_{1x} и P_{2x} на противоположных контактных поверхностях равны;

касательные контактные напряжения τ_{1x} и τ_{2x} и значения углов контакта α_{1x} и α_{2x} по длине отдельно выделенного элементарного объема металла в очаге деформации не изменяются.

Геометрические параметры выделенного элементарного объема рассчитывали с учетом следующих выражений

$$h_{x(i+1)} = h_x - \Delta h_{1x} - \Delta h_{2xi};$$

$$\Delta h_{1(2)x} = R_{1(2)} \left(\cos \arcsin \frac{x_{i+1}}{R_{1(2)}} - \cos \arcsin \frac{x_i}{R_{1(2)}} \right),$$

где n - число разбиений очага деформации на элементарные объемы.

С учетом принятых допущений условие равновесия элементарного объема металла в зоне очага деформации будет иметь вид

$$\sum F_x = -\sigma_x h_x + (\sigma_x + d\sigma_x)(h_x + dh_x) - \tau_{2x} d + P_{1x} d_x \operatorname{tg} \alpha_{1x} + P_{2x} d_x \operatorname{tg} \alpha_{2x} = 0$$

Учитывая, что $P_{1x} = P_{2x} = P_x$ и, проведя сокращения, получим

$$d\sigma_x h_x + \sigma_x dh_x - \tau_{1x} dx - \tau_{2x} dx + P_x dx (\operatorname{tg} \alpha_{1x} + \operatorname{tg} \alpha_{2x}) = 0.$$

Так как

$$dh_x = dh_{x1} + dh_{x2} = dx(\operatorname{tg} \alpha_{1x} + \operatorname{tg} \alpha_{2x}),$$

а контактные силы трения пропорциональны нормальному давлению $\tau_{1x} = P_x f_{1x}$ и $\tau_{2x} = P_x f_{2x}$ и, принимая условие пластичности в виде $P_x = 2K_x - \sigma_x$, получим

$$\begin{aligned} d\sigma_x h_x + \sigma_x dh_x (\operatorname{tg} \alpha_{1x} + \operatorname{tg} \alpha_{2x}) - (2K_x - \sigma_x) f_{1x} - \\ - (2K_x - \sigma_x) f_{2x} + (2K_x - \sigma_x) dx (\operatorname{tg} \alpha_{1x} + \operatorname{tg} \alpha_{2x}) = 0. \end{aligned}$$

После сокращения подобных членов и, учитывая, что

$$\operatorname{tg} \alpha_{1x} = \operatorname{tg} \frac{\arcsin x}{R_d}; \quad \operatorname{tg} \alpha_{2x} = \operatorname{tg} \frac{\arcsin x}{R_p},$$

где x - текущая координата положения рассматриваемого сечения, получим дифференциальное уравнение равновесия металла в очаге деформации в окончательном виде

в зоне опережения

$$\frac{d\sigma_x}{dx} = \frac{1}{h_x} \left[(2K_x - \sigma_x)(f_{1x} + f_{2x}) - 2K_x \left(\operatorname{tg} \frac{\arcsin x}{R_d} + \operatorname{tg} \frac{\arcsin x}{R_p} \right) \right];$$

в зоне отставания

$$\frac{d\sigma_x}{dx} = \frac{1}{h_x} \left[(2K_x - \sigma_x)(-f_{1x} - f_{2x}) - 2K_x \left(\operatorname{tg} \frac{\arcsin x}{R_d} + \operatorname{tg} \frac{\arcsin x}{R_p} \right) \right];$$

где h_x - текущее значение толщины наплавляемого слоя; $2K_x$ - текущее значение сопротивления деформации; f_{1x}, f_{2x} - текущие значения коэффициентов трения на контактной поверхности восстанавливаемой детали и ролика-электрода.

Определение текущих значений напряжений осуществлялось на основе метода Рунге-Кутты четвертого порядка с учетом соотношений вида

$$\begin{aligned} \sigma_{x(i)} &= \sigma_{x(i-1)} - \frac{\Delta x}{6} (K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4); \\ P_{x(i)} &= 2K_{x(i)} + \sigma_{x(i)}; \\ K_2 &= f[x - 0,5\Delta x; \sigma_{x(i-1)} - 0,5K_2\Delta x]; \\ K_4 &= f[x - \Delta x; \sigma_{x(i-1)} - K_2\Delta x]. \end{aligned}$$

где начальные условия имеют вид

$$\sigma_{(x)|x=L_{\text{зад}}} = \sigma_0.$$

Аналитическое описание граничных условий имеет вид

$$h_x = h_1 + R_d \left(1 - \cos \arcsin \frac{x}{R_d} \right) + R_p \left(1 - \cos \arcsin \frac{x}{R_p} \right);$$

$$\varepsilon_x = \frac{h_0 - h_x}{h_0};$$

$$2K_x = 1,15(a_0 + a_1 \varepsilon_x + a_2 \varepsilon_x^2 + a_3 \varepsilon_x^3);$$

где h_x - текущая по длине очага деформации толщина наплавляемого слоя; h_1 - толщина износостойкого слоя после наплавки; ε_x - текущее значение относительной деформации наплавляемого слоя; K_x - текущее значение сопротивления сдвигу металла наплавляемого слоя; a_0, a_1, a_2, a_3 - коэффициенты регрессии аналогического описания зависимости предела текучести металла наплавляемого слоя от степени его деформации.

Изменение коэффициента трения по длине очага деформации было принято в виде:

для зоны отставания

$$f_1(2x) = f_1(2) \left(1 + \alpha \left(\frac{x - L_{\text{зад}}}{L_{\text{зад}} - L_{\text{зад}}} \right) \alpha \right);$$

для зоны опережения

$$f_{1(2)x} = f_{1(2)}(1 + \alpha) \left(\frac{L_{\text{он}2} - x}{L_{\text{он}2}} \right)^\alpha,$$

где $f_{1(2)}$ - среднее значение коэффициента трения, соответственно, на детали и ролике-электроде; α - показатель степени (0,3-0,35).

Полное усилие на ролике-электроде при электроконтактной наплавке имеет следующий вид

$$P = \sum_{i=1}^n P_i \Delta x,$$

Приведенный алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния наплавляемого металла в очаге деформации позволил разработать программные средства для расчета основных технологических параметров процесса электроконтактной восстановительной наплавки лентами цилиндрических деталей, что обеспечивает регулирование энергосиловых параметров процесса и получение наплавленного слоя с заданными показателями геометрических характеристик на поверхности цилиндрической детали.

В качестве примеров численной реализации одномерной математической модели представлены распределения текущих по длине контактных зон опережения и отставания значений нормальных и касательных контактных напряжений (рис. 2).

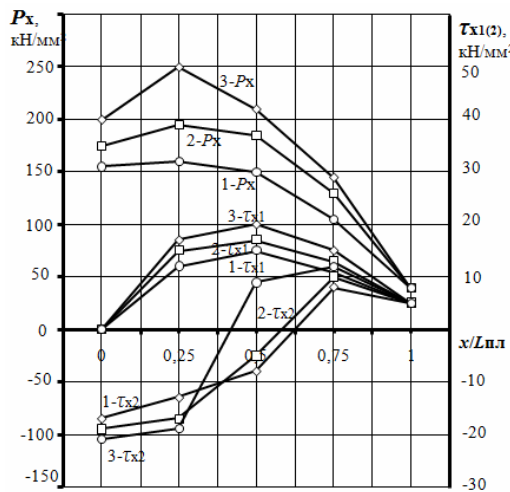


Рис. 2. Расчетные распределения нормальных P_x и касательных контактных напряжений на восстанавливаемой детали τ_{x1} и ролике-электроде τ_{x2} : 1 - $h_0=1,0$ мм, $h_1=0,8$ мм; 2 - $h_0=1,0$ мм, $h_1=0,7$ мм; 3 - $h_0=1,0$ мм, $h_1=0,6$ мм (материал - лента 30ХГСА)

Предложенная одномерная математическая модель позволяет определить распределения локальных и интегральных характеристик процесса электроконтактной наплавки цилиндрических деталей, работающих в условиях абразивного износа, и может быть использована как для анализа, так и для оптимизации процесса восстановления быстроизнашивающихся деталей.

Выводы и направление дальнейших исследований. Разработана одномерная математическая модель,

позволяющая определить основные технологические параметры процесса электроконтактной наплавки цилиндрических деталей, работающих в условиях абразивного износа, учитывая реальный характер распределения геометрических характеристик очага деформации.

Список литературы

1. Сухочев Г.А. Вопросы технологии повышения качества нагруженных деталей транспортных машин / Г.А. Сухочев // Инженерный журнал, 2005. - № 12. С. 17-22.
2. Хромченко Ф.А. Сварочные технологии при ремонтных работах / Ф.А. Хромченко. - М.: Интермет Инжиниринг, 2005. - 368 с.
3. Robin F. The wear of steels by abrasives / F. Robin // Revue de Metallurgie. - 1991. - V.8. - P.47-84.
4. Бренштейн Д.Б. Абразивное изнашивание лемешного лезвия и работоспособность плуга / Д.Б. Бренштейн // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2002. - №6. - С. 39 - 42.
5. Войнов Б.А. Износостойкие сплавы и покрытия / Б.А. Войнов // М.: Машиностроение, 1990. - 204 с.
6. Латыпов Р.А. Упрочнение режущих органов сельхозмашин электроконтактной приваркой шлама ШХ15/Р / Р.А. Латыпов, А.В. Поляченко, Б.А. Молчанов, Н.Д. Бахмудкадиев // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1998. - №8. - С. 25-29.
7. Бережная Е.В. Перспективные направления снижения затрат на восстановление деталей, работающих в условиях абразивного износа / Е.В. Бережная // Бюджетно проблемите на севтовната наука: 5-а международна научна практична конференция, 17-25 декември 2009. - София, - 2009. - С. 11-13.
8. Бережная Е.В. Перспективные направления снижения затрат на восстановление деталей подъемно-транспортного оборудования, работающих в условиях абразивного износа / Е.В. Бережная // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: IX міжнародна науково-технічна конференція. - Краматорськ: ДДМА. - 2011. - С. 16.

Т.А. ОЛІЙНИК¹, В.І. МУЛЯВКО, доктори техн. наук, проф.,
С.В. МІХНО, здобувач., М.О. ОЛІЙНИК, аспірант, Криворізький національний університет

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СЕПАРАЦІЇ ІЛЬМЕНІТУ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОВЕДІНКИ ЧАСТИНОК МІНЕРАЛІВ В ПОЛІ МІЖ ЕЛЕКТРОДАМИ

Виконано наукове обґрунтування параметрів електросепарації ільменіту при збагаченні титаномагнетитових руд за рахунок зміни умов зарядження частинок і динаміки їх руху. Одержано моделі селективного зарядження часток та динаміки руху частинок в сепараторі, на базі яких визначені оптимальні параметри і технологічні режими ведення процесу електростатичної сепарації ільменіту. Встановлено, що здійснення селективного зарядження в пластинчатому модернізованому трибо-електростатичному сепараторі відбувається завдяки взаємодії та комбінації двох виділених стадій: трибозарядження та стадії індукційного зарядження або фактично перезарядження. Показано, що рух частинок в електричному полі визначається величиною і знаком їх заряду та має складний характер у вигляді стрибків над електродом, а не просте кочення або ковзання. Встановлено, що коронний розряд дозволяє підвищити селективне зарядження частинок провідників і діелектриків в 2-4 рази.

Проблема та її зв'язок з науковим і практичним завданням. Україна входить до п'ятірки найбільших у світі країн-виробників титанвмісних концентратів. Згідно з інформацією відділу геології корисних копалин Інституту геологічних наук НАНУ, в цілому ресурси титанових руд України оцінюються потенційно в 20 %, а затверджені запаси знаходяться в межах 7-12 % від світових запасів. Сумарно запаси і база запасів титанових руд Україна, за їхніми оцінками, перевищують будь яку країну світу.

Підприємств з переробки корінних титанових руд в Україні поки що не існує. Для введення їх в експлуатацію необхідно застосування нових технологій збагачення цих руд. При розробці нових технологій збагачення корінних титаномагнетитових руд одним із актуальних питань є підвищення якості ільменітових концентратів.

Це можливо за рахунок зміни умов зарядження поверхонь частинок руди та динаміки їх руху при електростатичній сепарації. У зв'язку з цим наукове обґрунтування технологічних параметрів електростатичної сепарації ільменіту при збагаченні титаномагнетитових руд є актуальним науково-практичним завданням.

Аналіз досліджень і публікацій. Електрична сепарація мінеральної сировини представляє процес розділення мінералів за мінеральним складом, крупністю або формою зерен шляхом силового впливу на них електричного поля і застосовується в основному для двох цілей: електричного збагачення, тобто для розділення частинок сумішей мінералів за мінеральним складом, та електричної класифікації, тобто для розділення часток за крупністю або формою зерен, рис. 1.

Результати теоретичних і практичних досліджень з електричної сепарації найбільш повно представлено в монографіях, доповідях, дисертаціях таких вчених, як В.І. Попков, І.М. Плаксін, В.І. Ревнівцев, Н.Ф. Олофінський, І.П. Верещагін, Л.П. Старчик, Кармазін В.І., В.В. Кармазін, Е.А. Хопунов, А.І. Ангелов, В.С. Морозов, М.М. Пашин, Н.М. Карнаухов, А.І. Месеняшин, П.І. Пілов, В.А. Пикулин, А.В. Дегтяренко, А.І. Урванцев, С.А. Кривов та ін., а також у працях міжнародних конгресів зі збагачення корисних копалин і науково-технічних конференціях щодо застосування електронно-іонної технології в народному господарстві [1-14].

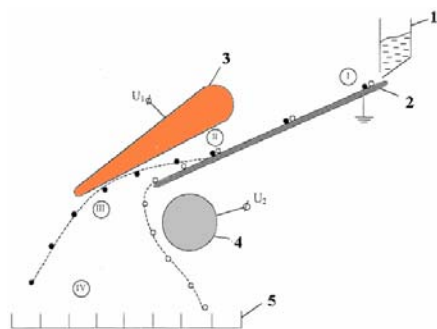


Рис. 1. Схема та зони електросепаратора: I - зона трибозарядки, II - зона селективної зарядки (індукційної зарядки); III - зона розділення; IV - зона осадження; 1 - бункер живлення; 2 - заряджувальний електрод; 3 - верхній відхиляючий електрод; 4 - нижній відхиляючий електрод; 5 - приймачі продуктів сепарації

Постановка завдання. Для розробки технології збагачення титаномагнетитових руд України необхідно в процесі електричної сепарації для поліпшення та удосконалення сепараційних характеристик електростатичних

сепараторів використати змінні умови зарядження поверхні частинок і підвищити тим самим ефективність збагачення цих руд.

Викладення матеріалу та результати. Основою електростатичної сепарації є селективне зарядження частинок. Таке зарядження приводить до різного характеру руху частинок в електричному полі з утворенням продуктів розділення. Процеси, що становлять основу селективного зарядження та розділення за провідністю, складні, взаємопов'язані та всі разом в цілому визначають кінцеві результати збагачення руди.

Не знаючи процесів та закономірностей, що лежать в їх основі, їх конкретні прояви в умовах роботи трибоелектростатичного сепаратора, неможливо управляти й раціонально організувати процес розділення. Щоб розуміти і керувати процесом в цілому, необхідно та доцільно розділити його на елементарні стадії, виділити та дослідити окремі процеси, що визначають збагачення руди, їх взаємозв'язок і роль у кінцевому результаті.

Перша стадія - стадія попереднього зарядження. У сепараторі ця стадія реалізується шляхом трибозарядження частинок провідників і непровідників про підкладку з графітопласта на першій ділянці сепаратора, де взаємодія частинок з електродом відбувається без впливу електричного поля і, як наслідок цього, в якості основного механізму зарядження частинок діє тільки трибоелектризація (див. рис. 1). Дуже мала величина зарядів на першій стадії робить неможливим і подальшу селективну зарядку за рахунок перезарядки в електричному полі.

Після попереднього зарядження настає стадія перезарядження. На цій стадії основним механізмом є індукційне зарядження, коли забезпечується селективне зарядження і відрив частинок від електрода. Процес індукційного зарядження частинки при контакті з електродом описується виразом

$$q = q_{\infty} + (q_0 - q_{\infty}) \exp(-t_k / \tau_k), \quad (1)$$

де q_{∞} - граничний заряд частинки, q_0 - початковий індукційний заряд (в даному випадку заряд до зіткнення з електродом або заряд, набутий в результаті попереднього контакту з електродом), t_k - час контакту частинки з електродом, τ_k - константа часу, що визначається властивостями контакту частинки і електрода.

На другій стадії на мінералах, що розділяються, виходять заряди різних знаків і відбувається селективне зарядження частинок. Селективне зарядження є необхідною умовою сепарації частинок, але недостатнім. Частинки повинні розділитися в просторі. Цю умову можна сформулювати: для провідників: $P_{эл} - mg > 0$, для непровідників: $P_{эл} - mg < 0$, де $P_{эл}$ - електрична сила, що діє на частинку; mg - сила тяжіння, рис. 2.

Наступною стадією сепарації є власне розділення частинок в електричному полі електродів після сходу часток із зарядного електрода. Рух провідників після відриву від зарядного електрода (це відбувається ще в зоні зарядження) описується рівняннями, м/с².

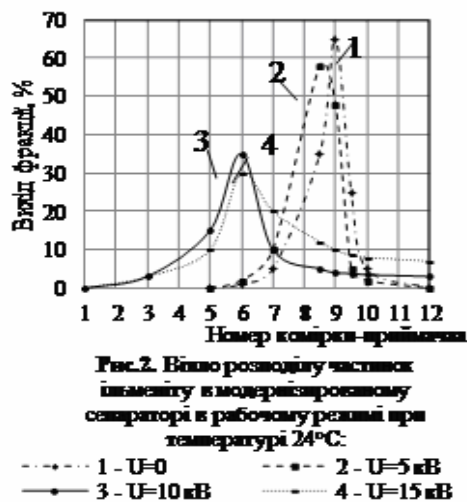
$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{E}q + m\vec{g} + \vec{F}_c; \quad \vec{E} = f(x, y); \quad g = 9,81. \quad (2)$$

де \vec{v} - вектор швидкості руху частинок; m - маса частинки, \vec{g} - вектор прискорення вільного падіння; \vec{E} - вектор напруженості електричного поля, що залежить від координат точки знаходження частинки; q - заряд частинки, якого вона досягла в момент відриву від електрода; \vec{F}_c - вектор сили опору середовища руху частинки.

Непровідні частинки, що не мають достатнього для відриву заряду, продовжують зсипатися уздовж поверхні електрода до його кінця. Після осипання з нього їх рух описується також рівняннями (5). Основна вимога для цієї стадії - це максимальна величина напруги на електродах.

Рух частинок в електричному полі визначається величиною і знаком їх заряду.

Аналіз великої кількості траєкторій частинок в базовому пластинчатому трибоелектростатичному сепараторі показує, що рух частинок має складний характер у вигляді стрибків над



електродом, а не просте кочення або ковзання, як відзначалось раніше деякими авторами. У зоні трибозарядження збільшуються розміри стрибків, шар частинок як би розширюється по висоті.

Процес зарядження і, відповідно, рух частинок визначається величиною напруженості цього поля, тобто напругою на електродах.

Нестабільність трибоелектризації та невелика ефективність стадії попереднього зарядження пояснюються малою величиною зарядів мінералів і сильним впливом на процес зарядження зовнішніх умов (швидкості подачі матеріалу, форми зерен матеріалу, температури, наявності тонких частинок і т.ін.), що призводить до значного розкиду в значеннях зарядів і до необхідності зміни величини цієї зони, та встановлення в модернізованому сепараторі коронуючого електроду, як засобу підвищення ефективності процесу попередньої зарядки частинок в сепараторах.

Процес зарядження частинок в електричному полі слід розглядати як другу характерну стадію електросепарації, яка є зоною індукційного зарядження та відриву частинок від зарядного електрода. Цій стадії відповідає певна зона сепаратора (див. рис. 1).

Для ільменіту на цій стадії додавання зарядів при позитивній напруженості поля (це відповідає знаку мінус на верхньому електроді) призводить до того, що вже при незначній напруженості поля ($E \approx 0,5$ кВ/см) заряд змінює свій знак.

При подальшому збільшенні напруженості поля відмінність у величинах зарядів частинок провідника і діелектрика все більше зростає.

Причому відбувається це при збереженні відмінності в знаках зарядів, що становить головно мету цієї другої стадії сепарації.

При протилежній полярності на електроді індукційний заряд мінералів є негативним.

Додавання його з трибозарядом не дозволяє отримати селективного зарядження.

Отже, саме звідси випливає одна з основних вимог до організації процесу розділення – знак верхнього електрода повинен забезпечувати індукційне зарядження частинок зарядом, протилежним за знаком заряду трибоелектризації.

Для руху частинок після відриву від зарядного електрода характерно розширення і зміщення віяла в порівнянні з гравітаційним зсипанням. З точки зору процесів, що відбуваються з часточками, ця область фактично є зоною розділення часточок в полі відхиляючих електродів.

Рух часток в цій зоні і, відповідно, їх розділення визначається величиною і характером поля і тими зарядами, які частинки придбали на двох попередніх стадіях.

Залежність траєкторій частинок в зоні розділення від напруги на електродах впливає на розподіл мінералів в приймачі продуктів розділення.

Аналіз віял провідникового мінералу зокрема ільменіту (див. рис. 2) показує, що після деякої напруги (15 кВ) подальший зсув віяла вперед припиняється.

Далі відбувається тільки розширення віяла в бік діелектриків з утворенням характерного «хвоста».

Такий рух провідникових частинок, що утворюють хвіст, тобто рух в сторону протилежну основній масі, можливо пояснити тільки наявністю у цих частинок заряду протилежного знака.

Появляються ці заряди і відповідно хвіст віяла лише при великому значенні напруги на електродах, в області близько 15-20 кВ.

Для діелектричного матеріалу (наприклад, олівину) спостерігаються деякі відмінності в поведінці віял в залежності від напруги (рис. 3).

За відсутності напруги формується вузьке віяло діелектрика. При збільшенні напруги спочатку віяло діелектрика зміщується назад (див. рис. 3).

Таке зміщення говорить про те, що знаки зарядів діелектриків і провідників протилежні.

При значному підвищенні напруги діелектрик також, як і провідник, зміщується вперед у порівнянні з гравітаційним зсипанням.

У цьому випадку частинки діелектрика змінюють знак заряду.



Рис. 3. Віяло розподілу частинок олівину в модернізованому сепараторі в робочому режимі при температурі 24 °С

Стрибокподібний рух частинок складається умовно з двох частин: удару об електрод, відскоку відповідно з властивостями матеріалів частинки в електрода і потім польоту частинки в процесі стрибка до наступного зіткнення з електродом: удар, відскік, стрибок (політ), удар і т.ін.

Рівняння руху частинки в процесі стрибка може бути записано у вигляді

$$m \frac{d\vec{U}}{dt} = \vec{F}_T + \vec{F}_K + \vec{F}_C \quad (3)$$

де m - маса частинок; \vec{U} - вектор швидкості частинок; \vec{F}_T - вектор сили тяжіння; \vec{F}_K - вектор кулонівської сили; \vec{F}_C - вектор сили опору середовища. Розписавши складові векторів сил за осями координат отримуємо систему взаємопов'язаних рівнянь

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = V_x \\ \frac{dy}{dt} = V_y \\ m \frac{dV_x}{dt} = mg \sin \alpha - F_{cx} \\ m \frac{dV_y}{dt} = -mg \cos \alpha + F_{ex} - F_{cy} \end{cases} \quad (4)$$

де $F_c = 6\pi\mu a V_{kc}$ - сила опору середовища руху частинки; $k_c = (1 + Re^{2/3})/6$ - коефіцієнт; $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$

- швидкість частинки; $F_{el} = \frac{0,5\pi b c s_o E_o^2 (s_1 - 1)^2 (1 - l)}{k^2}$; - електрична сила; a, b, c - осі еліпсоїдної частинки, ϵ_o, ϵ_1 - діелектрична проникливість середовища та частинки; $I = \frac{1}{\epsilon^2} \left(1 - 2 \frac{1 - \epsilon^2}{\epsilon^2} \ln \frac{b}{a} \right)$ -

струм; E_o - напруженість на електроді, $k = 1 + da(\epsilon_1 - 1)$. E - розраховувалась за допомогою програмного продукту для розрахунку за методом еквівалентних зарядів. Початковими умовами є: $V_y/t=0=V_{oy}$; $V_x/t=0=V_{ox}$; $xt=0=0$; $yt=0=h_o$; $qt=0=q_o$

Для проведення основної маси розрахунків з метою скорочення часу використовувалися стандартні програмні продукти. Система (7) інтегрувалася із застосуванням стандартної програми вирішення систем диференціальних рівнянь методом Хеммінга.

Залежності (рис. 4) дозволяють виявити механізм селективного зарядження частинок в сепараторі.

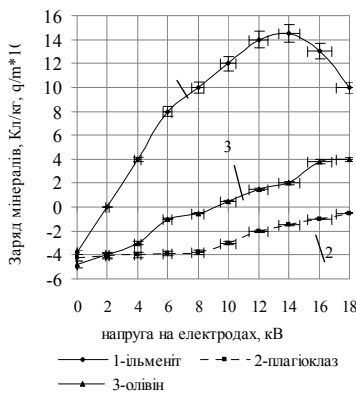


Рис. 4. Залежність заряду мінералів чорного ільменітового концентрату, який отриманий з титаномагнетитової руди

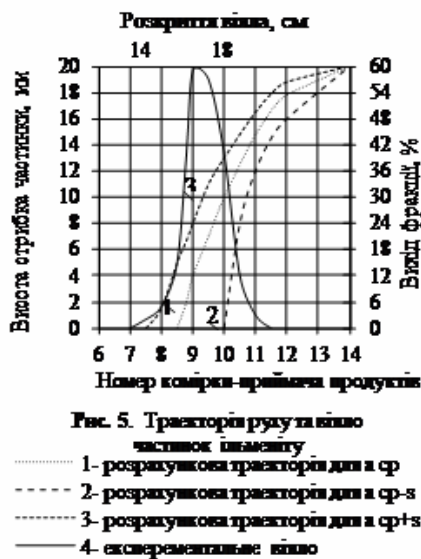
При нульовій напрузі на електродах сепаратора електричне поле в сепараторі відсутній і заряд частинок є зарядом трибоелектризації. Залежність заряду від напруженості поля має вигляд $q_z = q_{тр} + kE$, де q_z - сумарний середньомасовий заряд частинок; $q_{тр}$ - заряд трибоелектризації, що одержується за відсутністю поля; E - напруженість електричного поля; k - коефіцієнт пропорційності. Подібний вид залежності зберігається не в усьому діапазоні напруженості поля. При збільшенні напруженості поля частинки починають відриватися і вдарятися об верхній електрод. Це приводить до

зменшення заряду і лінійна залежність порушується. Інтенсивне зарядження провідників, в даному випадку ільменіту, приводить до швидкої зміни знака його заряду. Матеріали діелектрики, внаслідок їх малої електропровідності, заряджаються значно повільніше. Частинки провідників і діелектриків в результаті такого зарядження мають заряди різного знака.

З аналізу процесу зарядження можна сформулювати принцип селективного зарядження в трибоелектростатичному сепараторі. По-перше, це придбання частинками початкових зарядів трибоелектризації. По-друге, негативний знак цих зарядів як для провідників, так і для діелектриків обумовлює додаток до електродів напруги певної полярності. А саме, верхній високовольтний електрод повинен мати негативний потенціал. У цьому випадку інтенсивний процес на стадії індукційної зарядки призводить до того, що провідники швидко набувають позитивний індукційний заряд або фактично перезаряджаються, змінюючи знак свого початкового трибозаряду. Діелектрики заряджаються набагато повільніше і не змінюють знак заряду. Наявність у ільменіту і олівіну при напрузі ± 5 кВ зарядів різного знака пояснює відмінність в поведінці віял при цій напрузі (див. рис. 2,3).

Здійснення селективного зарядження в пластинчатому модернізованому трибоелектростатичному сепараторі відбувається завдяки взаємодії та комбінації двох виділених вище стадій: трибозарядження та стадії індукційного зарядження або фактично перезарядження. Комплексне дослідження та аналіз зарядження та руху частинок дозволяє виявити явище перезарядження частини частинок провідників при ударі об верхній електрод при підвищеній напрузі. Це і призводить до зменшення сумарного заряду частинок провідників при напрузі $U > 15$ кВ (див. рис.4).

Розрахункові траєкторії частинок ільменіту розміром a_{cp} наведені на рис.5. Там же для порівняння наведено експериментальне віяло розподілу мінералу за секціями приймача продуктів. Вимірне середньоквадратичне відхилення частинок від середнього радіусу в концентраті складо $\sigma_a = 0,13$ мм. На рис. 5 для порівняння нанесені також розрахункові траєкторії для частинок радіусом $a_{cp} \pm s$ (криві 2,3).



Залежність заряду трибоелектризації від довжини зарядного електрода при $t = 24^\circ\text{C}$, після відповідної обробки можна представити у вигляді

$$q_{mp}(l) = m \left(\frac{q}{m_{mp \text{ exp}} \cdot 250 \text{ мм}} - g^\infty \right) l \quad (5)$$

Величина заряду частинки в момент зльоту з зарядного електрода в результаті розрахунку за наведеною методикою виходить рівної $q_{розр} = 4,76 \times 10^{-14}$ Кл. При переході до масового заряду маємо $q/t = 7,49 \times 10^{-6}$ Кл/кг. Експериментальне значення заряду для цих умов становить $6,2 \times 10^{-6}$ Кл/кг.

Порівняння з експериментальними віялами розподілів мінералів по секціях приймача продуктів показує, що похибка не більше 5%, з відзнакою не більше 10 мм від максимуму експериментального віяла.

Висновки та напрямки наукових досліджень. Отже отримано модель руху мінералів всередині трибо-електростатичного сепаратора, яка на відміну від раніше запропонованих, характеризує стрибкоподібний рух частинок, залежний від розміру, швидкості частинки, її механічних, пружних властивостей, питомого заряду частинки, характеристик електрода, та складається, умовно, з двох частин: удару об електрод, відскоку частинки від електрода та потім польоту частинки в процесі стрибка до наступного зіткнення з електродом: удар, відскік, стрибок (політ), удар і так далі, що дозволяє визначити раціональні параметри ведення процесу електросепарації ільменіту титаномагнетитових руд без втрати продуктивності. Підвищення якості ільменітового концентрату на 1,3 % забезпечується селективним зарядженням мінералів за рахунок взаємодії та комбінації двох стадій: стадії попереднього зарядження, що використовує явища трибоелектризації й об'ємного коронного заряду, та стадії основного зарядження частинок зарядом, протилежним заряду трибоелектризації, який створюється знаком верхнього електрода, що призводить до того, що провідники швидко набувають позитивний індукційний заряд і перезаряджаються, змінюючи знак свого початкового заряду, а діелектрики заряджаються негативно без тенденції до індукційного перезарядження,

внаслідок цього виникає істотна відмінність у зміщенні віял провідників і діелектриків при різній напрузі без зниження продуктивності сепаратора.

Список літератури

1. Попков В. И. Кинетика зарядки и динамики волокон в электрическом поле / В.И. Попков, М. И. Глазов. - М., Наука, 1976.
2. Плаксин Н.Н. Сепарация тонковкрапленных железных руд электрическим и сухим магнитным методом / Н.Н. Плаксин, Н.Ф. Олофинский. - М.: Наука, 1966, 205 с.
3. Олофинский Н. Ф. Трибоадгезионная сепарация / Н. Ф. Олофинский, Новикова В. А. М., Наука, 1974.
4. Олофинский Н. Ф. Электрические методы обогащения. М., Недра, 1977.
5. Верещагин И.П. Основы электрогазодинамики дисперсных систем / И. П. Верещагин, В. И. Левитов, Г. З. Марзабекян, М. М. Пашин. - М.: Энергия, 1974. 321 с.
6. Верещагин И.П. Динамика дисперсных систем. - М.: Недра, 1977, 305 с.
7. Ангелов А.И. Движение заряженных частиц в электрическом поле коронно-электростатическом поле коронно-электростатического барабанного сепаратора / А.И. Ангелов, В.С. Ершов, С.И. Лосаберидзе. - Электронная обработка материалов. 1978, № 4, с. 45 – 50.
8. Ангелов А.И. Электростатические сепараторы свободного падения / А.И. Ангелов, Ю.Н. Набиулин. М., Недра, 1970.
9. Карнаузов Н. М. Технология доводки коллективных концентратов с помощью электрической сепарации. М., Недра, 1966.
10. Месеняшин А. И. Электрическая сепарация в поле короны чередующейся полярности. - Электронная обработка материалов. 1978, № 6 (78) , с. 83 – 85.
11. Месеняшин А. И. Электрические силы при электросепарации по проводимости. - Обогащение руд, 1976, № 3, с. 15 – 19.
12. Ralson O.C. Electrostatic separation of mixed granular solids. - Amsterdam: Elsevier. - 1961.
13. Lawer J.E., Derenforth W.P. Electrostatic separation / Electrostatic and its applications ed A.D.Moore. - New York: Wiley. - 1973. - PP. 221-249.
14. Knoll F.S., Lawer J.E., Taylor J.E. Electrostatic separation. / Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 5th edn.- Weinheim: VCH. - 1988. - Vol. B2. - PP. 20-1-20-11.

Рукопис подано до редакції 24.03.14

УДК 622.7: 622.765.06

М.О. ОЛІЙНИК, аспірант, А.І. МАКАЧОВА, студентка
Криворізький національний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБАГАЧЕННЯ ГРАФІТОВОЇ СИРОВИНИ ЗАВАЛЛІВСЬКОГО РОДОВИЩА

Статтю присвячено проблемі переробки бідних графітових руд Заваллівського родовища. В статті проведено аналіз розроблених та впроваджених технологій збагачення графітової сировини, за якими виявлені переваги і недоліки розглянутих технологій збагачення графітових руд. В результаті дослідження обрана оптимальна схема збагачення графітових руд. Досліджено мінералогічний та хімічний склад досліджуваної проби графітового гнейсу Заваллівського родовища. Відмічено вплив ступеню подрібнення графітової руди на її флотуємість в умовах реагентного режиму Заваллівського комбінату. Приведено результати досліджень закономірностей зміни показників флотації при зміні витрат реагентів (соди, рідкого скла, керосину та Т-66). Встановлено оптимальний реагентний режим, за яким значно підвищується якість концентрату. Надано результати збагачення графітової руди за обраною схемою та при встановленому реагентному режимі.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. По запасам графітової сировини Україна займає одне з провідних місць у світі. Сьогодні Україна виробляє графітову продукцію, що достатня як для місцевих потреб, так і для експорту. Графітова товарна продукція є досить дорогою сировиною і в залежності від її чистоти вартість може коливатися від 1,5 до 10 тис. у.о. за одну тону. Отримання більш якісних графітових концентратів, змушує продуцентів модернізувати свої технологічні схеми, шукати можливість їх вдосконалення або введення додаткових способів обробки.

За рахунок того, що запаси багатих графітових руд практично вичерпані, не втрачає актуальності питання залучення в переробку бідних графітових руд. Так, технологія флотаційного збагачення графітової сировини Заваллівського родовища, що включає основну флотацію графіту і три-п'ять перемісток пінного продукту флотації, не дозволяє з бідних руд отримувати

високоякісний графітовий концентрат, який відповідав би вимогам споживачів. Тому удосконалення технології збагачення графітового сировини, що дозволить підвищити якість графітового концентрату з бідних руд є досить актуальним науково-практичним завданням.

Аналіз досліджень і публікацій. Для вирішення мети наукового дослідження, яке б дозволило вивчити поставлене завдання, необхідно розглянути особливості процесу флотації графітової сировини. Флотаційний спосіб збагачення графітових руд є найбільш поширеним. Він заснований на природній гідрофобності, тобто на незмочуваності водою поверхні лусочок графіту. Тому графіт, як природно-гідрофобний матеріал, може бути вилученим у піну з застосуванням тільки одного вспінювача.

Гідрофобність графіту залежить від дисперсності структури мінералу. Наприклад, лускуватий графіт володіє найбільшою флотуємостю, приховано-кристалічний – меншою [1]. Слід відзначити, що переважання ненасичених молекулярних зв'язків по площинах спайності полегшує флотацію графіту аполярними агрегатами.

Для отримання більш високих технологічних показників (вилучення графіту, виходу концентрату та вмісту вуглецю у концентраті) флотацію графіту проводять з використанням збирача (керосин та інші неіоногенні збирачі) та вспінювача (соснове масло, а в промислових умовах реагент «оксал» марки Т-80, диетілгексанол) при рН 8,5-9 [2]. Простий склад реагентної суміші забезпечує задовільну вибірковість флотації у відношенні силікатів та окислів, до яких відносяться більшість мінералів пустої породи в графітових рудах. За умови високої кількості пустої породи використовують рідке скло, що є депресором силікатних мінералів.

У [3] розроблено технологічну схему, яка включає в себе подрібнення до 60-80 % класу - 0,071 мм, основну флотацію, контрольну флотацію, перемішувальну флотацію з попереднім подрібненням до 90-95 % класу - 0,071 мм. За такою схемою можна отримати концентрат з вмістом графіту 60% при вмісті графіту у вихідній руді від 2 до 15 %. Недоліками схеми є низька якість кінцевої продукції.

У [4] запропоновано схему, що включає в себе дроблення у стержневих млинах, основну флотацію з подрібненням пінного продукту в шаровому млині та дві перемішувальні. За результатами основної флотації, з вмістом вуглецю у вихідній руді 11,2 %, був отриманий концентрат виходом 19,38% з вмістом вуглецю 65,9 % та вилученням 89,74 %. При першій перемішувальній досягається підвищення вуглецю до 79,55 % з виходом 15,70 % та вилученням 87,93 %. Друга перемішувальна дає підвищення вуглецю до 86,16 %, вихід 14,40 % та вилученням 87,24. Результати були отримані при флотації у більш м'якій воді. При проведенні збагачення за цією схемою у жорсткій воді зменшилась ефективність процесу та підвищилась зольність концентрату. Перевагами схеми є подрібнення концентрату основної флотації, що надає змогу отримати більш високі результати розділення без надлишкових витрат на подрібнення усієї руди. До недоліків цієї технології слід віднести високу залежність кінцевих показників флотаційної переробки графітової сировини від жорсткості води.

У роботі [5] надана типова схема флотації руди лускуватого графіту з шестикратним перемішуванням та трьохкратним подрібненням чорного концентрату. Подрібнення концентрату велось після I, III і V перемішувальних. З промпродуктів зольністю 82,8 % був отримано концентрат зольністю 7,5 %. Для поліпшення процесу флотації проводився випал карбонатів з невеликою кількістю повітря. Для флотації характерні підвищені витрати збирача - до 1,5-2,5 кг/т, що в свою чергу пояснюється великою площею поверхні такого графіту, який потребує досить тонкого подрібнення. До переваги схеми належить отримання малозольного високоякісного концентрату, високу ефективність процесу розділення графіту та породних мінералів, за рахунок розкриття їх зростків перед перемішувальною та випалу карбонатів. Недоліком такої схеми є досить високі витрати реагентів та електроенергії для та випалу, що тягне за собою підвищення собівартості товарної продукції.

У роботі [6] технологією збагачення передбачено одно-стадійне дроблення руди з вмістом графіту 20-25 % в замкненому циклі з грохотом, подрібнення в головному стержневому млині та п'яти кулькових млинах і флотація в 12 стадій з використанням реагентів – збирача (керосина) та регулятора середовища (сода), вспінювача (флотомасло). У результаті такої технології збагачення отримують графітовий концентрат зольністю 5-6 % при вилученні 95 %. Недоліком цієї технології є апаратурна складність схеми збагачення сировини та значні затрати електроенергії за рахунок великої кількості перемішувальних операцій та подрібнень.

У роботі [7] запропоновано після основної флотації чорновий концентрат піддавати перемішувальній у шість послідовних етапів з двома проміжними операціями подрібнення. В якості збирача використовують солярне масло. У результаті було отримано концентрат з вмістом вуглецю 96,3% та низьким вмістом золи 3,7 %. Така схема відрізняється простотою, але може бути застосована тільки для збагачення крупно лускуватого графіту.

У роботі [8] досліджувався вплив деяких 1,3-диоксидів на флотацію графітових руд та методом ІЧ-спектроскопії вивчалась їх донорна властивість. Надана технологічна схема, включала в себе подрібнення до 70 % класу -0,071 мм, основну флотацію, контрольну флотацію, перемішувальну флотацію з попереднім подрібненням до 95 % класу -0,071 мм. За такою схемою можна отримати концентрат з вмістом графіту 91,9 % при вмісті графіту у вихідній руді 3,6 %. До переваг запропонованої схеми можна віднести кращу ефективність процесу розділення графіту та породних мінералів, і як, наслідок отримання більш чистих продуктів. Недоліками схеми є підвищені витрати електроенергії.

Для підвищення якості кінцевих графітових концентратів в технологіях збагачення графітової сировини крім флотації, застосовують гравітаційну, магнітну сепарації та хімічне доведення концентратів до марок найвищих сортів [9-12].

Сьогодні графітова сировина в промислових умовах перероблюється з застосуванням комбінації різних методів збагачення.

Так, на фабриці «Саутуестерн грэфайт», США [13] впроваджена технологія, за якою вихідна руда, що містить лускуватий графіт з вмістом вуглецю 4,5-5%, подається на подрібнення у замкненому циклі з контрольною класифікацією. Дрібний продукт далі направляється на основну флотацію. Отриманий пінний продукт піддається подрібненню з попередньою класифікацією. Злив класифікації, після двох перемішувань, підлягає гравітаційній сепарації на концентраційному столі. Графітовий концентрат, далі розділяється на різні товарні марки. Флотаційне збагачення дозволяє отримати концентрат з вмістом вуглецю 96-97%. Слід відзначити, що така технологія є ефективною лише для графітів лускуватого типу, з глинистими домішками, і непридатною для графітових руд з металічними включеннями.

Заваллівська збагачувальна фабрика (Україна) сьогодні працює на рудах кристалічного графіту Заваллівського родовища. Схема їх збагачення включає: стадійне дроблення, подрібнення до 50-60 % класу -0,074 мм, класифікацію, стадіальну флотацію з перемішуванням пінного продукту (9 операцій) та подрібненням концентрату, мокру класифікацію, сушку і суху класифікацію. Отриманий концентрат містить 99,95 % вуглецю. Крім того, на Заваллівському графітовому комбінаті для отримання графітової продукції з зольністю менше 0,1% застосовується термохімічний метод доводки флотоконцентратів [12].

Постановка завдання. Для розширення сировинної бази Заваллівського комбінату необхідно в переробку застосовувати біотит-гранатові гнейси, що мають перемінний мінеральний склад та відрізняються невеликим вмістом графіту. Тому в роботі поставлена основна мета дослідження - удосконалення технології збагачення графітової сировини Заваллівського родовища.

Викладення матеріалів та результати. На дослідження поступила проба графітового гнейсу, яка в Заваллівському родовищі переважно представлена чергуванням смужок і лінз різного мінерального складу графіту та біотиту.

Іноді в гнейсі зустрічаються ділянки складені великими агрегатами кварц-польовошпатового складу розміром до 0-15 мм, в яких розміщуються орієнтовані по сланцюватості скупчення лусочок графіту.

При вивченні речовинного складу та технологічних властивостей мінералів проб графітових і гранатових гнейсів було застосовано макроскопічний і мікроскопічні методи дослідження зразків кернавого матеріалу, шліфів і при-шліфовок, а також мономінеральних фракцій для визначення вмісту графіту, граната та інших мінералів, термічний аналіз на установці УТА-1 з хромель-алюмелевої термопарою (час нагріву 15 хв. до 1000°C, еталон - проколений Al_2O_3), хімічний і спектральний аналізи графітових гнейсів і виділених з них мономінеральних фракцій, флотаційні дослідження, що проводилися в лабораторній флотомашині типу ФМ-1М з робочим об'ємом камери 1 л. і 0,5 л. при швидкості обертання імPELLеру в процесі перемішування пульпи з реагентами 1300 об/хв, при флотації - 1800-2200 оберт/хв.

Вміст вуглецю графітового в хвостах і в продуктах флотації визначались за методикою, що полягає в кислотному розчині розкладанні карбонатів і силікатів, фільтруванні та спалюванні

твердого залишку в потоці кисню. За кількістю утвореної вуглекислоти розраховували вміст графіту [14].

Для планування флотаційних експериментів та розробки оптимального реагентного режиму застосовувався метод латинських квадратів та методу випадкового балансу [15].

При виконанні досліджень було вивчено вплив витрат соди, рідкого скла, керосину і Т-66 на показники процесів основної і перечисної флотації графіту з урахуванням взаємного впливу на процес кожного з зазначених реагентів.

При макроскопічному дослідженні проби графітового гнейсу в зразках, крім графіту і біотиту, помітні кварц, польовий шпат, гранат, рідше сульфід (пірит, піротин).

Детальними дослідженнями шліфів і штучних шліхів графітової руди встановлено в невеликій кількості корциерид, сидерит, магнетит, циркон, рутил, хлорид, силіманіт, апатит, турмалін.

На підставі мікроскопічного вивчення щільної графітової руди в шліфах визначено, що вона має сланцевату текстуру, ліпідогранобластову структуру.

Головні мінерали: кварц, становить від 30-40%, ортоклаз 16-20%, біотит 6-18%, плагіоклаз 5-10%, графіт 5-9%, гранат 0-10%.

Другорядні мінерали представлені піротином, піритом, сидеритом, зміст яких становить 0,5-5%.

Акцесорними мінералами є магнетит, рутил, апатит, циркон, турмалін, силіманіт.

Зрідка зустрічаються барит, вторинні мінерали - хлорид, серицит, глинисті мінерали.

В результаті аналізу хімічного складу проби встановлено, що вміст вуглецю складає 7,93%, відношення K_2O/Na_2O дорівнює 1,78.

Слід відзначити в пробі порівняно високий вміст сульфідної сірки, який обумовлений присутністю у пробі значної кількості сульфідів.

Чітко виражена перевага калію у вмісті лугів, так як відношення K_2O/Na_2O дорівнює 1,78.

При виконанні спектрального аналізу у вихідній руді виявлено підвищену кількість міді, нікелю, кобальту і срібла, що в значній мірі обумовлено дуже високим вмістом цих елементів у сульфідах, які складають понад 8 % всієї графітової руди.

Для визначення оптимального ступеня подрібнення руди була поставлена серія експериментів з різною тривалістю подрібнення вихідної руди перед флотацією в умовах такого режиму: витрата рідкого скла - 2 кг/т, керосину - 0,56 кг/т (рідке скло і керосин подаються в подрібненні), Т-66 - 0,20 кг/т, тривалість агітації - 1 хв; тривалість основної флотації і кожної з п'яти перечисток - 5 хв; тривалість подрібнення концентрату першої перечистки - 25 хв.

Відношення Т:Ж при подрібненні – 1:1, кульове навантаження млина – як на вихідній руді.

Результати основної флотації та перечистень (кількість 5) пінного продукту цієї серії досліджень надано на рис. 1.

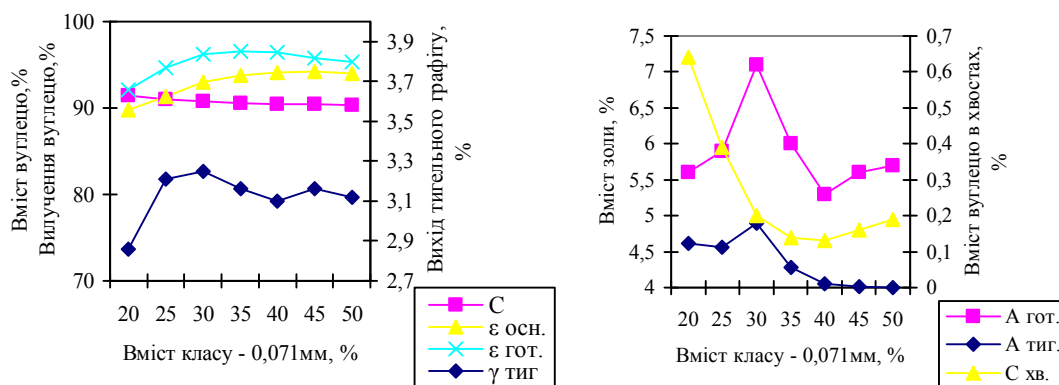


Рис. 1. Залежність показників збагачення графітової руди від вмісту класу мінус 0,071 мм в руді після подрібнення: С – вміст вуглецю в готовому концентраті; $\epsilon_{осн.}$ – вилучення вуглецю в концентрат основної флотації; $\epsilon_{гот.}$ – теж саме в готовий концентрат; $\gamma_{тиг.}$ - вихід тигельного продукту; $A_{гот.}$ - вміст золи в готовому концентраті; $A_{тиг.}$ - теж саме в тигельному продукті; $C_{хв.}$ – вміст вуглецю в хвостах;

Аналіз результатів досліджень (див. рис.1) показав, що оптимальною є крупність подрібнення руди перед флотацією з вмістом класу -0,071 мм 40 %.

При такому подрібненні можливо досягнути найвище вилучення графіту в концентрат основної флотації і в готовий концентрат (відповідно 98,51 і 95,90 %) і найменшу зольність готового концентрату і тигельного продукту (відповідно 5,42 і 4,04 %).

Вихід тигельного продукту при такому подрібненні складає понад 3,1 %.

На наступному етапі досліджень було встановлено вплив регентів з різними витратами на процес флотації (рис. 2-5).

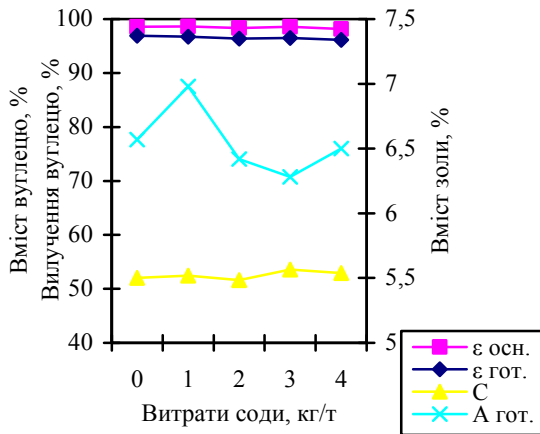


Рис. 2. Залежність показників флотації руди від витрат соди

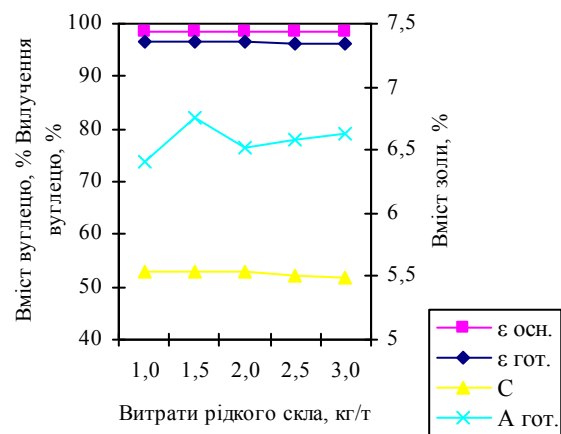


Рис. 3. Залежність показників флотації руди від витрат рідкого скла

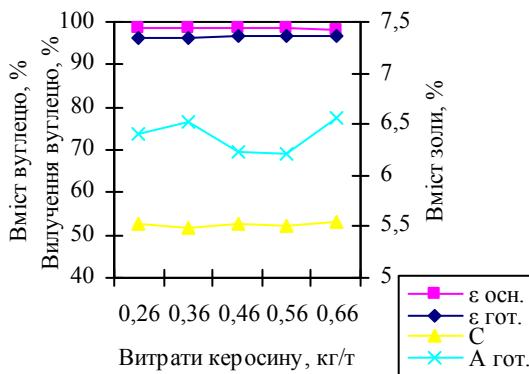


Рис. 4. Залежність показників флотації руди від витрат керосину

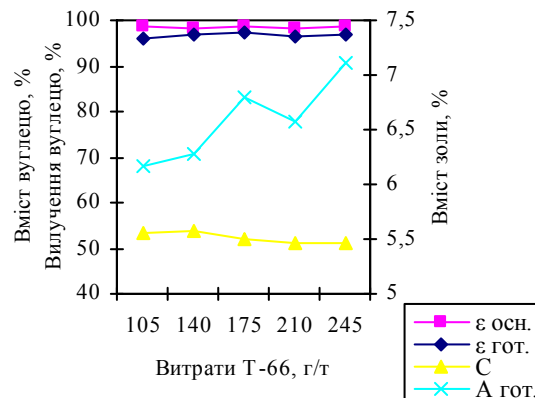


Рис. 5. Залежність показників флотації руди від витрат Т-66

Аналіз результатів досліджень показав, що процес флотації доцільно виконувати при рН 7-7,5. Цей показник може бути досягнутим і без додавання соди. Додавання соди підвищує рН до 8-8,2, що покращує якість концентрату основної флотації, але знижує вилучення графіту при наступних переочищеннях. Тому флотацію можна проводити без додавання соди.

Збільшення витрати рідкого скла з 1 до 3 кг/т не надає суттєвого впливу на флотацію графіту (див. рис 3). Оптимальним можна вважати його витрати 1кг/т. Керосин при мінімальних витратах (0,26 кг/т) забезпечує отримання високих показників основної флотації та переочищень пінного продукту (див. рис.4). Збільшення його витрати до 0,56 кг/т призводить до деякого зниження вилучення графіту в основній флотації та підвищення вилучення його в готовий концентрат. При вивченні залежності показників флотації руди від витрат вспінювача виявлено, що Т-66 надає найбільший вплив на кінцеві показники флотації графіту (див. рис. 5). За оптимальний слід прийняти витрати Т-66 – 140 г/т. Це підтверджується також результатами дисперсійного аналізу.

При проведенні контрольних експериментів з флотації в умовах оптимальних витрат реагентів у відкритому циклі отриманий готовий концентрат з вмістом вуглецю 93,39% і золи

6,22% при вилученні вуглецю 96,94%. Вихід концентрату склав 8,04%; вихід тигельного продукту - 3,30% з зольністю 4,33%. При скороченні кількості перечисток концентрату до трьох зольність готового концентрату підвищується до 8,19% при деякому збільшенні вилучення графіту. Результати цих дослідів свідчать про стабільність процесу флотації графіту з досліджуваної руди. В результаті проведених досліджень доведена можливість підвищення якості концентрату на 1,2% та зменшення зольності на 0,99%.

Висновки і напрямки подальшого дослідження. Для збагачення бідної графітової сировини Заваллівського родовища прийнята технологічна схема, яка включає основну флотацію, що знаходиться у замкнутому циклі з п'ятьма перечистками промпродуктів і подрібненням концентрату першої перечистки при оптимізованих витратах рідкого скла 1 кг/т, керосину 0,26 кг/т і Т-66 0,14 кг/т, що дозволяє з руди з вмістом вуглецю 7,93 % отримано графітовий концентрат з вмістом вуглецю 93,39% і золи 6,22% при вилученні вуглецю 96,94%.

Список літератури

1. Разумов К.А. Флотационный метод обогащения. Л.: ЛГУ, - 1975.
2. Смирнов В.С., Білецький В.С. Флотационні методи збагачення корисних копалин. Донецьк: Східний видавничий дім – 2010.
3. Лабораторные методы исследования графитовых руд: Обзор/ А.Ф.Николаев, О.Ш.Аронскинд, Л.А.Свстигнесва, Н.Г.Худяков. – М., 1985.
4. Обогащение графитов СССР, 1932.
5. Абдурахманов Э.А., Донияров Н.А., Курс лекций по предмету «Технология обогащения нерудных полезных ископаемых», Навои – 2008.
6. Графиты Штирии(переклад №51556/5 з німецької мови), Книги Клара,1964.
7. Лузин В.П. Комплексные минералого-технологические исследования графитовых руд месторождения Чебере в республике Саха(Якутия)/Лузин В.П., Вафин Р.Ф., Пермьяков Е.Н., Кузнецов О.Б., Лузина Л.П., Губайдуллина А.М., Кузнецова В.Г., Ахиярова А.В.//ФГУП «ЦНИИгеолнеруд», г Казань, 2009.
8. Розинов А.І. Графитообогатительная фабрика. М. – Л. 1933.
9. Євтехов В.Д., Олійник Т.А., Кулаков Є.В. Пошук оптимальної технології збагачення графіт-вмісного пилу.//Вісник КТУ, 2003.
10. Разработка технологии и организации производства графита з графит содержащей пыли металлургических производств: Отчет по НИР/ин-т Механообрчермет: руководитель работы Ю.А.Витовтов, Т.В.Дендюк, - 1315-90,- Кривой Рог, 1991.
11. Исследовательские возможности использования графит содержащей пыли металлургического производства для получения товарных марок графита в условиях ЗГК: Отчет/Завальевский комбинат: Руководители работы Н.Н.Заяц,В.Л.Хавин,Т.К.Левченко. – Завалье, 1982.
12. Олейник Т.А. Химическое обогащение графит содержащих продуктов / Олейник Т.А., Дзюба О.И., Харитонов В.Н., Кулаков Е.В. // Наукові праці Донецького національного університету. Донецьк, 2008. – вип. 15(131). – С. 139-151.
13. Томило В.М. Природный графит за рубежом, 1979.
14. Архипов В.С. Определение углерода и водовода в твердых горючих ископаемых. Томск: узд.ТПУ, 2010.
15. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологи. Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. Шк.,1985.

Рукопис подано до редакції 24.03.14

УДК 622.7: 622.34

Л.В. СКЛЯР, канд.техн.наук, доц., О.А. САМОЙЛЮК, магістрант
Криворізький національний університет

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ЗБАГАЧЕННЯ БУРОЗАЛІЗНЯКОВИХ РУД У ВІТЧИЗНЯНІЙ І ЗАРУБІЖНІЙ ПРАКТИЦІ

Виконано аналіз розроблених та введених до експлуатації технологій збагачення бурозалізнякових руд в Україні та за її межами. Виявлені найбільш прогресивні технологічні рішення в схемах збагачення, що використовуються. Визначені основні напрямки подальших досліджень і конструктивних розробок.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На даний час Україна займає одне з провідних місць у світовому балансі залізородної сировини за запасами, виробництвом, споживанням та експортом продукції. Світові розвідані запаси залізних руд склада-

ють на даний час близько 140 млрд т, в яких міститься близько 74 млрд т заліза. Однак поширення залізородних родовищ на планеті нерівномірне. Тільки три країни - Україна, Росія й Австралія володіють 46 % світових запасів заліза.

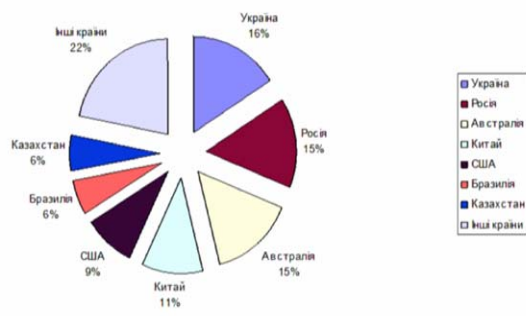


Рис. 1. Розподіл розвіданих запасів залізної руди країн світу

Основне промислове значення мають магнетитові руди з вмістом 31-35% заліза, з яких методом багатостадійної магнітної сепарації отримують концентрати з вмістом 65-68% заліза.

Виснаження запасів багаті сировини разом із підвищенням попиту на світовому ринку на високоякісні концентрати, змушують виробників залізородної продукції модернізувати свої технологічні схеми, шукати можливість їх вдосконалення, введення додаткових способів обробки, а також залучення у переробку важкозбагачувальних бурозалізнякових руд [4].

Виснаження запасів багаті сировини разом із підвищенням попиту на світовому ринку на високоякісні концентрати, змушують виробників залізородної продукції модернізувати свої технологічні схеми, шукати можливість їх вдосконалення, введення додаткових способів обробки, а також залучення у переробку важкозбагачувальних бурозалізнякових руд [4].

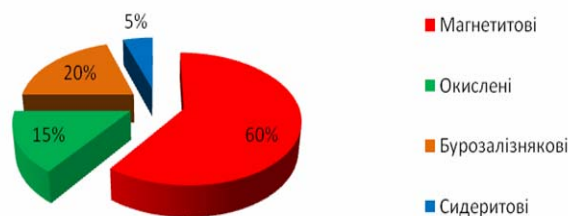


Рис. 2. Запаси залізородної сировини у світі

Одним із резервів залізородної бази чорної металургії є «бурі залізняки», які по запасах посідають друге місце у світі. Розвідані запаси бурозалізнякових руд в країнах СНД 15 646 млн т, що складає біля 20% від загальних залізородних запасів, врахованих за промисловими категоріями [1].

Видобуток та переробка цих руд поки що здійснюється в недостатньому об'ємі, хоча їх запаси як в світовому масштабі, так і в Україні дуже значні. На сьогоднішній день у більшості країн світу спостерігається тенденція до промислового використання бідних залізних руд, в тому числі і бурих залізняків, які раніше вважалися непромисловими. Окрім того зростають потреби металургії, що націлені на отримання великої кількості дешевого металу, що призвело до розвитку та ускладнення схем та методів збагачення, в яких основним завданням стоїть отримання високоякісних концентратів та зменшення втрат заліза у відходах збагачення. В умовах, коли спостерігається виснаження запасів багаті сировини, бурі залізняки можуть розглядатися як додаткове, а на майбутнє, як основне джерело сировини для підтримки потужностей гірничо-збагачувальних комбінатів, тому дослідження в цьому напрямку є досить актуальними.

Аналіз досліджень і публікацій. Найбільші родовища цих руд у країнах СНД - Казахстан (Лисаковське і Аятське родовища), Росія (Бокчарське, Березовське, Бакальське, Аккерманське), Крим (Керченське). У далекому зарубіжжі ці руди поширені у Англії (Нортхемптон), Франції (Ельзас), Німеччині (Пейне-Зальцгіттер), Люксембурзі (Лотарингський басейн), Італії (Ельба), Іспанії (Ріо-Тінто), Конго, Ангола, Канада [9]. Основні запаси бурозалізнякових руд зосереджені в Казахстані, Росії та Англії.

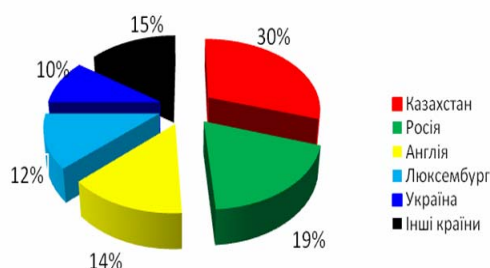


Рис. 3. Світові запаси бурозалізнякової руди у світі

Середній вміст заліза в рудах - 37,4%. Добування руди в основному здійснюється відкритим способом. Концентрати бурозалізнякових руд містять не більше 50-58% заліза і значно уступають по якості сировині з інших типів залізних руд. Недостатня якість концентрату, значний вміст в рудах фосфору і інших шкідливих домішок значно обмежує споживання цих руд.

Вибір методів збагачення бурозалізнякових руд, окрім залежності від їх фізичних, мінералогічних, хімічних та інших властивостей, обумовлюється також техніко-економічними результатами та кон'юнктурою ринку, що створюється як в середині країни так і на світовому

ринку. Залізна руда, тим більше бурозалізнякова, є порівняно дешевою сировиною, тому намагаються використати для її збагачення найбільш дешеві методи. Для отримання високоякісних залізрудних концентратів, а також при наявності в руді інших цінних компонентів використовують більш складні та дороговартісні методи збагачення (наприклад, магнетизуючий випал, флотацію та інше) [2].

Раніше для збагачення бурих залізняків використовували промивку, відсадку, випал руди, збагачення у важких суспензіях, флотаційне збагачення та інші види збагачення. Сьогодні ж пропонують використання комбінованих методів збагачення. На зарубіжних фабриках застосовують: гравітаційно-магнітне, випал-магнітне, промивочно-гравітаційне збагачення, флотаційно-магнітне, гравітаційно-флотаційне збагачення [1].

Наприклад, в Казахстані широкого використання набули гравітаційно-магнітні та випал-магнітні технології.

Стосовно України, можна зазначити, що на даний час розробка власних родовищ та збагачення бурозалізнякової сировини не практикується.

Постановка завдання. Для розробки ефективної схеми збагачення бурозалізнякових руд необхідно здійснити аналіз світової практики залучення до виробництва даного виду сировини. Проаналізувати позитивні та негативні сторони кожної зі схем, що дозволить визначитися з напрямком подальших досліджень.

Викладення матеріалу та результати. Бурі залізняки, що відрізняються крупною вкрупненістю (більш 1 мм) і мають значну різницю в щільності та питомій магнітній сприйнятливості між рудними і нерудними компонентами, можуть успішно збагачуватись за допомогою комбінованої гравітаційно-магнітної технології [3]. При використанні гравітаційно-магнітних схем крупнозернисті фракції вилучають відсадкою, іншу частину — магнітною сепарацією в полі з високою напруженістю [8].

Цю технологічну схему було запропоновано для руд Лісаковського родовища, основними типами руд якого є: оолітові розсіпні руди та крихкі різновиди оолітів. Дослідженням інституту Механобр було показано, що рудні мінерали та пуста порода мають різницю в щільності 0,7-1,0 г/см³, тому можливо для частини руди використати гравітаційне збагачення. Гравітаційні аналізи обох різновидів руд показали, що концентрати із вмістом заліза 46-48% можна отримати при крупності руди - 12 мм, а при вмісті заліза 50% - при крупності менше 0,5мм. Окрім того, було встановлено, що питома магнітна сприйнятливості оолітів та щільних різновидів бурих залізняків значно вище питомої магнітної сприйнятливості пустої породи. Така різниця дозволяє використовувати магнітне збагачення та отримати концентрат із вмістом заліза до 49%.

Отже, була запропонована схема, що включає: дроблення в молоткових дробарках до 30 мм; мокре просівання по класу 2 мм; здрібнювання класу +2 мм у стрижневих млинах до -2 мм; знешламлення класу 2-0 мм у спіральних класифікаторах; два прийоми відсадження знешламленої руди з виділенням концентрату і промпродукту; три прийоми магнітної сепарації промпродукту відсадження з виділенням концентрату і хвостів. У схему включено поліградієнтний сепаратор 2/2 ЭРФМ-160 для виділення концентрату із знешламлених хвостів відсадження другого прийому. За допомогою такої схеми збагачення можна отримати концентрат із вмістом заліза до 49% [1]. Основними перевагами даної схеми збагачення є можливість отримання якісних показників по двом типам руд Лісаковського родовища, що піддаються збагаченню. Вони виходять практично однаковими і це дозволяє збагачувати два різновиди бурих залізняків збагачувати одночасно. А застосування цих сепараторів 2/2 ЭРФМ-160 дозволило збільшити вилучення заліза в концентрат на 6-7%. Гравітаційно-магнітне збагачення не потребує ні дорогого випалення, ні дорогих флотаційних реагентів. Недоліком даної схеми є високі капітальні та експлуатаційні витрати.

Промивочно-гравітаційне збагачення використовують для збагачення глинистих легкопромивних багатих руд. Основним завданням технології є відділення озалізненних оолітів та конкрецій від глини та кварцу. Для цієї цілі використовують два основних процеси - промивку та збагачення у важких суспензіях.

Для багатих глинистих руд Бакальського родовища пропонують застосовувати комбіновану промивочно-гравітаційну технологію збагачення [1]. У даній ситуації промивка використовується як основний процес. З руди із вмістом заліза 41-48 % при промивці в крупності 75-0 мм

та знешламленні зливу можна отримати концентрат, що містить 48,4-55,7% заліза при виході 86,7% та вилученні 96%.

В Англії збагачують бурозалізнякові руди, що містять у якості пустої породи глину та гравій. Руду дроблять до 75 мм та промивають для видалення глини. Миту руду піддають грохоченню на класи -75+2 та -2+0 мм. Після цього клас -75+2 збагачують у важкосередовищних сепараторах, в конусі діаметром 3 м з додаванням ферросиліцевої суспензії. Отримують концентрат із вмістом заліза 51,5% [5].

У США видобування та збагачення оолітових бурозалізнякових руд здійснюється в штаті Алабама. Для збагачення руди використовують промивку, збагачення на гравітаційних столах та збагачення у важких суспензіях.

Недоліком даної схеми є застосування на фабриках малої продуктивності, а також використання для збагачення тільки глинистих багатих руд.

Основними перевагами даного вибору схем є те, що за допомогою промивки можна видалити клас -2÷+0 мм, а це дозволить підвищити на 30 % продуктивність випалювальних установок і збільшити вміст металу у в руді.

Бурі залізняки, що представлені в основному слабмагнітними мінералами при наявності тонкої та крупної можуть збагачуватися по комбінованим гравітаційно-флотаційним схемам [8]. В даному випадку флотацію використовують для збагачення промпродуктів та хвостів гравітації. Флотаційне збагачення бурих залізняків здійснюється двома способами: 1) прямою флотацією за допомогою аніонних збирачів при депресії мінералів пустої породи; 2) зворотною флотацією, флотацією мінералів пустої породи аніонними збирачами при концентрації залізних мінералів в камерному продукті. В якості реагентів використовують гудрон, талове масло, медіалан-КА, хосфатон та інші.

Гравітаційно-флотаційна технологія збагачення була запропонована для збагачення руд Лісаковського родовища. Перед флотацією застосовують промивку, збагачення відсадкою. За такою схемою можна отримати концентрат із вмістом заліза 48,6 % при вилученні 92,5 % та виході концентрату 74,80 %. Вміст заліза у хвостах 11,6 %. Основними недоліками такої схеми є висока вартість реагентів, а також забруднення навколишнього середовища [8].

Для збагачення тонких класів і для очищення концентратів запропоновано використання прямої флотації в содовому середовищі (рН= 8-10) з жирними кислотами, а також зворотня флотація з депресією лимоніту за допомогою крохмалу або ортофосфатів [2,8].

Бурі залізняки, що представлені окислами, гідроокислами та силікатами заліза найбільш успішно можуть збагачуватися по гравітаційно-випалмагнітній технології. На початку технологічних схем гравітаційними методами виділяють мінерали, що найбільш багаті по вмісту заліза. Промпродукти гравітації в таких схемах піддають магнетизуючому випалу та відновленню до металічного заліза. Після цього промпродукти направляють на магнітне збагачення.

В промисловому масштабі гравітаційно-випалмагнітна технологія збагачення бурих залізняків використовується в Німеччині. Руду піддають збагаченню за комбінованими методами, що включають стадійне вибіркоче дроблення, промивку та роздільне збагачення в важких суспензіях мілких та крупних класів.

Частину проміжних промпродуктів відправляють на випал-магнітне збагачення, а після випалення руду піддають магнітному збагаченню в магнітних сепараторах з низькою напруженістю магнітного поля [1,7,12].

При вмісті заліза 27 % та кремнезему 24,3 % в руді, що піддається випалу, після магнітної сепарації отримують концентрат, що містить 40,4 % заліза та 23 % кремнезему при вилученні їх в концентрат 85 і 54 % відповідно.

Технологічні та техніко-економічні показники гравітаційного-випалмагнітного є кращими в порівнянні з показниками інших технологічних схем.

Для руд Лісаковського, Аккерманівського та Березовського родовища застосовують випалмагнітне збагачення. У випалмагнітних схемах використовують магнетизуючо-відновлювальний або окисно-відновлювальний випал, а після цього використовують магнітну сепарацію [13].

Секція №4 ЗФ Лісаковського ГЗК працює по випалмагнітній схемі та включає: дроблення руди до крупності 30-0 мм у молоткових дробарках; її сушіння; дроблення до крупності 10 мм; магнетизуючий випал (вугілля як паливо); дві стадії здрібнювання до крупності 75% класу -0,074 мм; три стадії ММС; чотири стадії знешламлення і фільтрування концентрату.

Випал дробленої руди здійснюється в печі ступенево-зваженого стану (СЗС) [12].

Технологічні показники випал-магнітного збагачення лісаковських руд наступні: вихід концентрату - 52,5 %; вміст заліза в концентраті - 61,6 %.

Для Аккерманівського родовища, де зосередженні в основному природно леговані залізни руди, що представлені глинистими різновидами бурозалізнякових руд була запропонована технологічна схема, що включає обпал руди, а після цього руду відправляють на мокру магнітну сепарацію всього матеріалу, подрібненого до крупності -1 мм і навіть -0,5 мм. Завдяки цій технології було отримано концентрат із вмістом заліза до 58-59% [1].

Для руд Березовського родовища використовують схему, яка включає магнетизуючий випал, магнітну сепарацію обпаленої руди в крупність 12-3; 3-0 і 0,10-0 мм з виділенням у кожній стадії готового концентрату, відвальних хвостів і промпродукт [1]. Вона дозволяє забезпечити стале отримання якісного залізного концентрату із вмістом заліза в концентраті до 56%.

У Франції руда із вмістом заліза до 39% піддається дробленню, сухому грохоченню, промивці, мокрому грохоченню та випалу.

У результаті отримують концентрат із вмістом заліза 48,5%. Основною перевагою такої технології збагачення є можливість збагачення усіх типів руд, що значно спрощує та полегшує добування та обробку руди, а також отримання високих показників збагачення. Основним недоліком геологічної схеми є високі енергозатрати.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Найбільшого розповсюдження за кордоном отримали гравітаційно-магнітні та випал-магнітні технології збагачення.

Дослідженнями доведена перспективність застосування комбінованих технологічних схем збагачення з застосуванням магнетизуючого випалу.

За такою технологією можливо отримати концентрат з вмістом заліза до 58 %. Але цей спосіб збагачення істотно забруднює навколишнє середовище, а також він є дуже енергозатратним.

Отже, для збагачення бурозалізнякових руд Керченського родовища доцільно розробити технологію, що дозволить отримати конкурентоспроможний концентрат та знизити шкідливий вплив на зовнішнє середовище.

Для цього необхідно детально вивчити речовинний та гранулометричний склад сировини, її фізико-механічні властивості, які суттєво впливають на процес збагачення.

Список літератури

1. **Барішполец В.Т.** Обогащение бурых железняков / **В.Т. Барішполец, П.А. Тацпенко, Г.Г. Невојса, П.П. Юров** - М.: Недра, 1965.
 2. **Кармазин В.И., Остапенко П.Е.** Опыт получения концентратов высокой чистоты из бедных железных руд // Горный журнал. – 1961. - № 5. – С.62-67.
 3. **Гапич Т.Н., Герасимова З.Ф.** Анализ фазового распределения железа в промышленных продуктах обогащения // Обогащение руд черных металлов. – М.: Недра, 1976. – С. 89-96.
 4. **Темченко А.Г., Максимова О.С.** Визначення меж продуктивності гірничорудного підприємства в умовах змінного попиту//Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг: КТУ, 2005. - С. 147-151.
 5. **Евсенович С. Г.** Обогащение руд в тяжелых суспензиях. Госгортехиздат Г 1959.
 6. **Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В.** Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1980. – 415 с.
 7. Обжигмагнитное и магнитное обогащение окисленных железных руд/ **Г.В. Губин** – В кн.: Материалы VIII Международного конгресса по обогащению полезных ископаемых. Т.1.Л., 1968, с. 162-173.
 8. **Остапенко П.Е.** Обогащение железных руд / М.: Недра, 1977. – 274с.
 9. **Гуреев М. М.** Стан і перспективи розвитку залізорудної мінерально-сировинної бази України для потреб якісної металургії // Геолого-мінеральний вісник. – 2006. – № 1 (15). – С. 47-52.
 10. **Кармазин В.И.** Применение кричного процесса при обработке Керченского месторождения / **В.И. Кармазин, Н.С. Довжик, Н.А. Малецкий** и др. // Обогащение руд, 1964, - №4. - С.27-29.
 11. **Белаш Ф.Н.** К вопросу обогащения керченских руд с получением концентратов, содержащих металлическое железо / **Ф.Н. Белаш, Э.Г.Киринос** // Криворожский горнорудный институт: Сборник научных трудов. - 1961. - Вып. XI. - С. 365-369.
 12. **Кармазин В.И.** Магнитные методы обогащения / **В.И. Кармазин, В.В. Кармазин** – М.: Недра, 1984. - 416с.
 13. **Богданди Л.Ф.** Восстановление железных руд / **Л.Ф. Богданди, Г.Ю.Энгель** – М.: Металлургия, 1971.- 407 с.
 14. **Кучер А.М.** Взаимосвязь термодинамических и кинетических характеристик процесса восстановления с показателями обогащения обожженных кварцитов / **А.М. Кучер, А.И. Иванов, З.Ф. Герасимова** // Обогащение руд черных металлов: Тематический сборник. - М.: Недра, 1980. - Вып. 9. – С. 30-41.
- Рукопис подано до редакції 07.03.14

К. В. НІКОЛАЄНКО, канд. техн. наук, доц., Н.Ф. ЧЕРЕДНИЧЕНКО, магістр
Криворізький національний університет

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ РУДОЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ МАГНІТОГОРСЬКОГО МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМБІНАТУ, ЗА СКЛАДОВАНИХ У ШЛАМОСХОВИЩАХ

Розглянуто питання переробки залізовмісних хвостів в умовах рудопідготовчих фабрик Магнітогорського металургійного комбінату шляхом високоградієнтної сепарації та гравітаційного збагачення немагнітного продукту мокрого магнітного збагачення.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Економічний розвиток України заснований на високоінтенсивному промисловому виробництві. На відносно невеликій території утворилися та розвиваються великі територіально-промислові центри, які інтенсивно використовують мінерально-сировинні, енергетичні, водні та земельні ресурси. Через невирішеність питання утилізації шламів та хвостів збагачення склалася катастрофічна проблема їх подальшого складування у дорогі гідротехнічні споруди. Поблизу підприємств вільних від'ємних форм рельєфу місцевості для організації хвостосховищ практично немає.

Складування шламів і хвостів збагачення, яке продовжується, підвищує собівартість основної продукції та вимагає відведення нових земельних угідь. Звісно, це у кінцевому випадку погіршує і до того складний стан оточуючого природного середовища в промислово розвинутих регіонах і в Україні у цілому. Собівартість вилучення і переробки цих металів із вказаних родовищ буде нижчою, ніж вилучення їх із природної сировини, запаси яких в Україні обмежені або взагалі відсутні.

Магнітогорський металургічний комбінат є найбільшим підприємством на Південному Уралі. До складу комбінату входять металургійне і рудопідготовче виробництво. У зв'язку з різким зменшенням запасів власної залізорудної сировини з'явилася необхідність вивчення можливості та доцільності переробки залізовмісних хвостів. Відходи збагачувального виробництва з 1951 року складувались в шламосховище № 2. У даний час в шламосховищі № 2 укладено 145101 тис. т відходів із вмістом заліза 20,49%. Геологорозвідувальною партією розраховані прогнозні запаси шламів, які мають цінність для повторної переробки. Запаси залізовмісних шламів на вивченій ділянці склали 11,46 млн т з середнім вмістом заліза 28,39%.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідження проводилися із застосуванням магнітної сепарації в слабкому і сильному магнітних полях, а також гравітації. Найменування відходів, їх кількість та вміст заліза в кожному з видів відходів представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Відходи, які надійшли в шламосховище №2			
Найменування відходів	Кількість, тис. т	Вихід, %	Вміст заліза, %
Шлами ПОФ-1	82444,0	56,82	25,3
Хвости ММС-1	10485,0	7,22	19,6
Хвости ММС ДОФ-5	42392,0	29,22	16,0
Шлами газоочисних мартенівських цехів	64,7	0,04	58,9
Всього	145101,0	100,0	20,49

Гравітаційна диференціація твердої фази пульпи, внаслідок якої відбувається перерозподіл складованого матеріалу в шламосховищі, обумовлюють поблизу випусків пульпи просторово відокремлених ділянок великих фракцій і фракцій з підвищеним вмістом заліза (у порівнянні з іншими ділянками), що мають промислову цінність для повторної переробки з метою вилучення заліза. На площі шламосховища № 2, з метою контрольного визначення вмісту заліза в укладених на «сухому» пляжі хвостах, геологорозвідувальною партією ГОП пробурено і випробувано 24 свердловини глибиною від 2 до 8 м, відібрано 175 проб з інтервалом 0,5 м. За даними випробування, середній вміст заліза по свердловинах коливається від 15,5 до 34,2%. Максимальний вміст заліза досягло 48,1%, мінімальне 12,4%.

За результатами щорічних замірів : нівелюванням відміток покладених на «сухий » пляж шламів і випробуванням їх по руслу потоку, а також з аналізу проб з пробурених свердловин були розраховані прогнольні запаси шламів, які мають цінність для повторної переробки. Вивчення речового складу залізовмісних хвостів показало, що матеріал представлений гравійно-піщано-глинистими відкладеннями , що містять рудні мінерали: магнетит, мартит, гематит, полумартит і нерудні: вапняки, порфірити, гранати, діоріти, роговики, скарни. Ситовий аналіз показав, що проби представлені в основному класом крупності 1-0 мм. Розподіл заліза по класах крупності нерівномірне, але підвищений вміст заліза в порівнянні з вихідним продуктом спостерігалось в класі 0,071 +0,044 мм від 36,5 до 42,0 %. Результатами хімічного аналізу технологічних проб визначено, що вміст заліза загального відповідно пробам 32,7; 26,3; 34,0 . Низький вміст закису заліза (3,6-4,0 %) та високу окису заліза (33,4-44,6 %) вказують на те, що рудна частина шламів представлена в основному окисленими мінералами.

Існуючі технології переробки залізовмісних хвостів ґрунтуються на різниці в магнітних властивостях рудної і нерудної складової, що дозволяє, використавши мокру магнітну сепарацію, високоградієнтну магнітну сепарацію з індукцією 0,7 Тл, додрібнення грубого гематитового концентрату до 0,5-0 мм та гравітаційного збагачення отримувати концентрати, що можуть бути використані в якості шихти для отримання агломерату.

Постановка завдання. В якості об'єкта мінералогічних і технологічних досліджень використані залізовмісні хвости збагачувального виробництва заскладовані у шламосховище №2 Магнітогорського металургійного комбінату. Основний напрям цієї роботи – розробка технології переробки відходів збагачення з отриманням залізородного концентрату з вмістом заліза 60,5%, придатного для виробництва агломерату. У процесі досліджень доцільно вивчити необхідність додрібнення великої фракції хвостів до 0,5-0 мм.

Викладення матеріалу та результати. За результатами ситового аналізу вихідні хвости представлені матеріалом 5-0 мм, тому мокра магнітна сепарація проводилась на вихідному продукті та класах 5,0+0,25 мм и 0,25-0 мм. Розглянутий варіант мокрої магнітної сепарації класів 5,0+0,25 мм хвостів, подрібнених до 0,25-0 мм. Мокра магнітна сепарація проводилась на сепараторі ПБМ-13/38 при напруженості магнітного поля 1200 ерстед. З класу +0,25 мм отримано 4,47% магнітного продукту з вмістом заліза 65,1% з класу - 0,25 мм 11,94% з вмістом заліза 66,5%. Мокра магнітна сепарація вихідних хвостів в слабкому магнітному полі дозволяє виділити магнетитовий концентрат із вмістом заліза 65,9%. Вихід концентрату становить 16,93%, вилучення заліза в концентрат 32,34%. За результатами досліджень, подрібнення вихідного матеріалу перед мокрою магнітною сепарацією в слабкому магнітному полі не доцільно

Високоградієнтна магнітна сепарація немагнітних продуктів проводилась на індукційно-роликівому сепараторі при зміні напруженості магнітного поля від 3000 ерстед до 12000 ерстед. Досліджувалися немагнітні продукти магнітної сепарації крупністю 5-0 мм та 5,0+0,25 мм та 0,25-0 мм.

Аналіз даних результатів високоградієнтної сепарації показала, що переробка магнітних продуктів крупністю -5,0 мм на стенді при напруженості магнітного поля 3800 ерстед дозволяє виділити сумарний магнітний продукт у кількості 20,89% з вмістом 51,97 %.

Витяг заліза в сумарний магнітний продукт 31,47%.

На підставі результатів збагачення залізовмісних хвостів у слабкому та сильному магнітних полях встановлено, що загальний вихід магнітних продуктів отриманих у слабкому та сильних магнітних полях складає 37,82 % з вмістом заліза 58,21 %. Витяг заліза в загальний магнітний продукт 63,81 %. Вміст заліза в хвостах 20,08 %.

Дослідженнями виявлено, що по технології магнітного збагачення не досягнутий заданий вміст заліза у концентраті 61,0%.

Це пояснюється тим, що при збагаченні у високому полі в магнітний продукт витягуються мінерали пустої породи гранати, роговики. Тому на наступному етапі проведені дослідження з застосуванням гравітації немагнітних продуктів, виділених при збагаченні вихідних хвостів у слабкому магнітному полі.

Гравітаційне збагачення немагнітних продуктів класів 5,0+0,250 мм та 0,25-0 мм здійснювалась на концентраційному столі. У першому прийомі гравітації виділились відвальні хвости, грубий концентрат перечищався. Результати гравітації немагнітних продуктів мокрої магнітної сепарації наведено у табл. 2.

Результати гравітаційного збагачення немагнітного продукту

Продукти збагачення	Вихід, %	Вміст заліза, %	Вилучення заліза, %
Клас 5,0+0,25 мм			
Основна операція гравітації			
Грубий концентрат	19,7	37,9	21,65
Хвости I	21,83	17,91	11,33
Вихідний продукт	41,53	27,4	32,98
Перечистка грубого концентрату			
Концентрат	16,3	41,87	19,78
Хвости II	3,4	19,0	1,87
Грубий концентрат	19,7	37,9	21,65
Сумарні показники			
Концентрат	16,3	41,87	19,78
Хвости	25,23	18,05	13,20
Вихідний продукт	41,53	27,4	32,98
Клас -0,25 мм			
Основна операція гравітації			
Грубий концентрат	18,81	43,3	23,61
Хвости I	22,73	16,8	11,07
Вихідний продукт	41,54	28,8	34,68
Перечистка грубого концентрату			
Концентрат	12,25	57,0	20,24
Хвости II	6,56	17,72	3,37
Грубий концентрат	18,81	43,3	23,61
Сумарні показники			
Концентрат	12,25	57,0	20,24
Хвости II	29,29	17,01	14,44
Грубий концентрат	41,54	28,8	34,68
Сумарні показники гравітаційного збагачення немагнітного продукту кр. 5,0-0 мм			
Концентрат	28,55	48,36	40,02
Хвости	54,52	17,49	27,64
Немагнітний продукт	83,07	28,1	67,66

Було вивчено вплив додрібнення великої фракції хвостів в інтервалі від 0,5 до 0 мм на показники гравітаційного збагачення.

Таблиця 3

Результати гравітаційного збагачення класу 5,0+0,25 мм, подрібненого до 0,5-0 мм

Продукти збагачення	Вихід, %	Вміст заліза, %	Вилучення заліза, %
Основна операція гравітації			
Грубий концентрат	19,57	38,4	21,88
Хвости I	21,96	17,44	11,10
Вихідний продукт	41,53	27,4	32,98
Перечистка грубого концентрату			
Концентрат	9,35	55,9	15,14
Хвости II	10,22	22,75	6,74
Грубий концентрат	19,57	38,4	21,88
Сумарні показники			
Концентрат	9,35	55,9	15,14
Хвости	32,18	19,13	17,84
Вихідний продукт	41,53	27,4	32,98
Сумарні показники гравітації немагнітного продукту крупністю 0,5-0 мм			
Концентрат	21,6	56,51	35,38
Хвости	61,47	18,12	32,28
Немагнітний продукт	83,07	28,1	67,66

Аналіз отриманих залежностей (табл. 2,3) показує, що для отримання гравітаційного концентрату із вмістом заліза більше 56,0 % потрібно додрібнення матеріалу до 0,5-0 мм. Загальний вихід концентрату, отриманого у слабому магнітному полі та гравітації складає 39,48 % з вмістом заліза 60,7 %. Вилучення заліза в сумарний концентрат 69,46 %. Вміст заліза у хвостах 17,41 %.

Вибрано та розраховано основне технологічне обладнання, яке передбачає застосування сучасних грохотів ГІСЛ; барабанних сепараторів ПБМ-90/250; індукційно-роликів сепараторів ЕВМ; кульових млинів МШР-32*31; гвинтових сепараторів, стрічкових та дискових вакуум-фільтрів.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином, розроблена технологія переробки залізистих хвостів передбачає: магнітну сепарацію у слабому та сильному магнітному полях; додрібнення грубого гематитового концентрату до 0,5-0 мм і три прийоми гравітації. Технологічні випробування показали, що залізисті хвости шламосховища №2 можуть успішно збагачуватися магнітно-гравітаційним методом. При цьому можливо отримати залізистий концентрат, що може бути використаний в якості шихти для отримання агломерату.

Список літератури

1. Справочник по обогащению руд. Обогаительные фабрики / **О. С. Богданов, О. А. Олевский.** М., Недра, 1980. 527с.
2. **Ашеулов В.Н., Кривицкий В.В., Барсов В.А.** Совершенствование технологии обогащения и окомкования // Горный журнал – 2004.– № 7.– С. 5-8.
3. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы / **О. С. Богданов, О. А. Олевский.** М., Недра, 1980. 207с.
4. **Олевский В.А.** Размольное оборудование обогаительных фабрик // М., 1963 г.
5. **Сухорученков А.И., Стаханов В.В., Зайцев Г.В.** Тонкое грохочение – высокоэффективный метод повышения технологических показателей обогащения тонко-вкрапленных магнетитовых руд // Горный журнал – 2001.– № 4.– С. 9–17.

Рукопис подано до редакції 25.03.14

УДК 622.765: 622.34

Н.В. КУШНІРУК, канд.техн.наук, доц., М.Б. ПОЛОВИНКИНА, магістр
Криворізький національний університет

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗАЛІЗОРУДНИХ КОНЦЕНТРАТІВ ПАТ «ПівнГЗК»

Виконано аналіз заходів підвищення вмісту цінного компоненту у магнетитових концентратах на гірничозбагачувальних підприємствах України, країн СНД та дальнього зарубіжжя. Основними є операції передзбагачення вихідної сировини (суха магнітна сепарація) та доведення чорного концентрату (тонке грохочення, флотаційна доводка), стадіальне виділення концентратів, використання модернізованих магнітних сепараторів. Встановлено перспективний метод отримання конкурентноспроможного продукту збагачення з тонковкраплених магнетитових кварцитів ПАТ «ПівнГЗК». Це є зворотна катіонна флотація у колонних машинах. За допомогою її використання, в якості операції доводки, можливо підвищити вміст цінного компоненту в кінцевому концентраті на 4,5 %.

Постановка проблеми. У теперішній час Україна займає провідне місце у світовому балансі залізорудної сировини по запасах, виробництву, споживанню та експорту продукції. Загальні запаси залізних руд в Україні оцінюються в 27,4 млрд т [1].

Основне промислове значення мають магнетитові руди з вмістом 31-35% заліза, з яких методом багатостадійної магнітної сепарації отримують концентрати з вмістом 65-68 % заліза і 7-9 % кремнезему. Виснаження запасів багаті сировини і залучення у переробку магнетитових кварцитів, що відрізняються тонким вкрапленням рудних і нерудних мінералів, складністю структурно-текстурних особливостей і речовинного складу разом з підвищенням попиту на світовому ринку на високоякісні низькокремністі концентрати, що містять не менше 70 % заліза і не більше 3 % кремнезему, змушують виробників залізорудної продукції модернізувати свої технологічні схеми, шукати можливість їх удосконалення або введення додаткових способів обробки. Від якості концентрату і підготовлених з нього агломерату та обкотишів залежать техніко-економічні показники роботи металургійних підприємств і собівартість металу.

Тому перед виробниками стоїть актуальне завдання з отримання конкурентноспроможних концентратів з залізорудної сировини.

Аналіз досліджень і публікації. Практично у всіх країнах світу відбувся різкий зріст вимог до якості залізорудної продукції. При цьому залізорудні концентрати, що одержані за магніт-

ною технологією як на підприємствах України, так і за кордоном, знаходиться на одному рівні - від 60,2 до 67,6 %. Основний приріст масової частки заліза в залізородних концентратах отримують за рахунок введення в технологію операцій передзбагачення вихідної сировини (суха магнітна сепарація) та доведення чорного концентрату (тонке грохочення, флотаційна доводка), стадіального виділення концентратів, використання модернізованих магнітних сепараторів.

При аналізі наукових досліджень було встановлено, що найбільш перспективною та ефективною операцією для підвищення вмісту заліза у концентраті є операція флотаційної доводки. При її використанні можна підвищити масову частку заліза в кінцевому продукті до 67,5-71,8 % і знизити вміст кремнезему до 2 % і менше. Так на підприємствах, Пі- Рідж (США), Мальбергст (Швеція), Лебединський ГЗК (РФ) на доводочних відділеннях виробляють особливо чисті концентрати (69-70 % заліза і до 2,5% кремнезему), які використовуються для електросталеплавильного виробництва, акумуляторної промисловості (відповідно 71-71,2 і до 1%) та порошкової металургії (71,4-71,8 і до 0,3 %) [1].

Постановка завдання. Для розробки оптимальних заходів з підвищення вмісту заліза на ПАТ «ПівнГЗК» необхідно зробити аналіз світової практики залучення до виробництва тонко вкраплених магнетитових кварцитів. Виявити особливості речовинного складу вихідної сировини, що впливають на вибір режиму ведення процесу операції доводки. Виявити найбільш прогресивні технологічні рішення в схемах, що використовуються.

Викладення матеріалу та результати. Одним з напрямків підвищення якості магнетитового концентрату в зарубіжній практиці має застосування індукційно-роликів високоінтенсивних магнітних сепараторів фірми «Гумбольт», поліградієнтних сепараторів типу «Джонс» фірм «Клекнер» (Германія), «Бокс- Рапід» (Англія) і т.ін.

Основні проблеми магнітного збагачення пов'язані з переробкою тонковкраплених руд, оскільки для частинок крупністю менше 20 мкм магнітна сприйнятливості і магнітна сила звичайно у 2-3 рази нижча, ніж для крупних частинок. Актуальним являється удосконалення технологічного обладнання в створенні сепараторів з різною напруженістю магнітного поля, для збагачення матеріалу за вузькими класами крупності [2-4].

В якості операції передзбагачення застосовують суху магнітну сепарацію. Вона дозволяє стабілізувати речовинний склад вихідної сировини, підвищити вміст цінного компоненту у концентраті та знизити витрати води у технологічному процесі. Суха магнітна сепарація в основному застосовується на підприємствах Уралу, Сибіру і Казахстану (ССГПО), Михайлівському, Стойленському комбінаті (Росія) і Інгулеському ГЗК (Україна) [5].

Проведені дослідження по сухій магнітній сепарації на ПАТ «Південний ГЗК» показали що з багатих магнетитових кварцитів може бути виділено 4-5% відвальних хвостів, з бідних силікат-карбонат магнетитових кварцитів виділяються до 30% з масовою часткою заліза магнітного до 1,5%. Виділення відвальних хвостів при сухій магнітній сепарації дозволило на 4,8-6,6% підвищити питому продуктивність млинів, на 2% підвищити масову частку заліза в I ст., стабілізувати вихідне живлення на фабрику збагачення.

На Інгулеському ГЗК встановлені сепаратори ВПБС-90/250 які дають можливість виділення від 6-13,5 % відвальних хвостів і збільшення масової долі заліза на 1,4-2,25% у промпродукті.

На закордонних залізородних магнітно-збагачувальних фабриках для підвищення масової частки цінного компоненту в концентраті застосовують барабанні магнітні сепаратори з різною напруженістю магнітного поля за стадіями збагачення. На першій стадії сепарації, є підвищена напруженість магнітного поля (до 1750 Е), для подальших стадій сепарації використовуються сепаратори з мінливою напруженістю магнітного поля по колу (від 1200 до 900 Е), а в останній стадії - із зниженою напруженістю (750-800 Е). Це дозволяє підвищити масову частку заліза в концентратах з 62 до 65 % без зниження вилучення металу [6]. Високі технологічні показники по доведенню магнетитового концентрату отримані із застосуванням магнітно-гравітаційного класифікатора типу (МГК-1500), промислові випробування якого проведені на Костомукшському і Лебединському ГЗК. Показано, що при використанні МГК-1500 масову частку заліза в концентраті на Костомукшському ГЗК підвищено до 68,5-69,0 % без використання тонкого грохочення. На Лебединському ГЗК вказаний апарат дозволив отримати концентрат з масовою часткою заліза 70,0-71,0 % без використання зворотної флотації, але без виділення відвальних хвостів, тобто з отриманням двох концентратів [7].

З метою підвищення якості концентрату на окремих комбінатах в якості доводочної операції використовується тонке грохочення (Костомукшський ГЗК), що дозволяє підвищити масову частку заліза з 65,7 до 67,6 % з одночасним підвищенням вилучення цінного компоненту з 76,4 до 78,0 %. Для даної операції на багатьох підприємствах застосовуються грохоти «Деррік» [8].

У наш час за кордоном в промисловому масштабі для обробки дуже тонковкраплених магнетитових кварцитів все частіше застосовується флотаційне збагачення. Для підготовки руди до флотації застосовують схему стадійного дроблення і стандартного подрібнення в стержньових і кульових млинах. При цьому з руди з масовою часткою Fe 36-39 % одержують концентрат близько 70% при достатньо високому (84,3 %) вилученні заліза.

У лабораторних умовах при флотаційному доведенні магнетитових концентратів ПАТ «Південний ГЗК» на технічній воді при природному рН = 8,3 і витраті збирачів 100 - 150 г/т отримано в концентратах вміст заліза: з амінами - Березняківського «АО Азот» 68,2 - 70,6 %, з діамінами DA-16 фірми Tomah Products Inc (США) - 68,5 -69,5 %, з аміноефірами Procol SK921 DPI-5515 фірми Ciba (Німеччина) - 69,2-69,8 %, з сумішшю амінів кокосового масла «Лілафлот КК АС» фірми Keno Gard (Норвегія) - 69,8 -70,4 %. При використанні збирачів DA-16 і DPI-5515 відзначається незруйновна піна [9,10].

Магнітно-флотаційна доводка концентратів на Ігулецькому ГЗК забезпечує отримання флотаційного концентрату з вмістом заліза 69% при вилученні заліза у концентрат 96% (від операції). Процес ведуть на жорсткій технічній воді.

Технологічна схема фабрики (Бразилія), в якій існуючий флотаційний цикл збагачення додані колонні машини. Одна колонна машина додана у кожну секцію в операцію II переробки. Вміст кремнезему в живленні II переробки коливається в межах від 1 до 6 %, тому однієї стадії флотації у колонних машинах достатньо, щоб отримати або концентрат для прямого відновлення, або для доменної печі. Колонна машина в операцію промпродуктової флотації додана в технологічну схему, щоб підвищити вилучення тонких фракцій, особливо у період випуску концентрату для прямого відновлення.

Найбільша кількість залізрудних підприємств, які використовують флотацію у колонних машинах характерно для Бразилії, Канади, США та Індії [11].

Доведення флотацією магнетитових концентратів за кордоном здійснюється в основному в машинах Wetco, які відрізняються керованою циркуляцією, здатністю працювати на грубому продукті, і дають високе вилучення. До підприємств, що використовують машини Wetco відносяться: Емпайр; Міп. Со; Тілден (США); Адамс; Грифіт Шерман (Канада); Кирканс (Норвегія); Кируна (Швеція); Бонг Рейндж (Ліберія) [12].

Останнім часом декількома залізрудними компаніями в Бразилії, Канади, США, Венесуели, Індії ведуться активні дослідження по доведенню залізрудних концентратів методом зворотної катіонної флотації в колонних машинах [13].

Підприємство Кудремукх (Індія) переробляє 22,6 млн т/рік магнетит-гематитових руд за схемою трьох стадіального магнітного збагачення. Немагнітний продукт прямує на гвинтовий сепаратор, концентрат яких до подрібнюється і поступає на флотацію в машинах колонного типу фірми Cominco. З руди з вмістом заліза 38 % отримують гематито-магнетитовий концентрат з вмістом заліза 67 % і кремнезему 4,0% [14,15].

Підприємство PICO MINE (Бразилія) використовує встановлені колонні флотомашини для збагачення дрібних класів гематитової руди крупністю -0,15 мм. Технологічна схема включає основну, контрольну і переробну флотацію. Для зниження витрати збирача використовують дизельне паливо, для підкислення пульпи, що скидається в хвостосховище, використовують вуглекислий газ [14].

Підприємство Minntac (США) продуктивністю 14,7 млн т/рік окатишів застосовує трьох стадійну схему подрібнення до кінцевої крупності 85 % - 53 мкм. З магнітного продукту останньої стадії, що містить 5,4 % кремнезему, після флотації у механічних машинах Денвер, отримується камерний продукт зі вмістом кремнезему 3,9 %. Пінний продукт флотації піддається зневодненню у гідроциклонах. Їх злив (16 % твердого) містить 13,6 % кремнезему і надходить на флотацію в колонних машинах, де вміст кремнезему зменшується до 7-12 %. Загальний концентрат після флотації містить 69,0 % заліза і 3,6 % кремнезему. Для флотації використовується амін діетилового ефіру і спиртовий спінювач [13].

Висновки та напрямок подальшого дослідження. Флотаційне доведення залізрудних концентратів з технологічної точки зору є найбільш досконалим і кардинально вирішує проблему виробництва чистих залізрудних концентратів, аж до отримання моно мінеральних фракцій. Доведення має мету знизити вміст кремнезему у формі кварцу і силікатів, попутно

знижується вміст лугів ($K_2O + Na_2O$), які в основному входять до складу силікатів, що дозволяє використовувати окатиші для подальшої металізації.

Аналіз структурних технологічних схем збагачення тонковкраплених магнетитових руд показує, що найбільш ефективним методом підвищення якості залізних концентратів є «зворотна» катіонна флотація, з вилученням породотворюючих мінералів у пінний продукт.

Отже, для підвищення якості магнетитових концентратів ПАТ «ПівніГЗК» доцільно розробити технологію доводки з використанням колонної катіонної флотації. Це дозволить підвищити вміст цінного компоненту до 70,5%. Для цього необхідно детально вивчити речовинний та гранулометричний склад сировини, її фізико-механічні властивості, які будуть суттєво впливати на процес збагачення.

Список літератури

1. Орлова В.П., Веригина М.И., Голівкина Н.И. - Железородная база России/под ред. М.: ЗАО «Геоинформ-марк», 1998. - 842 с. - ISBN 5 -900357-07-4.
2. Кармазин В.В., Кармазин В.И. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. - М.: Изд-во МГТУ. 2005. - Т. 1.
3. Кармазин В.И., Кабишер С.Г. и др. Получение предельно-богатых концентратов//Горнорудная промышленность,- 1962.- № 3.
4. Кармазин В.И., Остапенко П.Е. Опыт получения концентратов высокой чистоты из бедных железных руд//Горный журнал.- 1961.- № 5.
5. Кретов СИ. Основные закономерности сухой центробежной магнитной сепарации железистых кварцитов // Горный журнал. - 2006. - №7.
6. Зайцев Г.В. Современные направления развития техники и технологии производства высококачественного железорудного концентрата с высокими технико-экономическими показателями / Зайцев Г.В.// Ежедельник «Стройка». – 13.03.06
7. Алейников Н.А. Получение высококачественных магнетитовых концентратов в магнитных полях малой напряженности//Обогащение руд и проблема безотходной технологии. – Л.: Наука. – 1980. – С.73-75.
8. Стаханов В.В., Зайцев Г.В. Перспективы применения тонкого грохочения в технологии обогащения железорудного сырья. Отчет НИИ «Уралмеханобр», Екатеринбург, 2000 г.
9. Остапенко П.Е. Обогащение железных руд. – М.: Недра, 1977. – 274 с.
10. Белаш Ф.Н. Пути освоения флотації железных окислов в Криворожском бассейне. // «Изв. Вузов, Горный журнал».- 1960.- № 3.
11. Глембоцкий ВА, Бехтле Г.А. Флотація железных руд. - М.: Недра, 1964. -223с.
12. Белаш Ф.Н. и Андреева А.И. Влияние окислителей и кислорода воздуха на флотацію гематита и магнетита // Горный журнал.- 1961№6.
13. Богданов О.С., Максимов И.И., Поднек А.К., Янис. Теория и технология флотації руд. -М.:_Недра. - 1990.
14. Гристан Е.Л., Турецкий Я.М. Получение высокосортных железных концентратов методом флотації // Бюллетень ЦИИИ ЧМ.- 1961.-№10.
15. Губин Г.В., Олейник Т.А., Татарин Ф.Г., Оснюк О.Н. Флотація гематита с помощью «носителей»//Вісник КТУ, 2009.

Рукопис подано до редакції 25.03.14

УДК 622.74.913.3

О.В. БУЛАХ, канд. техн. наук, доц., І.В. ХМІЛЬ, аспірант, О.Л. КОСТЮЧИК, магістрант
Криворізький національний університет

ВИРОБНИЦТВО ЗАЛІЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТУ В УМОВАХ РЗФ-1 ПАТ «ПівніГЗК» З ВПРОВАДЖЕННЯМ У ТЕХНОЛОГІЮ ЗБАГАЧЕННЯ ОПЕРАЦІЇ ТОНКОГО ГРОХОЧЕННЯ

Розглянуто розвиток процесу тонкого грохочення в Україні та країнах СНД, проведено дослідження на можливість впровадження у технологічну схему збагачення грохотів тонкого грохочення в умовах РЗФ-1 ПАТ «ПівніГЗК».

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Для промисловості чорної металургії України, Росії та інших країн світу характерно постійне збільшення обсягів видобутку і збагачення магнетитових руд. При цьому з одного боку, масова частка заліза у видобуваємих рудах постійно знижується, а з іншого боку - підвищуються вимоги до якості залізних концентратів.

Зменшення масової частки заліза у видобутій руді пов'язано із залученням у переробку більшої частини магнетитових руд з дисперсною і вельми тонкою рудною вкрапленістю. Для компенсації погіршення якості руди на фабриках ускладнюються технологічні схеми подрібнення і збагачення. В основному це пов'язано зі збільшенням тонини помелу готових продуктів, що призводить до зростання витрат на подрібнення, частка яких досягає 30 % (аналіз собівартості РЗФ-1 ПАТ «ПВНГЗК» за 2011р) від загальних витрат переділу збагачення.

Аналіз досліджень і публікацій. Підвищенням якості магнетитових концентратів займалися протягом багатьох років, як у країнах СНД, так і за кордоном [1].

Основними напрямками в розроблених схемах є:

зниження крупності подрібнення, тобто розкриття зростків, з подальшим магнітним збагаченням подрібненого продукту;

флотація рядових концентратів;

застосування тонкого грохочення;

використання операції знешламлення.

У даний час усі розробки з підвищення якості рядового концентрату впроваджені в промислових умовах.

Дослідженню процесу тонкого грохочення було присвячено багато робіт галузевих інститутів чорної та кольорової металургії в період 1970-1980 рр. Були проведені промислові дослідження грохотів фірми «Раніфайн» (США) та грохоти, розроблені інститутом Механобр, на Лебединському й Полтавському ГЗК. Дослідження показали, що обидва грохоти схильні до забивання та заростання робочих зазорів важкими зернами.

Дослідженням процесу тонкого грохочення також займалися зокрема Маліновський В.А. та Кушпаренко Ю.С. Ними був запропонований метод збагачення тонких класів олов'яних руд (каситериту). Недоговоровим Д.І., Лопатином А.Г. та Дещицом В.С. була запропонована конструкція модернізованого грохоту для грохочення дрібних класів в водному середовищі. С.В. Мамоновим [2] було розглянуто тонке гідравлічне грохочення як фактор підвищення ефективності операцій рудопідготовки та збагачення мідно-цинкових руд.

В.К. Багазеев, Н.Г. Валиев, И.С. Бойков провели досліді динаміки процесу гідравлічного грохочення на плоских грохотах при розробці розсипних родовищ. Також великий вклад в вивчення процесів тонкого грохочення зробив російський вчений А.Е. Пелевин [3].

У даний час усе більшого розповсюдження в практиці збагачення різноманітної мінеральної сировини знаходять високоефективні операції тонкого грохочення на основі застосування високочастотних віброгрохотів корпорації Derrik.

Вони являють собою грохоти мокрого розсіву, з так званою «багатократною подачею матеріалу». Кожен грохот має від трьох до п'яти незалежних просіювальних поверхонь, які виконані зі спеціально розроблених поліуретанових або металічних сіток.

Вже є позитивний досвід від застосування операції тонкого грохочення на ряді підприємств: ВАТ «Карельський окатиш», ВАТ «Соколово-Сарбайське ГВО», ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ВАТ «Олкон» та інших. Досвід показує, що інвестиційні та експлуатаційні витрати при тонкому грохоченні значно нижчі, ніж при досягненні тих же технологічних параметрів подальшого подрібнення або пінної флотації.

Грохоти Derrik також впроваджені і протягом декількох років ефективно працюють у циклі бадделентового виробництва ООО «Ковдорський ГЗК», де встановлено 32 грохоти. Зауважень по експлуатації грохотів практично немає. Випадків засмічування сітки не було.

Постановка завдання. Метою даних досліджень є вдосконалення технологічної схеми для збагачення руд Першотравневого та Ганнівського кар'єрів в умовах РЗФ-1 ПАТ «ПВНГЗК», застосування якої дозволить зменшити собівартість збагачення і збільшити вміст Фезаг. в залізрудному концентраті.

Викладення матеріалу та результати. У процесі досліджень були розроблені двух- та трьохстадійні схеми. На першій стадії класифікації використовували ефект «скальпуючого режиму», що передбачає більш тонкий помел, магнітне збагачення пісків гідроциклону, подвійну класифікацію першої стадії подрібнення, збільшення числа прийомів збагачення, зниження крупності дроблення вихідної руди до +16 -0 мм, зниження крупності молотих куль і т.д.

По розробленим технологічним схемам були отримані концентрати з вмістом заліза більше 66% у порівнянні з базовою.

У цей же час практика показала, що «скальпуючий» режим має ряд недоліків: складність підтримки щільних зливів класифікатора, коливання в циркуляції пісків гідроциклону. Це призводить до нестійкої роботи насосів, а при розбавленні пульпи – до розшарування крупнозернистого матеріалу у зумпфі.

Вихідна проба скомпонована з руд Першотравневого (70%) та Ганнівського (30%) родовищ. Масова частка Fe_{заг} в руді - 35,5%, Fe_{магн} - 26,5%, при вмісті SiO₂ - 41,3%, Al₂O₃ - 0,87 і п.п.п. -2,67% (табл. 1). Масова частка інших компонентів не перевищує 6%.

Кількісний мінеральний склад, згідно перерахунку хімічного, фазового хімічного аналізів і петрографічних досліджень, наведений в табл.2.

За результатами рудорозробки руда представлена, в основному, залізистими різновидами, на частку яких припадає до 85% (табл. 3). Кількість малорудних та безрудних різновидів в пробі до 6%.

Основним рудним мінералом є магнетит, другорядним – гематит, у тому числі мартит і гідроксиди заліза.

Нерудні мінерали представлені кварцом і, у меншій кількості, силікатами й карбонатами.

Магнетит розповсюджений у вигляді індиморфних і неправильної форми зростків, які складають основну частину рудних шарів. Зростки представлені розміром від 0,02 до 0,2 мм. Переважаючий тип агрегацій зростково-гілчастий, рідше зростково-стрічковий. Розмір зерна в цих агрегаціях - менше 0,1 мм.

Характер зростання магнетиту з нерудними мінералами відносно простий. Нерудні зерна, особливо силікати, нерідко містять тонку вкрапленість магнетиту.

Вміст гематиту в пробі вихідної руди становить 5,6%. Представлений він, в основному, мартитом, що розвивається по магнетиту.

Первинний гематит у вигляді таблитчастих зерен розміром 8-16 мкм та їх агрегатів (до 30 - 50 мкм) відзначається в невеликій кількості. Він сконцентрований в окремих шарах, де нерідко зростається з такими ж дрібнозернистим кварцом.

Гідроксиди заліза в кількості 2,5% найчастіше спостерігаються на контакті рудних і нерудних шарів, де розвиваються за рахунок окиснення залізистих карбонатів і силікатів, наслідуючи їх форму. Частина гідроксидів заліза заміщує магнетит, тобто знаходиться з ним в зростанні.

Кварц - основний нерудний мінерал (38,6%) утворює самостійні або з силікатами нерудні шари з розміром зерен 0,015-0,080 мм. Частина зерен, особливо на контакті з рудними шарами, містить включення магнетиту розміром менше 15-20 мкм. Силікати (12,4%) представлені лужним амфіболом, рідше біотитом та куммингтонітом. Їх морфологічні і гранулометричні характеристики є звичайними для руд ПАТ «ПівніГЗК». Карбонати (4,1%) - представлені магнезійно залізистими різновидями.

Розкриття рудних і нерудних мінералів оцінювались як у поточних продуктах збагачення (піски гідроциклону, піски конуса, магнітні продукти та ін.), так і в кінцевих концентратах, отриманих при різній кількості подрібнення.

Згідно проведених досліджень інтенсивне розкриття рудних зерен виникає вже в крупності мінус 0,07 мм. Так в проміжних продуктах збагачення у класі 0,071 - 0,044 мм кількість вільних зерен становить 50-65 %. У цих продуктах відмічено до 8-15 % зростків, а також близько 10% бідних зростків. Основна частина бідних зростків у продуктах збагачення припадає на класи крупніше 0,07 мм. У тонких класах (мінус 0,044 мм) практично в усіх проміжних продуктах збагачення вміст розкритих рудних зерен збільшується до 85-95 %, кількість зростків знижується у 3-4 рази.

Отже, для отримання концентрату з масовою часткою заліза більше 67% потрібне розкриття рудних зерен в крупності менше 0,044 мм.

Під час виконання роботи були виконані випробування руди в два етапи. На першому етапі використовували безперервно діючу установку продуктивністю 100 кг/год. Основна мета даних досліджень - визначення можливості отримання концентрату з вмістом заліза більше 67% по двостадійній схемі з використанням операції тонкого грохочення.

Розроблено й випробувано вісім технологічних схем. У шести з них використовували магнітне збагачення, дешламацію і тонке грохочення. У двох включені операції гравітаційного збагачення.

За всіма варіантами отримано концентрат з вмістом заліза більше 68 %.

Таблиця 1

Хімічний склад вихідної руди ПАТ «ПівніГЗК»											
Масова частка компонентів, %											
Fe _{заг}	Fe _{заг} ⁺²	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe _{магн}	Fe _{карб+}	Fe _{сил+гем}	Al ₂ O ₃	SiO ₂	ппп	CO ₂	Сума
35,5	11,2	14,4	34,8	26,5	2,4	7,2	0,87	41,3	2,67	1,77	94,04

Таблиця 2

Мінеральний склад вихідної руди ПАТ «ПівніГЗК»															
Масова частка мінералів (М) і пов'язаного з ним заліза (Fe), %															
магнетит		гематит, в т.ч. мартит		гідроксид заліза		карбонати		силікати		кварц		інші		сума	
М	Fe	М	Fe	М	Fe	М	Fe	М	Fe	М	Fe	М	Fe	М	Fe
36,6	26,5	5,6	3,9	2,5	1,5	4,1	1,6	12,4	2,0	38,6	-	0,2	-	100	35,5

Таблиця 3

Результати рудорозробки проби руди ПАТ «ПівніГЗК»					
Мінеральні різновиди		Вміст, %			
		Кількість	Fe	Fe магн.	FeO
Сірополошаті	Силікат-магнетитові	75,4	37,6-39,2	26,6-29,1	14,9-16,3
	Магнетитові	6,2	32,7-35,4	22,1-25,6	16,7-19,4
Червонополошаті силікат-магнетитові з гематитом		3,8	36,8-37,9	29,6-31,8	12,8-13,9
Гематит-магнетитові		7,6	39,8-41,6	26,6-27,8	11,9-12,7
Брекчії		2,9	24,3-28,7	17,2-22,6	11,4-15,8
Малорудні кварцити		2,6	19,2-22,3	11,2-13,2	10,8-11,9
Безрудні кварцити		1,0	10,2-14,1	6,6-8,5	4,4-8,2
Сланці		0,5	27,4-30,2	17,6-19,4	16,3-18,3

На другому етапі була задіяна «однотонна» установка.

Випробували п'ять варіантів схем.

У трьох варіантах після першої стадії магнітного збагачення передбачена операція тонкого грохочення по класу 0,063 мм або 0,1 мм.

Відзначено, що підрешітний продукт на $\approx 10\%$ багатший, ніж надрешітний, що цілком зрозуміло - у ньому зосереджена основна доля зростків (до 45%).

Надрешітний продукт в подальшому підлягав подрібненню і подальшому збагаченню.

За усіма трьома варіантами схем отримано концентрат з вмістом заліза вище 67%.

Але з компоновальних міркувань прийнято рішення відійти від використання грохочення після першої стадії магнітного збагачення.

У четвертому і п'ятому варіантах весь магнітний продукт подрібнювався у другій стадії подрібнення. Операція тонкого грохочення встановлена тільки на магнітному продукті другої стадії.

У четвертому варіанті надрешітний продукт доподрібнюється та збагачується по окремій технологічній гілці. Але для компоновання даної гілки потрібна додаткова площа.

Обраний до впровадження п'ятий варіант схеми відрізняється від діючої схеми ПАТ «ПівніГЗК» наступними основними елементами: операція класифікації в гідроциклоні передбачена після II і III стадій подрібнення (на діючій фабриці - перед подрібненням).

Це обґрунтовано тим, що на діючій фабриці в злив разом з тонкими рудними й нерудними зернами долучаються великі зростки, що потребують подрібнення.

У даному випадку діє ефект розділення частин по гідравлічній крупності. Так, на фабриці ПАТ «ПівніГЗК» у злив гідроциклона залучається до 12% зростків. При подальшому магнітному збагаченні дані зростки зосереджуються, в основному, в магнітному продукті. Основна їх частка доходить до кінцевого концентрату разубожуючи його.

Тому у виробленому ГЗКом концентраті міститься до 9% зростків, а також 7% нерудних мінералів;

рекомендовано магнітний продукт II стадії магнітного збагачення піддавати грохоченню по класу 0,063 мм. Це пов'язано з тим, що продукт містить до 65% розкритих рудних зерен, більша частка яких зосереджена у класі мінус 0,05 мм.

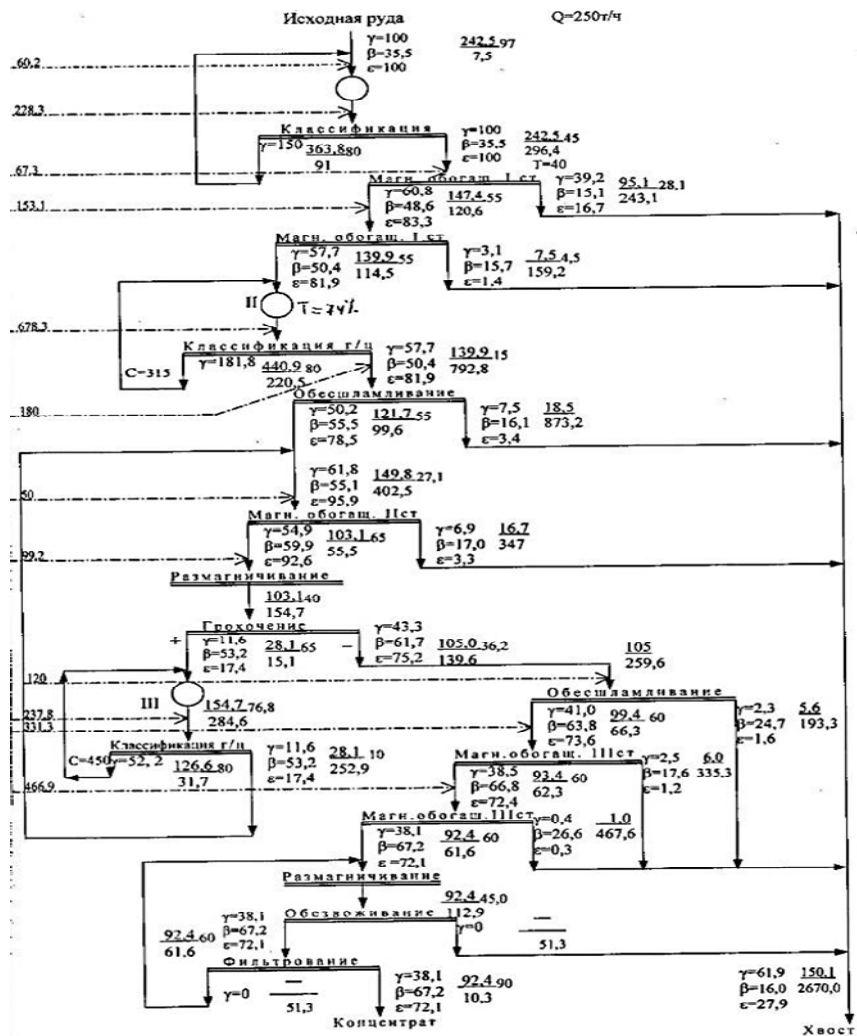


Рис. 1. Рекомендований варіант технологічної схеми

При класифікації в гідроциклоні (діюча схема) основна частина розкритих зерен залишається в пісках яка в подальшому доподрібнюється і відповідно ошламовується.

Це приводить до втрат рудних зерен при наступній дешламациі та магнітному збагаченні; на третю стадію подрібнення надходить надрешітний продукт грохота, що складається в основному зі зростків.

На діючій схемі на третю стадію подрібнення надходять піски гідроциклона, що містять розкриті рудні зерна;

перед грохоченням і фільтрацією передбачена операція розмагнічування, що дозволяє дефлокулювати продукти.

Це, по-перше, збільшує ефективність грохочення, по-друге, звільняє захоплені нерудні зерна із флокул, а також покращує процес фільтрування;

для подрібнення руди рекомендовані кулі діаметром 100, 40 і 30 мм, відповідно за стадіями подрібнення замість 120, 60, 60 мм. Зниження крупності молоткових тіл сприяє покращенню процесу подрібнення, тобто збільшенню виходу готового класу.

Усі перераховані заходи дозволяють отримувати концентрат із вмістом заліза вище 67%.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Для проектних робіт рекомендовано п'ятий варіант схеми (див. рис. 1), яка включає наступні операції: подрібнення дробленої до 25-0 мм вихідної руди, магнітне збагачення (I стадія) зливу класифікатора, подрібнення магнітного продукту, знешламлення зливу гідроциклона з подальшим його магнітним збагаченням (II стадія), грохочення магнітного продукту по класу 0,063 мм, підрешітний продукт знешламлюється і збагачується на магнітному сепараторі (III стадія).

Надрешітний продукт подрібнюється, класифікується. Злив класифікатора повертається на магнітне збагачення у другу стадію.

За даною технологією концентрат містить 67,2% заліза, вилучення заліза - 72,1%.

Список літератури

1. **Остапенко П.Е., Бердышева Т.Г.** Повышение качества богатых магнетитовых концентратов за рубежом. Черметинформация. - М., 1983.
2. Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований цветной металлургии. Усовершенствование технологии тонкого грохочения и подготовки руд к обогащению. - Черметинформация., 1967г.
3. Коллектив авторов. - Известия вузов, Горный журнал, 2011. - №2.
4. **Ненарокомов Ю.Ф.** Анализ отечественного и зарубежного опыта работы обогатительных фабрик. Л. Механобр, 1987.
5. **П.К. Саворский, П.А. Гонтаренко, Л.А. Захарова** и др., Получение концентратов с содержанием кремнезема менее 1% из магнетитовых кварцитов., Горный журнал, 1984. - №11. - С 35-38.
6. Эксперименты по проведению тонкого грохочения кварцевого песка высокого качества на высокоскоростных грохотах фирмы «Derrick», Aufbereitungs Technik., Mineral Processing № 9, 2002.
7. **И.П. Богданова, Е.Н. Рукасова, В.С. Маргулис.** К вопросу повышения воспроизводимости технологических показателей при проектировании. Обогащение руд черных металлов, 1975.
8. Получение концентратов с содержанием кремнезема менее 1% из магнетитовых кварцитов. / **П.К. Саворский, П.А. Гонтаренко, Л.А. Захарова, Б.М. Малый** и др. В кн.: Особенности обогащения тонковкрапленных руд черных металлов. М., 1985. - С. 6-10.
9. **Журавлев С.И., Смачная Э.М.** Эффективность применения тонкого грохочения в схемах обогащения магнетитовых руд «Обогащение руд черных металлов». М., Недра.
10. Опыт применения вибрационных грохотов корпорации «DERRIK» при обогащении железных руд / **Вепнер м.л., Трапе Н., Лелис В.Ю.** - Горный журнал, 2002, №3. С. - 60-64.

Рукопис подано до редакції 25.03.14

УДК 622.775

К.В. НИКОЛАЄНКО, канд. техн. наук, доц., К.В. ЛЯХОВИЧ, магістр
Криворізький національний університет

ТЕХНОЛОГІЯ ЗБАГАЧЕННЯ ГЕМАТИТОВИХ КВАРЦИТІВ ПІДЗЕМНОГО ВИДОБУТКУ

Розглянуто питання збагачення гематитових кварцитів шахти ім. В. І. Леніна для отримання високоякісного концентрату шляхом гравітаційного збагачення.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Потреби чорної металургії в залізорудній сировині в Україні покриваються в теперішній час за рахунок багатих окислених залізних руд, які не потребують збагачення, і концентратів магнітного збагачення не окислених залізних кварцитів. У балансі запасів залізних руд одне з основних місць займають бідні окислені залізни руди. Тільки по Криворізькому басейну запаси окислених руд вимірюються мільярдами тонн.

Використання окислених кварцитів в якості сировини залізорудної промисловості пов'язане з вирішенням таких задач:

обґрунтування доцільної технології збагачення;

оцінка збагачуваності окислених залізних руд і можливістю їх збагачення по єдиній технологічній схемі;

виявлення основних факторів, що визначають технологічні властивості руд, і принципів прогнозування показників збагачення.

Технологія раціонального використання окислених залізних руд в теперішній час знаходиться в стадії розробки (1).

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідження показали, що окислені залізисті кварцити Кривбасу є високоякісною мінеральною сировиною. Як правило вони представляють собою механічну суміш рудних та нерудних компонентів. Окислені залізни руди, що містять гематит,

мартит, гетит, гідрогетит і лімоніт є основним джерелом подальшого розширення сировинної бази вітчизняної гірничої металургії. На теперішній час більше половини потреб гірничої металургії країни в залізородній сировині покривається за рахунок концентратів, отриманих з бідних магнетитових руд, технологія збагачення яких проста і добре опанована. Збагачення окислених залізних руд гематито-мартитового складу вирішується різними способами в залежності від складу пустих порід (кремнеземистих, глиноземистих або скарнових, текстурно-структурних особливостей руди і вкрапленості рудних і породних мінералів).

Існуючі технології збагачення слабомагнітної мінеральної сировини (окислених залізних руд) ґрунтуються на різниці в магнітних властивостях рудної і нерудної складової, що дозволяє, використавши магнітну сепарацію в сильних високоінтенсивних полях з індукцією не більше 1,2 Тл отримувати високі якісні показники розділення. Застосування гравітаційного методу збагачення дозволяє покращити розділення рудних та нерудних мінералів. Було проведено порівняння показників збагачення гематитової руди, подрібненої до крупності менше 2 мм з використанням магнітних і гравітаційних методів (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняння показників розділення руди крупністю 2-0 мм магнітним і гравітаційним методами збагачення

Показники	Методи збагачення	
	магнітний	гравітаційний
Вміст Fe _{заг.} у початковому живленні, %	40,5	40,5
Вихід концентрату, %	74,0	63,6
Вміст Fe _{заг.} у концентраті, %	45,0	51,4
Вміст Fe _{заг.} у хвостах, %	27,7	28,8

Проведені дослідження підтвердили доцільність застосування гравітаційного збагачення що забезпечує в порівнянні з магнітним більш високий вміст заліза загального у концентраті (на 6,4%) при близькому його значенні в хвостах.

Постановка завдання. В якості об'єкта мінералогічних і технологічних досліджень використані окислені залізисті кварцити шахти ім. В.І. Леніна. Основний напрям цієї роботи – визначення оптимальних параметрів рудопідготовки і збагачення, для отримання з руди концентрату зі вмістом заліза загального, не менше 58,0% і виході його від початкового живлення не менше 30%.

Викладення матеріалу та результати. Було вивчено вплив крупності подрібнення руди в інтервалі від 2 до 0,063 мм на показники гравітаційного збагачення. Аналіз отриманих залежностей (табл. 2) показує, що при зниженні крупності живлення гравітаційного збагачення від 2-0 до 0,63-0мм має місце: зниження виходу концентрату (продукт 1) з 36,2 до 25,5%; збільшення вмісту заліза загального у концентраті з 53,8 до 61,3%; отримання багатого промпродукта другого прийому (продукт 2) зі вмістом заліза загального 45,4-50,5% при близьких виходах, незалежно від крупності; збільшення виходу хвостів (продукт 4) з 14,3 до 30,4% при близькому вмісті в них заліза загального, незалежно від крупності.

Отримання концентрату зі вмістом заліза загального 58,0% можливо вже у крупності 1-0 мм (табл. 2), проте вихід його складає 26,3%.

Таблиця 2

Вплив на показники гравітаційного збагачення крупності початкового живлення

Показники	Продукти	Крупність початкового живлення, мм			
		2-0	1,25-0	1-0	0,63-0
Вихід, %	початковий	100,0	100,0	100,0	100,0
	продукт 1	36,2	26,7	26,3	25,5
	продукт 2	13,8	16,7	16,3	13,4
	продукт 3	35,2	32,3	32,7	30,7
	продукт 4	14,3	24,3	24,7	30,4
Вміст Fe _{заг.} , %	початковий	40,5	40,5	40,5	40,5
	продукт 1	53,8	57,8	58,5	61,3
	продукт 2	45,4	47,3	48,7	50,5
	продукт 3	31,6	37,0	37,3	37,5
	продукт 4	22,0	21,5	20,2	21,7

Об'єднання концентрату (продукт 1) з промпродуктом (продукт 2) знижує загальну якість концентрату до 54,8%, що нижче потрібного на 3,2%.

З метою підвищення виходу концентрату зі вмістом заліза загального не менше 58,0% промпродукт гравітаційного збагачення другого прийому (продукт 2) був до подрібнений до крупності 0,5-0 мм і збагачений.

При цьому з нього було отримано 42,6% по виходу від операції концентрату зі вмістом заліза загального 60,9%.

Сумарний концентрат при збагаченні класу 1-0 мм склав 33,2 % по виходу, від початкового живлення, при вмісті заліза загального 58,9% і вилученні в нього заліза 48,7%.

Вміст заліза загального в сумарних хвостах склав 30,9%.

Аналіз показує, що отримання концентрату зі вмістом заліза загального не менше 58,0 % і виході 30,0 %, у крупності 1-0 мм, можливо тільки при збагаченні початкової руди в два прийоми з подальшим доподрібненням промпродукту другого прийому і його додатковим збагаченням.

У зв'язку з тим, що ці показники отримані в лабораторних умовах, на стабільній за вмістом заліза загального сировині, без урахування коливань навантажень на устаткування, вмісту заліза загального в початковій руді і зміни технологічних чинників процесу в промислових умовах, доцільно понизити крупність початкового живлення.

Доцільною крупністю живлення є матеріал 0,63-0 мм, при збагаченні якого отриманий концентрат зі вмістом заліза загального 61,3 %, при виході від початкового живлення 25,5 %.

Проте і в цьому випадку (див. табл. 2) попутно робиться промпродукт (продукт 2) зі вмістом заліза загального 50,5 %.

Об'єднання концентрату (продукт 1) з промпродуктом (продукт 2) дозволяє отримати продукт зі вмістом заліза загального 57,6% при виході 38,9%.

Цей продукт за вмістом заліза загального нижче потрібного на 0,4%, тому була вивчена можливість підвищення якості концентрату наступними шляхами:

доподрібненням промпродукту і його подальшим збагаченням;

перерозподілом продуктів гравітаційного збагачення, з поданням на перетищення в другому прийомі не лише важкої фракції першого прийому, але і промпродукту першого прийому.

При доподрібненні промпродукту до крупності 0,25-0 мм з подальшим його збагаченням було отримано 68,5 % по виходу від операції концентрату зі вмістом заліза загального 58,0 %.

Сумарний концентрат при цьому склав 34,7 % по виходу від початкового живлення, при вмісті заліза загального 60,5 % і витяганні в нього заліза 51,8 %.

Вміст заліза загального в сумарних хвостах склав 29,9 %.

При перерозподілі продуктів гравітаційного збагачення був отриманий кінцевий концентрат зі вмістом заліза загального 60,3 % при виході від початкового живлення 33,2 %.

Вміст заліза загального в сумарних хвостах склав 30,7 %.

Отже, для отримання необхідних якісних і кількісних показників розділення, некондиційну гематитову руду крупністю 0,63-0 мм доцільно збагачувати в два прийоми з перетищенням в другому прийомі важкої фракції і промпродукту першого прийому.

Це дозволить виключити з схеми, що розробляється, такі операції як доподрібнення промпродукту і його дозбагачення, необхідні при отриманні концентрату необхідної якості з класу 1-0 мм.

При цьому отриманий при збагаченні класу 0,63-0 мм концентрат, що містить 60,3 % заліза загального, на 2,3 % перевищує необхідне значення (58,0%), що дозволить згладити вплив негативних чинників промислових умов і забезпечити отримання необхідних якісних показників.

Рекомендовану технологічну схему збагачення некондиційної гематитової руди крупності 0,63-0 мм наведено на рис. 1.

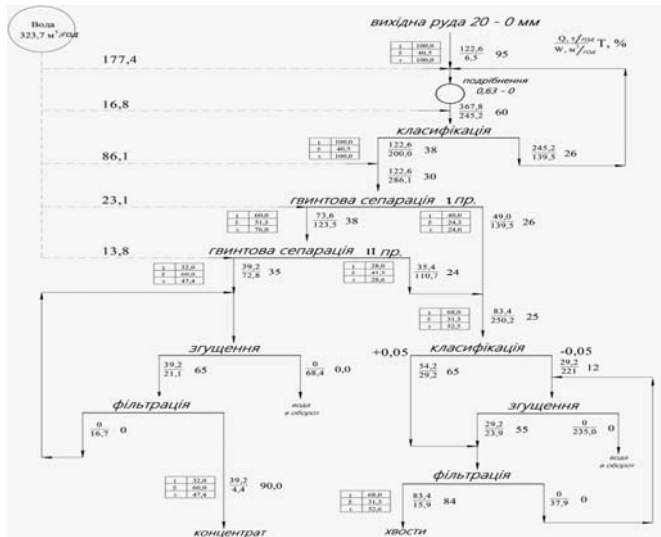


Рис. 1. Рекомендована технологічна схема збагачення некондиційних гематитових руд

тів другого прийому гвинтової сепарації.

Рукопис подано до редакції 25.03.14

УДК 622.271.45

В.Г. БЛИЗНЮКОВ, д-р техн. наук, проф., И.В. БАРАНОВ, канд. техн. наук, С.А. ЛУЦЕНКО, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет

КОМБИНИРОВАННОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД ПРИ РАЗРАБОТКЕ КРУТОПАДАЮЩИХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Приведены условия внутрикарьерного размещения вскрышных пород при совместном безопасном ведении отвальных и горных работ. Установлена рациональная область применения комбинированного (внешнего и внутреннего) и только внутреннего отвалообразования в сравнении с традиционным способом размещения вскрышных пород (внешнее отвалообразование).

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Горно-обогатительные комбинаты (ГОК), осуществляют добычу бедных железных руд открытым способом. Характерной особенностью этого способа является необходимость извлечения больших объемов вскрышных пород, требующих значительных затрат на их размещение в отвалах. При этом происходит постоянное отчуждение плодородной земли для размещения вскрышных пород.

В подавляющем большинстве вскрышные породы при разработке крутопадающих железорудных залежей длительное время размещались за конечными контурами карьеров (внешние отвалы). После многолетнего периода разработки месторождений, появилась возможность складировать вскрышные породы в выработанном пространстве карьера (внутренние отвалы). При возможности сегодня преимущество отдается внутреннему отвалообразованию. Ограничениями его применения являются только технические возможности и законодательство.

В настоящее время практически все внешние отвалы ГОКов уже занимают проектную площадь и исчерпывают возможности по дальнейшему размещению пустых пород. Увеличение объемов выемки вскрыши обуславливает необходимость поиска решения по расширению действующих отвалов или поиск мест для размещения новых.

Анализ исследований и публикаций. Вопросам размещения вскрышных пород при разработке крутопадающих месторождений полезных ископаемых всегда уделялось большое вни-

вание. Проводились исследования по потребности земельных площадей для размещения вскрышных пород во внешних отвалах [1,2]. На основе определения устойчивого состояния отвальных массивов выполнялись исследования по определению параметров и последовательности внешнего отвалообразования как для группы карьеров, так и для группы отвалов и разрабатывались методики определения места размещения отвалов [3-10]. Решались вопросы связанные с размещением вскрышных пород при использовании отработанных карьеров и исследовалась взаимосвязь объемов внешних и внутренних отвалов при разработке крутопадающих залежей [11-21]. На основе оценки вредного воздействия горных работ на окружающую среду были предложены технологические схемы отвалообразования при внутрикарьерном складировании вскрышных пород [22,23].

Постановка задач. В современных условиях разработки железорудных месторождений все большую актуальность приобретает вопрос размещения вскрышных пород извлекаемых в карьерах при добыче полезных ископаемых.

Целью работы является определение вариантов размещения вскрышных пород и условий внутрикарьерного их размещения в выработанном пространстве действующих карьеров с соблюдением совместного безопасного ведения горных и отвальных работ.

Изложение материалов и результаты. Анализ горно-геологических и горно-технологических условий отработки карьеров показывает, что существует возможность применения внутрикарьерного складирования вскрышных пород (частично или полностью) при обосновании технологии и параметров внутреннего отвалообразования во взаимосвязи с режимом горных работ в карьере.

При постановке рабочих уступов одного из бортов карьера на проектное положение и достижении проектной отметки дна появляется возможность внутрикарьерного размещения вскрышных пород с одновременным развитием горных работ в рабочей зоне карьера (рис. 1).

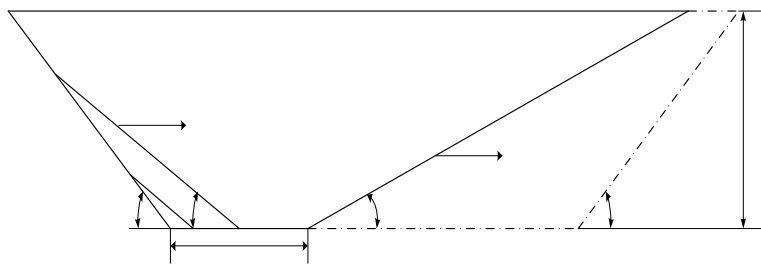


Рис. 1. Границы карьерного поля на момент возможного начала строительства внутреннего отвала

Условием нормальной работы карьера с внутренним отвалообразованием является:

обеспечение заданной производительности карьера по руде;

объем внутреннего складирования пустых пород должен быть таким, чтобы скорость горизонтального подвигания отвального борта карьера не превышала скорости горизонтального подвигания горных работ.

Из этого условия определены параметры технологии отсыпки внутренних отвалов, в частности, формирования первой отвальной площадки каждого яруса ($B_{омв.н}$), которая определяется по формуле, м

$$B_{омв.н} = b_{б} + b_{о.н}, \quad (1)$$

где $b_{б}$ ширина бермы безопасности (транспортной бермы), м; $b_{о.н}$ ширина отсыпаемой площадки, м

$$b_{о.н} = ((ctg\alpha_{н.р.б} \cdot H_{я}) + l_{г}) - (ctg\alpha_{я} \cdot H_{я}) - b_{б}, \quad (2)$$

где $\alpha_{н.р.б}$ угол нерабочего борта карьера, град.; $H_{я}$ - высота яруса, м; $l_{г}$ - скорость подвигания горных работ в карьере, м/год; $\alpha_{я}$ - угол откоса яруса, град.

Минимальное расстояние между зонами ведения отвальных и горных работ в карьере ($l_{б.мин}$) определяется минимальной величиной раскатывания кусков отвальной массы по горизонтальной площади при выполнении всех необходимых предохранительных мероприятий.

Схематически условия размещения вскрышных пород во внутреннем отвале при совместном ведении горных работ в карьере представлены на рис. 2.

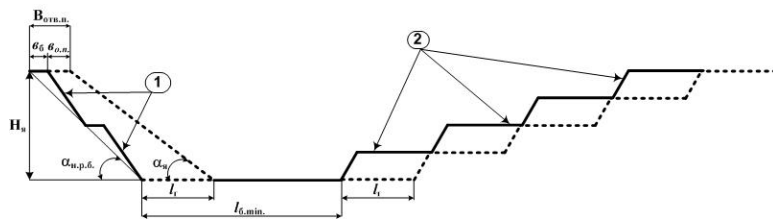


Рис. 2. Схема начала отсыпки яруса отвала при совместном ведении отвальных и горных работ в карьере: 1 – нерабочий борт карьера; 2 – рабочий борт

В соответствии с методикой определения грузопотоков вскрышных пород [6,7] на внешние отвалы ГОКа принимаем выбранный наилучший вариант размещения вскрышных пород на внешних отвалах, который обеспечивает наименьшие затраты на выполнение вскрышных работ. Исследуем, с учетом наилучшего варианта размещения вскрышных пород на внешних отвалах, применение комбинированного размещения вскрышных пород от начала формирования внутреннего отвала до полного размещения объемов вскрышных пород в пространство карьера.

При определенных минимальных параметрах начала отсыпки внутреннего отвала выполняется размещение вскрышных пород в выработанное пространство карьера с последующим увеличением приемной способности ярусов внутреннего отвала. Увеличение емкости отвальных ярусов происходит по мере подвигания горных работ в рабочей зоне карьера, которое приводит к увеличению карьерного пространства в нерабочей зоне карьера.

Распределение объемов вскрышных пород в вариантах применения только внешнего отвалообразования и комбинированного приведено в табл. 1.

Таблица 1

Динамика объемов вскрышных пород по вариантам их размещения, млн м³

Период, лет	Внешние отвалы	Комбинированное			
		высота яруса 60 м		высота яруса 90 м	
		внешние отвалы	внутренний	внешние отвалы	внутренний
4	64,5	60,4	4,1	58,0	6,5
8	115,2	97,8	17,4	85,6	29,6
12	154,5	111,0	43,5	87,0	67,4
16	183,3	-	72,3	-	96,2
20	203,6	-	92,6	-	116,5
24	216,6	-	105,6	-	129,5
28	223,5	-	112,5	-	136,5
32	226,4	-	115,4	-	139,3
34	226,8	-	115,8	-	139,8

Наглядно такое распределение по вариантам размещения вскрышных пород представлено на рис. 3 и 4.



Рис. 3. Динамика объемов вскрышных пород при внешнем отвалообразовании (1) и комбинированном с высотой яруса внутреннего отвала 60 м: 2⁶⁰ – на внутренний отвал; 3⁶⁰ – на внешние отвалы

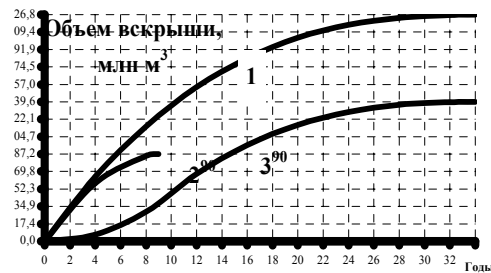


Рис. 4. Динамика объемов вскрышных пород при внешнем отвалообразовании (1) и комбинированном с высотой яруса внутреннего отвала 90 м: 2⁹⁰ – на внутренний отвал; 3⁹⁰ – на внешние отвалы

Необходимо отметить что, как при высоте яруса внутреннего отвала 60 м, так и при высоте яруса 90 м внутренний отвал имеет высоту 360 м (исходя из геометрических параметров исследуемого карьера).

В первом варианте задействовано 6 ярусов, во втором - 4 яруса внутреннего отвала.

По представленным графикам видно, что при применении комбинированного отвалообразования с высотой яруса внутреннего отвала 60 м (см. рис. 3) эксплуатация внешних отвалов прекращается на 12 год.

Во внешние отвалы размещается 111 млн м³ (48,9 %), во внутренний - 115,8 млн м³ (51,1 %) вскрышных пород.

При применении варианта комбинированного отвалообразования с высотой яруса внутреннего отвала 90 м (см. рис. 4) эксплуатация внешних отвалов прекращается в 9 году.

Во внешние отвалы размещается 87,1 млн м³ (38,4 %), а во внутренний - 139,7 млн м³ (61,6 %) вскрышных пород.

Изменение затрат на выполнение вскрышных работ (с учетом негативного воздействия на окружающую среду) представлено на рис. 5.

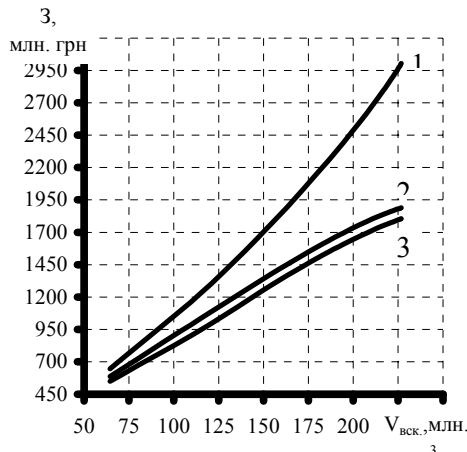


Рис. 5. Изменение затрат на вскрышные работы по вариантам размещения вскрышных пород: 1 – внешнее отвалообразование; 2 – комбинированное с высотой яруса внутреннего отвала 60 м; 3 - комбинированное с высотой яруса внутреннего отвала 90 м

Наглядно из графика можно сделать вывод, что при применении комбинированного отвалообразования по сравнению с внешним размещением вскрышных пород затраты на выполнение вскрышных работ могут быть снижены на 37-40 %.

В данном случае затраты на выполнение вскрышных работ при применении только внешнего отвалообразования примем как максимально-допустимое значение и исследуем, в каких пределах и при каких параметрах возможно применение комбинированного размещения вскрышных пород.

Так как уже определены такие параметры, как объемы вскрышных пород на отвалы, приемная способность отвалов, минимальное расстояние от начала размещения этих пород во внутреннем отвале и рабочей зоной карьера, конструктивные параметры внутреннего отвала (высота ярусов, высота отвала, ширина отвальных площадок), определим, при каком средневзвешенном расстоянии транспортирования вскрышных пород на внутренний отвал будут достигаться максимальные затраты на выполнение вскрышных работ.

В этой связи исследуем еще вариант размещения вскрышных пород только во внутреннем отвале, если допустим, что выработанное пространство карьера позволяет размещать весь годовой объем этих пород в этом отвале.

Изменение затрат на выполнение вскрышных работ в зависимости от средневзвешенного расстояния транспортирования вскрышных пород на внутренний отвал представлено на рис. 6.

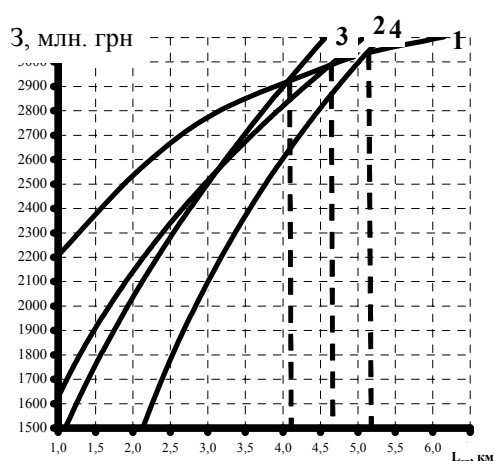


Рис. 6. График зависимости затрат на выполнение вскрышных работ от средневзвешенного расстояния транспортирования вскрышных пород по вариантам их размещения: 1 – только внешнее отвалообразование; 2 – комбинированное с высотой яруса внутреннего отвала 60 м; 3 - комбинированное с высотой яруса внутреннего отвала 90 м; 4 – только внутреннее отвалообразование

Как видно из графика, равенство затрат на выполнение вскрышных работ при варианте применения комбинированного отвалообразования с высотой яруса внутреннего отвала 60 м достигается при значении средневзвешенного расстояния 4,65 км, при варианте применения комбинированного отвалообразования с высотой яруса внутреннего отвала 90 м – 4,1 км.

При применении варианта размещения вскрышных пород только во внутреннем отвале такое равенство достигается при значении средневзвешенного расстояния 5,2 км.

Таким образом, при исследовании вариантов размещения вскрышных пород площадь, отводимая под основание отвалов при внешнем отвалообразовании, составляет 340,3 га.

В варианте применения комбинированного отвалообразования с высотой яруса внутреннего отвала 60 м эта площадь составляет 166,4 га, а варианте применения комбинированного отвалообразования с высотой яруса внутреннего отвала 90 м – 130,6 га.

За период размещения вскрышных пород в отвалах экологический ущерб (отчуждение площадей, плата за размещение этих пород, плата за загрязнение атмосферы) при применении только внешнего отвалообразования составляет более 220 млн грн.

При применении комбинированного отвалообразования с высотой яруса внутреннего отвала 60 м этот ущерб составляет чуть менее 110 млн грн, а при применении комбинированного отвалообразования с высотой яруса внутреннего отвала 90 м – до 85 млн грн.

Список литературы

1. Семенов А. П. Технология отсыпки отвалов в зонах обрушения / А. П. Семенов, С. М. Новожилов, В. И. Сербин, Л. Н. Воронов // Разраб. рудн. месторжд., 1981. – Вып.31. – С.64–67.
2. Михайлов А. М. Влияние основных параметров и схем отвалообразования на эффективность использования земельного отвода / А.М. Михайлов, А. Г. Темченко, В. Г. Щека, П. С. Трушин // Разраб. рудн. месторжд., 1983. – Вып.35. – С.69–74.
3. Николашин Ю. М. Методика контроля состояния устойчивости отвалов в сложных горнотехнических условиях / Ю. М. Николашин, Ю. Н. Куцый, Н. В. Гайдукова // Разраб. рудн. месторжд., 2004. – Вып.85. – С.134–137.
4. Несмашный Е. А. Определение оптимальной высоты отвальных ярусов для железнодорожных отвалов ОАО «СевГЭК» / Е. А. Несмашный, В. П. Бицюк // Разраб. рудн. месторжд., 2004. – Вып.85. – С.138–140.
5. Несмашный С. О. Збільшення ємності зовнішніх відвалів Інгулецького гірничо-збагачувального комбіната / С. О. Несмашний, В. С. Кравець, Г. І. Ткаченко // Вісник Криворізького технічного університету: Кривий Ріг, 2005. – Вип.9. – С.7–9.
6. Близиуков В. Г. Определение места отвалообразования группы карьеров в системе ГОКа / В. Г. Близиуков, И. В. Баранов // Научное обеспечение совершенствования методов производства открытых и подземных горных работ : Сб. научн. трудов. – Кривой Рог. – 2009. – С.3–11.
7. Близиуков В. Г. Методика определения места размещения вскрышных пород и последовательности отвалообразования группы карьеров / В. Г. Близиуков, И. В. Баранов // Міжнародна конференція «Форум гірників–2009». – Днепропетровск: НГУ, 2009. – С.34–41.
8. Яценко Б. Е. Выбор места расположения и расчет параметров отвалов для современных условий разработки Петровского и Артемовского месторождения / Б. Е. Яценко, Е. К. Бабец, И. В. Баранов [та ін.] // Міжнародна конференція «Форум гірників–2009». – Днепропетровск: НГУ, 2009. – С.145–154.
9. Баранов И. В. О возможностях размещения вскрышных пород группы карьеров в системе ГОКа / И. В. Баранов // Вісник Криворізького технічного університету : Зб. наук. праць. – 2010. – Вип. 26. – С. 35–40.
10. Баранов И. В. Определение экономической целесообразности производительности группы отвалов горнообогатительного комбината / И. В. Баранов // Разраб. рудн. месторжд. – Кривой Рог, 2006. – Вып. 90. – С.36–40.
11. Повный Б. Е. Размещение отвалов вскрышных пород в отработываемых карьерах/ Б. Е. Повный, В. Е. Киковка, О. А. Ословский // Разраб. рудн. месторжд. Респ. межведом. научн.-техн. сб., 1983. – Вып.35. – С.78–81.
12. Михайлов А. М. Засыпка глубоких карьеров драглайнами / А. М. Михайлов, В. А. Ковалевский, А. В. Максимов, Н. Д. Кучма // Разраб. рудн. месторжд. Респ. межведом. научн.-техн. сб.. – 1991. – Вып.51. – С.65–68.
13. Романенко А. В. Особенности складирования скальных пород в глубоких карьерах Кривбасса / А. В. Романенко, А. Г. Черный, Ю. М. Николашин // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 5. – С.78–80.
14. Симоненко В. И. Определение области применения на нерудных карьерах технологии поэтапной разработки с внутрикарьерным складированием отходов горного производства / В. И. Симоненко // Разработка рудных месторождений : Научн.-техн. сборник. – 2004. – Вып.85. – С.150–153.
15. Николашин Ю. М. Одноярусное внутреннее отвалообразование полускальных пород при ликвидации карьеров / Ю. М. Николашин, Б. И. Римарчук, П. С. Трушин // Разраб. рудн. месторжд., 2006. – Вып.1 (90). – С.14–16.
16. Шапарь А. Г. Малоотходная технология открытой разработки крутопадающих месторождений с внутренним отвалообразованием, уменьшающая отчуждение земель под отвалы / А. Г. Шапарь, В. Т. Лашко, А. В. Романенко, В. Е. Киковка // Разработка территориальных комплексных схем охраны природы для горнодобывающих районов. – Миасс, 1985. – С.29–30.
17. Трушин П. С. Складирование вскрышных пород в отработанные глубокие карьеры / П. С. Трушин, Г. А. Егоров, С. П. Полторащенко, С. Ю. Николашин // Металлургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск. – 2008. – № 7 (252). – С.27–29.
18. Луценко С. А. Технология внутреннего отвалообразования при поэтапной обработке глубоких месторождений / С. А. Луценко // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників–2006»: Днепропетровск: НГУ, 2006. – С.218–222.
19. Просандеев Н. И. Взаимосвязь объемов внутренних и внешних отвалов при разработке крутопадающих залежей / Н. И. Просандеев // Разраб. рудн. месторжд., 1980. – Вып.29. – С.72–79.
20. Просандеев Н. И. Определение основных параметров внутренних отвалов / Н. И. Просандеев // Разраб. рудн. месторжд., : Респ. межведом. научн.-техн. сборник., 1982. – Вып.33. – С.81–88.

21. **Близиюков В. Г.** Определение параметров комбинированного отвалообразования на железорудных карьерах / **В. Г. Близиюков, И. В. Баранов** // Мониторинг та мінімізація негативного впливу господарської діяльності залізорудних підприємств України на навколишнє природне середовище: Зб.наук.праць. – Кривий Ріг: ДП «ДНДГРІ», 2010. – С. 87–89.

22. **Близиюков В. Г.** Технологические схемы отвалообразования при внутрикьерном складировании вскрышных пород на железорудных карьерах / **В. Г. Близиюков, Б. Е. Яценко, И. В. Баранов [и др.]** // Міжнародна конференція «Форум гірників–2006». – Днепропетровск: НГУ. – 2006. – С.119–123.

23. **Баранов И. В.** Оценка вредного воздействия горных работ на окружающую среду при применении различных способов отвалообразования на железорудных карьерах // Міжнародна конференція «Форум гірників–2007». – Днепропетровск: НГУ, 2007. – С.215–222.

Рукопись поступила в редакцию 22.03.14

УДК622.7: 622.794

Т.А. ОЛІЙНИК, д-р техн. наук, проф., А.В. ВАСИЛИШИНА магістрант
Криворізький національний університет

ВИВЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПЕРЕРОБКИ «ЧЕРВОНИХ» ШЛАМІВ НА ПРЕДМЕТ ОТРИМАННЯ ЗАЛІЗОКИСНИХ ПІГМЕНТІВ

Виконано аналіз ринку алюмінію, стану алюмінієвої промисловості України і світу. Показано на шкідливий вплив відходів глиноземного виробництва відносно стану навколишнього середовища і здоров'я людини. Проаналізовано існуючі методи переробки відходів глиноземного виробництва. Приведено результати хімічного і гранулометричного аналізів червоного шламу «Миколаївського глиноземного заводу». Викладено результати досліджень ІЧ-спектроскопії і рентгенофазового аналізу. Надано результати мінералогічного складу червоного шламу. Показано наявність у червоному шламі заліза і рідкоземельних металів. Визначено можливість отримання залізоокисного пігменту методами гідроциклонування та прожарювання. Отримано результати гідроциклонування червоного шламу по граничній крупності зерна 0,02 мм. Розроблено технологію, що передбачає підвищення однорідності дисперсного складу отриманого залізоокисного пігменту, вмісту заліза з 39 до 53%, зменшення масової частки сульфідної сірки до 0,4%.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Одним з перспективних напрямків формування кольорової промисловості України є розвиток її головної галузі - алюмінієвої промисловості. Сьогодні ринок алюмінію поступається в обсязі лише ринку сталі, і попит на легкий метал постійно збільшується. Світові ресурси бокситів, основної сировини алюмінієвої промисловості, геологічна служба США оцінює в 55 - 75 млрд. т. При цьому в світі всього сім бокситоносних районів: західна і центральна Африка (основні поклади в Гвінеї); Південна Америка (Бразилія, Венесуела, Сурінам); Карибський регіон (Ямайка); Океанія і південь Азії (Австралія, Індія); Китай; Середземномор'ї (Греція і Туреччина) і Урал (Росія). Основні родовища бокситів високої якості, з вмістом глинозему не менш ніж 50%, вже розподілені між найбільшими учасниками галузі. Іншим компаніям залишається купувати глинозем на відкритому ринку і бути цілком залежними від ринкового коливання цін [1].

Україна у світовій алюмінієвій промисловості є одним з великих виробників і експортерів алюмінію, а також великим потенційним споживачем кредитних ресурсів для цілей модернізації та розвитку виробництва. Алюмінієва промисловість України представлена найбільшим у Європі ТОВ «Миколаївським глиноземним заводом», який працює на привозних бокситах, забезпечує глиноземом ПАТ «Запорізький алюмінієвий комбінат» (ЗАЛК). Також, потужними виробниками є Артеміївський завод з обробки кольорових металів та українсько-іспанське СП "Інтерсплав" (Свердловськ, Луганської області).

Слід зазначити, що в Україні є власні алюмінієві ресурси. Однак запаси бокситів на території України незначні. Промислове значення мають лише родовища Смілянське (Черкаська обл.) і Високопольське (Дніпропетровська обл.). Родовища бокситів відкриті, але до кінця не розвідані на півдні Дніпропетровської області, в Приазов'ї, Карпатах, оскільки неконкурентоспроможні із завезеною сировиною (з Гвінеї, Австралії, Бразилії).

Тому особливої уваги набуває техногенна сировина українських підприємств з виробництва глиноземів.

Сучасні підприємства глиноземного виробництва, не володіють технологією комплексної переробки бокситів і складують відходи в хвостосховища, вважаючи подальшу переробку економічно не доцільною, створюючи екологічну небезпеку для промислових регіонів [2].

Відходами виробництва глинозему з глиноземовміщуючої сировини, зокрема бокситів, є червоні шлами. При виробництві 1 т товарного алюмінію з використанням способу Байєра утворюється близько 3 т червоного шламу. Так, у хвостосховищі Миколаївського глиноземного заводу (МГЗ) зібрано 15-17 млн т червоного шламу [3].

Червоний шлам сам по собі не є отруйним. Однак у виробництві глинозему застосовується лужний розчин, і саме червоний шлам разом з лугом несе небезпеку. Луг викликає опіки шкіри, слизових оболонок. Важкі метали, що містяться в шламі, ведуть до зниження інтелектуального розвитку, уваги і вміння зосередитися у дітей; у дорослих - до підвищення артеріального тиску, оніміння або поколювання в кінцівках, болю у м'язах, головного болю, болю у животі, зниження пам'яті та імунітету, неокрів'я, ураження печінки та нирок [4].

Слід зазначити, що в урядовому рішенні про будівництво МГЗ передбачалася повна переробка червоних шламів з початком експлуатації заводу. Але це не було здійснено. Хвостосховище вже близько до наповнення і проблема вторинного використання шламу стоїть дуже гостро. Мається на увазі не тільки використання його цінних компонентів, але і зменшення техногенного тиску на навколишнє середовище [3].

Враховуючи особливості хімічного складу (високий вміст оксидів заліза і алюмінію) і високу дисперсність (вміст фракції - 5 мкм досягає 80 %) у першу чергу практичний інтерес представляють методи переробки червоного шламу з максимальним виділенням компонентів у товарні продукти. У зв'язку з цим, особливо актуальним стає завдання розробки технології збагачення практично не вивчених відходів українського глиноземного виробництва - червоних шламів, створення якої дозволить вирішити ряд як технологічних, так і екологічних проблем нашої країни.

Аналіз досліджень та публікацій. Переробка і використання бокситових шламів у різних галузях промисловості обумовлюються хімічним і фазовим складом, фізико-механічними властивостями (гранулометричним складом, пористістю) шламу.

Відомо велика кількість варіантів технологічних схем переробки червоних шламів. Частина з них заснована на поділі компонентів шламу методами магнітної сепарації та класифікації продукту по крупності. Недоліком цих методів є мала ступінь відділення одного виду з'єднань від іншого, тому тут можна говорити тільки про той чи інший спосіб збагачення цієї нерудної сировини. Велика кількість технологічних рішень ґрунтується на методі вилучення заліза з оксидів червоного шламу реакцією відновлення вуглецем [5,6], при цьому одночасно відбувається насичення отриманого заліза вуглецем і переведення його в стан чавуну. Одержаний при цьому шлак з підвищеним вмістом оксиду алюмінію може бути придатний для отримання з нього цементу, в тому числі глиноземистого, якщо до шлаку додати, наприклад, небалансовий боксит [7-9].

Відома схема комплексної переробки червоного шламу, за якою на першій стадії при 1000°C без розплавлення здійснюють випал суміші червоного шламу, вапна і коксика. Частина заліза оксидів на цій стадії відновлюється повністю, інша частина відновлюється до FeO. На другій стадії при відповідній температурі залізо з FeO відновлюють майже повністю і відокремлюють його у вигляді чавуну від саморозсіпного шлаку, з якого згодом вилуговуванням отримують глинозем [10].

Недолік зазначених вище схем пірометалургійної переробки червоного шламу полягає в тому, що залізо на стадії плавки переходить в чавун. При відсутності потреби в чавуні доводиться витратити кошти на переведення чавуну в сталь, залучаючи для цього інше металургійне обладнання.

У багатьох технічних рішеннях в металевий продукт не вилучаються інші наявні в червоному шламі метали; наприклад, титан і кремній не вилучаються в окремий металургійний продукт. Їх вилучення в чавун корисний, але якщо далі чавун переробляється на сталь, то з окисленням вуглецю окислюється і титан з кремнієм, які знову йдуть у шлакову фазу і часто губляться.

Альтернативним способом переробки корисних шламів може бути спосіб, який включає: підготовку порції шихти, що містить червоний шлам і вуглецевий відновник; нагрів шихти в

плавильному агрегаті до температури твердофазового відновлення заліза; твердофазове відновлення оксидів заліза в шихті вуглецевим відновником і насичення підготовленої шихти вуглецем; плавку відновленої шихти з отриманням металевої фази у вигляді первинного шлаку; відділення чавуну від первинного шлаку в отриманому розплаві, нагрітому до 1400°C; відновлення кремнію і титану; видалення чавуну і первинного шлаку з плавильного агрегату [11].

Недоліком даного способу є те, що відновлені з оксидів кремній і титан переходять в чавун.

Чавун з добавками кремнію і титану менш цінний в порівнянні з окремо отриманими чавуном, кремнієм і титаном.

Наступним перспективним напрямком у переробці червоних шлаків є спроба додаткового вилучення глинозему з червоного шламу і повернення його в основне виробництво.

Для вилучення оксиду алюмінію (Al_2O_3) шлам піддається випалу з гідросульфатом амонію (NH_4HSO_4) при 400 і 450°C для утворення розчинного у воді подвійного сульфату амонію та алюмінію. Продукт випалу вилуговується у воді або сірчаній кислоті (H_2SO_4).

Аналіз проблеми переробки корисних шлаків показав, що дослідження з використання червоних шлаків ведуться, в основному, у двох напрямках. Перший напрямок розробка методів, в яких червоний шлам переробляють з метою вилучення цінних компонентів. До них відносяться металургійні способи комплексної переробки корисних шлаків на чавун з попутним вилученням глинозему і регенерацією лугу; вилучення діоксиду титану (TiO_2), галію (Ga), ванадію (V), скандію (Sc).

Другий напрямок - розробка способів, в яких червоний шлам використовується в цілому без поділу на компоненти як основна складова або як добавка при отриманні різних продуктів: цементу [12]; цегли, будівельної кераміки, наповнювача для асфальтобетону, жаростійкого бетону, дефосфатного флюсу [13]; склошламових матеріалів, коагулянтів [14].

Постановка завдання. В якості об'єкта досліджень використані червоні шлами Николаївського глиноземного заводу. Метою роботи є визначення мінералогічного, гранулометричного складу відвальних червоних шлаків і вивчення їх фізико-механічних властивостей червоних шлаків, які є багатокомпонентними системами. Результати вивчення технологічних властивостей червоних шлаків дозволить з'ясувати можливість їх переробки.

Викладення матеріалу та результати. Мінералогічний склад червоного шламу визначався рентгенофазовим аналізом та методом ІЧ – спектроскопії.

Аналіз результатів досліджень ІЧ - спектроскопії показав, що червоний шлам Николаївського глиноземного заводу складається з гематиту - Fe_2O_3 , шамозиту - $4FeO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$, кальциту - $CaCO_3$, гідрогранату - $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot (6-2x) H_2O$, гідросилікату натрію.

Далі був проведений гранулометричний аналіз шламу для визначення хімічного складу фракцій. Результати гранулометричного складу надано на рис. 1,2.

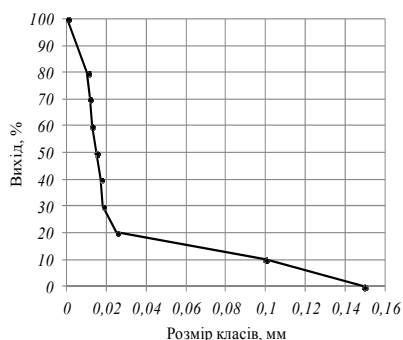


Рис. 1. Ситова характеристика червоного шламу

Проведений аналіз показав, що червоний шлам в основній своїй масі представлено частинками розміром менше 0,025 мм (83,7%), вміст класу - 0,01 мм досягає 66,7 %.

Ситова характеристика червоного шламу підпорядковується поліноміальному рівнянню 5 ступеня з достовірністю апроксимації 0,9977

$$\gamma = 2E + 0,9d^5 - 5E + 0,8d^4 + 4E + 0,7d^3 - 1E + 0,6d^2 + 5826d + 100$$

де γ - вихід фракцій; d - розмір зерен.

Зіставлення результатів хімічного аналізу з ситовим показало, що в дрібних фракціях (-0,01 мм) концентруються мінерали, що містять Fe_2O_3 , TiO_2 , а карбонати і сірка більш зосереджені у крупних класах.

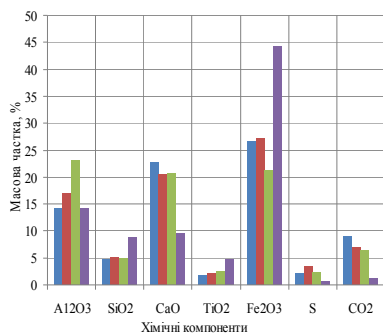


Рис. 2. Розподіл хімічних елементів по класам крупності червоного шламу

можна використовувати для виробництва залізоокисного пігменту.

Для підвищення вмісту оксиду заліза в шламі і для відділення шкідливих для пігментних властивостей домішок сполук сірки, які концентруються у крупних фракціях, було проведено гідроциклонування червоного шламу.

По фізико-хімічним показникам продукти, придатні для переробки на червоний і червоно-коричневий залізоокисний пігмент повинні відповідати ТУ 2253-14900194091-94, основними вимогами яких є вміст заліза не менше 45 %, залишок після мокрого просіювання на ситі з сіткою 0,063 мм (ГОСТ-6613) не більше 10 % - для марок ПЖ-А, ПЖ-Б, для марок ПЖ-В і ПЖ-Г – не більше 1,0 %.

Тому розглянемо особливості гранулометричного та хімічного розподілу матеріалу в піски і в злив гідроциклону за умови поділу продуктів по граничному розміру зерна 0,040 мм.

Для отримання залізоокисного пігменту використовували червоний шлам наступного хімічного складу в перерахунку на оксиди, мас. %: Fe₂O₃-39,0; Al₂O₃ - 15,5; CaO - 14,0; S - 1,5; TiO₂ -3,9; Na₂O-3,4; CO₂ - 3,5.

Пробу червоного шламу масою 35 кг (по сухому) з вологістю 35 % поділяли за класами крупності на лабораторному гідроциклоні при куті конусності 10° і 20°; діаметрах зливного штуцера 6,8,10 і 12 мм; діаметрах прохідних отворів піскових штуцерів 2, 3, 4, 5; 5,5 мм і вхідному отворі висотою 3 мм і шириною 16 мм.

Що стосується крупності, то в результаті вивчення умов гідроциклонування червоних шламів встановлено, що основні втрати класу мінус 0,020 мм пов'язані з навантаженням на циклоні і розподілом тоннажу матеріалу в продуктах класифікації.

Так, із збільшенням виходу пісків у них зростає вміст класу -0,020 мм, а в зливі вміст цього класу відповідно різко знижується.

Враховуючи, що саме дрібні фракції можна використовувати для отримання продукту, придатного для переробки на залізоокисний пігмент, гідроциклонування червоного шламу потрібно вести при виході пісків від 15 до 20 %, при цьому вміст класу - 0,020 мм в пісках не перевищуватиме 20 - 35%, а вилучення цього ж класу в злив складатиме 85-90 %.

Продукти гідроциклонування оцінювались хімічним аналізом на основні компоненти (Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, SiO₂, S та ін.).

Аналіз хімічного складу пісків і зливу показав, що оксиди алюмінію і кремнію розподіляються по продуктах класифікації пропорційно рівномірно, тобто при гідроциклонуванні червоного шламу не відбувається поділу сполук оксидів алюмінію і кремнію.

Мінерали, що містять CaO, переходять в піски, підвищуючи вміст CaO з 13,5 % у вихідному шламі до 22,4-24,4 % в пісках.

Мінерали, що включають TiO₂, переходять в злив гідроциклону. Мінерали, що містять залізо, концентруються в зливі гідроциклону.

Зміст їх підвищується до 40-41,7 %, а вилучення їх становить 86-92 %.

Отже, в результаті гідроциклонування червоного шламу відбувається збагачення зливу сполуками заліза, титану.

Вміст сірки в пісках збільшується до 4,88 %, а в зливі зменшується до 0,88 %.

Тому з метою зниження вмісту сульфідної сірки у вихідному продукті перед прожарюванням проводилася наступна серія експериментів, яка включала дослідження процесу гідроциклонування по граничній крупності зерна 0,02 мм.

Встановлено, що в зливці циклонів (фракція мінус 0,02 мм) відбувається зменшення вмісту сірки до 0,4 %.

При цьому підвищується вміст заліза з 39 до 53 %.

Зменшення вмісту сульфідної сірки, що є сильним відновником, в дрібній фракції запобігає утворенню при прожарюванні закису заліза чорного кольору і закису-окису заліза коричневого кольору; і забезпечує червоний колір отриманого пігменту.

Крім того, поділ червоного шламу по класах крупності в гідроциклоні з відбором фракцій не більше 0,02 мм забезпечує підвищення однорідності дисперсного складу і покращує покривну здатність отриманого пігменту.

Відібрана при гідроциклонуванні фракція (0,02 мм і нижче) становила 68,7мас.% від вихідного шламу і мала наступний хімічний склад в перерахунку на оксиди, мас %: Fe_2O_3 -53,0 ; Al_2O_3 -13,5%, CaO - 7,0 ; S - 0,4; TiO_2 - 3,5 ; SiO_2 - 6,5 і є придатною для отримання пігменту.

Для одержання безпосередньо залізоокисного пігменту пробу, після поділу за класами крупності, а саме фракцію мінус 0,02 мм відфільтрували, промивали до рН промивних вод, рівного 8,5, висушували і прожарювали в барабанній печі.

Для визначення умов прожарювання були проведені термогравіметричні дослідження продукту гідроциклонування червоного шламу, результати якого наведені на рис. 3.

На кривій ДТА спостерігаються три ендоефекти при 130, 255, 795°C.

Ендоефект при 130°C пов'язаний з ефектом дегідратації; присутність води підтверджується даними ІЧ спектроскопії.

Нижня межа температурного інтервалу прокалювання забезпечується тим, що при температурі прокалювання нижче 290°C не відбувається структурних змін вихідного матеріалу, його колір і дисперсність залишаються без змін, видаляється вода; верхня межа обумовлена тим, що при температурі вище 850°C утворюються крупнокристалічні структури, які вимагають перед вживанням попереднього подрібнення, збільшується жорсткість пігменту.

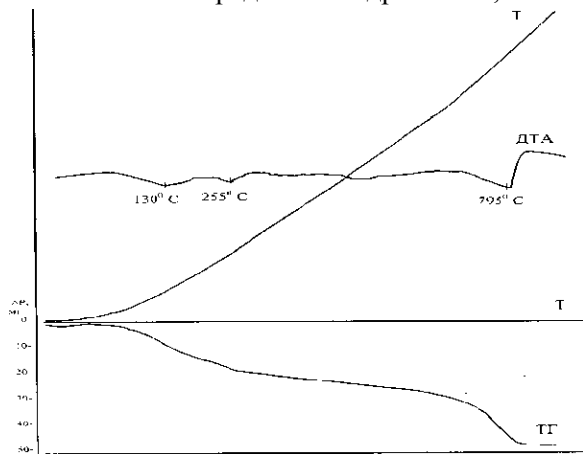


Рис. 3. Дериватограма тонкої фракції червоного шламу (після гідроциклону)

Отриманий пігмент має наступний хімічний склад в перерахунку на оксиди, мас. %: Fe_2O_3 -53,0; Al_2O_3 -13,5; CaO -7,0; S-0,4; TiO_2 -3,5; SiO_2 -6,5.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Отже, проведені дослідження показали, що червоні шлами Миколаївського глиноземного заводу можуть бути використані для виробництва залізоокисного пігменту, так як характеризуються високим вмістом оксиду заліза -

39%.

Гранулометричний аналіз червоного шламу показав, що мінерали, які містять Fe_2O_3 , концентруються в дрібних фракціях (-0,02 мм).

У результаті гідроциклонування червоних шламів по граничній крупності зерна 0,02 мм, в зливці знижена масова частка сульфідної сірки до 0,4 %, підвищено вміст заліза з 39 до 53 %.

Поділ червоного шламу по класах крупності в гідроциклоні з відбором фракцій не більше 0,02 мм забезпечує підвищення однорідності дисперсного складу і покращує покривну здатність отриманого пігменту.

Для отримання червоного і коричнево-червоного пігменту у схемі переробки передбачено промивку, сушку і прожарювання при температурах 290-850 °C.

Оскільки хімічний аналіз червоних шламів показав наявність в них рідкоземельних металів, то на наступних етапах дослідження переробки цього виду сировини необхідно розглянути можливість і економічну доцільність вилучення скандію і галію.

Список літератури

1. <http://www.aluminiumleader.com/serious/industry/>
 2. <http://ru.exrus.eu/>
 3. <http://ecogreenline.com.ua/articles/>
 4. <http://dozor.kharkov.ua/1000981/zhizn/analytics/1077057.html>
 5. Патент СССР №1615205. Способ переработки красных шламов/ **В.А.Киселев, Л.И.Леонтьев, Г.Н.Кожевников** и др., МКИ С 22 В 7/00, БИ №47, 1990.
 6. Патент США №3295961, Способ производства губчатого железа и восстановления титана и алюминия из бокситовых шламов, **Сирони Джузеппе, Коломбо Умберто**. МКИ С 21 В., 1967.
 7. Патент РФ №2086659. Способ переработки железоглиноземистого сырья. **Буркин С.П., Логинов Ю.Н., Коршунов Е.А.** и др. МКИ С 21 В 11/00, С 22 В 7/00, БИ №22 от 10.08.97.
 8. **Буркин С.П., Логинов Ю.Н., Щипанов А.А.** и др. Переработка железоглиноземистых техногенных отходов. Сталь, 1996, №6. С.77-88.
 9. **Логинов Ю.Н., Буркин С.П., Логинова И.В.** и др. Восстановительная плавка красных шламов глиноземного производства. Сталь, 1998, №8. С.74-77.
 10. **Матяш В.Г., Леонтьев Л.И., Кудинов Б.З.** О восстановлении окислов железа в красных шламах. В кн. "Подготовка и комплексная переработка металлургического сырья". Труды Института металлургии, вып.22, Свердловск, 1970. С.46-49.
 11. **Шморгуненко Н.С., Корнеев В.И.** Комплексная переработка и использование красных шламов глиноземного производства. М.: Металлургия, 1982. 128с.
 12. **Пашенко А.А., Бакланов Г.М., Мясникова Е.А.** Новые цементы. Киев. Будевельник., 1978. - 220 с.
 13. **Шморгуненко Н.С., Корнеев В.И.** Комплексная переработка и использование отвальных шламов глиноземного производства. - М.: Металлургия, 1982. - 129 с.
 14. **Allaire С.** Use of red mud for the produktionof aluminum reduction cell potlining refractories. // Light Metals 1992: Proc. Techn. Sess. TMS Light Metals Conun 121 st. TMS. Annu. Met. San Diego, Calif, March 1-5. 1992. Warrendade(Calif) 1991. С. 401 -406.
- Рукопис подано до редакції 22.03.14

УДК 622.33.002.68: 666.70

С.В. СЕМИРЯГИН, канд.техн.наук.

Донбасский государственный технический университет

Б.Н. ПИЛИПЕНКО, рук. группы, ООО «МАЙНИНГ ИНЖИНИРИНГ ЦЕНТР»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ УГЛЕДОБЫЧИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОГНЕУПОРОВ

Рассмотрены предпосылки использования отходов угледобычи и углеобогащения в качестве сырья для производства огнеупорных составов. На примере породного отвала, образованного после обогащения угля антрацитовой группы, показана возможность проведения агломерации без введения дополнительного топлива. Предложена технологическая схема производства шамотных огнеупоров из зольной части породных отвалов и терриконов.

Ключевые слова: агломерация, породный отвал, террикон, огнеупорные составы.

Из недр Украины ежегодно извлекается свыше 1,5 млрд т горной массы, из которой, после извлечения полезных компонентов, 60-70 % переводится в породные отвалы. Для размещения отвалов отводится ежегодно до 1,5-2,0 тыс. га сельскохозяйственных земель. В Украине в отвалах складировано более 20 млрд т горнопромышленных отходов, занимающих более 500 тыс. га земли.

Особенно остро стоит проблема утилизации техногенного сырья в индустриально развитом Донбассе, в структуре хозяйственного комплекса которого угольная промышленность является одной из ведущих отраслей. Специфика подземной добычи угля в Донбассе состоит в том, что на каждые 1000 т добытого угля приходится до 800 т пустой породы.

На территории Донбасса расположено свыше 1200 отвалов шахт (терриконов), площадь которых составляет 5 тыс. га, а с учетом санитарно-защитной зоны около 30 тыс. га. При этом ежегодный объем горной массы, выдаваемой в отвалы, составляет около 30 млн м³, а их общий объем в регионе превышает 2 млрд м³, что, безусловно, создает существенную экологическую напряженность [1].

Таким образом, проблема переработки породных отвалов обогатительных фабрик (ОФ) и терриконов угольных шахт является актуальной.

Также это связано с тем, что в настоящее время не существует комплексной технологии переработки отходов угледобычи, обладающей высокой полнотой извлечения из них вторичного сырья. Терриконы и породные отвалы ОФ рассматриваются, в основном, как источник извлечения РЗМ и драгоценных металлов [2].

Крупнотоннажная переработка осуществляется только в случае дорожного строительства или производства строительных материалов [3].

Стоит отметить, что такая переработка возможна лишь в случае перегоревшего террикона, а породные отвалы ОФ зачастую не подвергаются утилизации ввиду повышенного содержания влаги и относительно большого содержания углерода (до 15%). Решением данной проблемы может стать активно совершенствующаяся агломерационная технология, позволяющая вовлекать в переработку отвалы ОФ, несмотря на повышенное содержание влаги и большое содержание углерода [4].

В последнее время терриконы угольных шахт, добывающих угли антрацитовой группы, подвергаются переработке на обогатительных комплексах, позволяющих извлекать угольный концентрат с зольностью A^d до 15%.

В Луганской области действует около 20-ти, а в Донецкой - около 10-ти подобных комплексов с часовой производительностью по исходной горной массе от 50 до 100 т. После такого обогащения формируется породный отвал с повышенным содержанием золы (до 93%), кроме этого, в нем увеличивается содержание оксидов железа ввиду использования магнетитового железорудного концентрата (ЖРК) в качестве утяжелителя [5].

Физико-химические свойства, минералогический состав, минералого-петрографическая характеристика отвальных пород довольно хорошо изучены и описаны в работах [6,7].

Изучение породных антрацитовых отвалов и терриконов показало, что их зольная часть представлена в основном SiO_2 (до 70%)*, Al_2O_3 (до 30%)* и Fe_2O_3 (до 25%)*.

* приведенное значение – максимально встречающееся.

Содержание основных оксидов, щелочей и прочих элементов не превышает 5%. Эти оксиды не находятся в свободном или чистом виде, в золе они, как правило, представлены комплексными минералами: аргиллит, углистый аргиллит, алевролит, песчаник, карбонаты и т.д.

В металлургической промышленности ограниченно применяются отходы угледобычи и углеобогащения. Это объясняется достаточной сырьевой базой и большими затратами на передел сырых материалов. Однако с уверенностью можно говорить о том, что основными направлениями использования пустой породы в металлургии могут быть технологии приготовления шлакового смеси и огнеупорных составов.

В работе [8] также показана возможность извлечения железа из подобных материалов, однако развитие данного направления требует, прежде всего, экономического обоснования.

Согласно данным работы [9] запасы высококачественного огнеупорного сырья на наиболее крупных месторождениях Украины (Часовярское и Новоселицкое) почти истощены, снижается сортность добываемого сырья, усложняются горно-геологические условия, увеличивается глубина карьеров, и, как следствие, растет себестоимость добычи.

Таким образом, одним из перспективных направлений в сфере переработки породных отвалов для металлургии является использование этих пород в качестве сырья для производства огнеупорных материалов.

Огнеупоры - это фактически строительный материал, обладающий особыми свойствами (огнеупорностью). Поэтому производство огнеупоров можно осуществлять опираясь на опыт изготовления строительных и минеральных материалов.

Одним из основных условий получения огнеупорных свойств является обжиг. Наиболее важным преимуществом породных отвалов и терриконов является их теплотворная способность. Ряд исследований показывают, что теплотворная способность превышает 800 ккал/кг [10]. Этот показатель соответствует низкосортному топливу.

Лабораторные исследования по агломерации неоккомкованой (в отличие от производства аглопорита) пустой породы ОФ «Володарская» были проведены на базе лаборатории кафедры металлургии черных металлов Донбасского государственного технического университета (г.Алчевск). Агломерации подвергалась пустая порода, состав которой приведен в табл. 1.

Таблица 1

Состав компонентов (%) пустой породы ОФ «Володарская»

A ^d	W	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	CaO	TiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅
85,56	3,81	0,33	57,93	22,26	9,23	3,43	1,99	1,29	0,79	0,83	0,30	0,21

Также в результате проведенных исследований оценивалось взаимное влияние компонентов пустой породы на их содержание в ней. В качестве исходных были использованы данные по составу пустой породы различных шахт и обогатительных фабрик.

В результате данных исследований не обнаружено взаимное влияние компонентов пустой породы (корреляционная матрица это подтверждает) на их содержание в ней, что говорит о разнообразии минералов, которыми представлена пустая порода.

Перед агломерацией пустая порода дробилась до рациональной с точки зрения агломерационного процесса класса крупности 5-3 мм, увлажнялась до влажности 7% и подвергалась агломерации в чаше высотой 300 мм при вакууме 800 мм. вод. ст.

Общий вид спекательной чаши во время агломерации и полученной агломерированной пустой породы показаны на рис. 1.

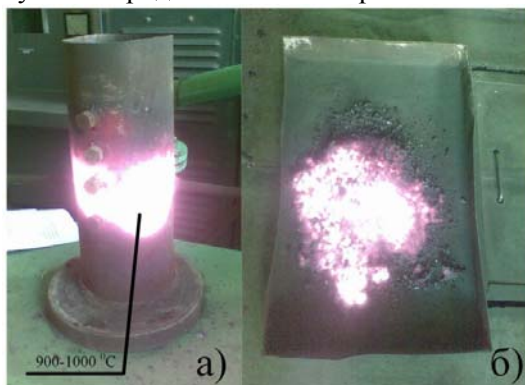


Рис. 1. Общий вид спекательной чаши во время агломерации *a* и полученной агломерированной пустой породы *б*

Измерение температуры на поверхности спекательной чаши в процессе агломерации показало, что она колебалась в пределах 900-1000 °С, что свидетельствует о большом температурном потенциале процесса спекания пустой породы.

Стоит отметить, что при спекании металлургической агломерационной шихты температура поверхности чаши редко превышает 300-400 °С.

Химический состав агломерированной пустой

породы приведен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав агломерированной пустой породы

A ^d	W	Fe _{общ}	S	SiO ₂	FeO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MgO	MnO	P
100,00	0,00	4,77	0,48	48,70	21,70	7,06	4,77	0,89	0,81	0,52	0,09	0,084

Полученный продукт спекания имел ошлакованную и оплавленную структуру, что говорит о высоком топливном потенциале шихты, позволяющем реализовывать жидкофазные процессы.

Исследование агломерированной пустой породы показало, что в результате избытка восстановителя (C) в процессе агломерации происходит восстановление гематита до магнетита и вюститита, что позволяет в последующем легко отделить их методом магнитной сепарации.

Избыточное количество тепла дает, также, возможность введения в состав шихты дополнительных компонентов, которые позволят изменить огнеупорность спекаемого материала в заданных пределах.

Предлагаемая технологическая схема производства огнеупорных материалов может выглядеть следующим образом: Грохочение (по кл.кл. -40 +0 мм) → Дробление (по кл.кр. -3 мм) → Формирование и усреднение спекаемой шихты → Обжиг агломерационным способом → Дробление (по кл.кр. -3 +1 мм) → Магнитная сепарация → Измельчение (помол) (до кл.кр. - 0,075 мм).

Полученный молотый порошок имеет огнеупорность, соответствующую классификации шамотных составов. Шихтовый состав, подаваемый на агломерацию, может корректироваться подачей глиноземистых материалов. Подобная технология реализуется при производстве аглопорита без последующего применения в огнеупорном производстве.

В качестве выводов можно отметить следующее:

сформировавшиеся запасы терриконов и породных отвалов в Украине можно рассматривать как подготовленные источники для повторной переработки;

наличие в отходах угледобычи и углеобогащения несвязанного углерода и большого количества оксидов кремния и алюминия в зольной части дает возможность рассматривать эти материалы в качестве сырьевых материалов для производства огнеупорных составов;

проведенные исследования подтверждают возможность корректировки химического состава спекаемой шихты сырыми материалами за счет избыточного тепла, а также проведение процессов, связанных со шлаковой фазой (растворение, спекание).

Список литературы

1. **Коваленко Л.И.** Перспективы использования горелых пород шахтных отвалов / **Л.И. Коваленко** // Проблемы экологии. – 2009. – № 1-2. – С. 16–19.
2. **Горовой А.Ф.** Отходы добычи и переработки углей – источник загрязнения окружающей среды и минерального сырья / **А.Ф. Горовой** // Геология угольных месторождений. – 2002. – №3 – С. 285-290.
3. **Туманова Е.С.** Техногенные ресурсы минерального строительного сырья / **Е.С. Туманова, А.Н. Цибизов, Н.Т. Блоха.** – М.: Недра, 1991. – 208 С.
4. **Папуна Н.В.** Переработка терриконов методом агломерации / **Н.В. Папуна, В.В. Кочура** // Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів. Збірка доповідей VII міжнародної наукової конференції аспірантів і студентів. Т.1. – 2008. – Донецьк, ДонНТУ, ДонНУ. – С. 97–98.
5. **Смирнов В.О.** Проектування збагачувальних фабрик [видання друге] / **В.О. Смирнов, В.С. Білецький.** – Донецьк : Східний видавничий дім, 2008. – 269 с.
6. **Куковский К.Г.** Особенности строения и физико-химические свойства глинистых минералов / **К.Г. Куковский.** – К. : Наукова думка, 1966. – 130 с.
7. Исследование состава и способов промышленного применения отходов углеобогащения шахтных пород [отчет]. – Луганск : УкрНИИУглеобогащение. – 1970.
8. **А.Г. Мнухин** Комплексная переработка породных отвалов шахт Донецкого региона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/fgtu>.
9. Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/3268-17/page>.
10. Исследование теплофизических свойств отходов углеобогащения обогатительных фабрик Донбасса [отчет]. – М. : Всесоюзный заочный институт пищевой промышленности. – 1969.

Рукопись поступила в редакцию 22.03.14

УДК 622.23

И.П. КУШНЕРЕВ, Ю.Ю. КРИВЕНКО, кандидаты техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРОЙМАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ

Выполнен анализ горнотехнических условий залегания и опыта отработки месторождений строительных материалов. Установлено, что при дальнейшем использовании выработанного пространства в хозяйственных целях, конструктивные элементы горных выработок должны быть рассчитаны на длительную устойчивость, особенно для месторождений пильных известняков, характеризующихся рядом специфических особенностей: слоистой текстурой и наличием ослабленных межслоевых контактов, трещиноватостью. Выполнен выбор методики расчета конструктивных параметров системы разработки с определением размеров опорных междукамерных целиков и камер, обеспечивающих безопасное ведение горных работ, а также возможность вторичного использования выработанного пространства. Установлены технологические режимы эксплуатации технологического оборудования, обеспечивающего высокий уровень механизации процесса и технико-экономические показатели отработки залежей строительных материалов.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В промышленных регионах практически вся земная поверхность распределена по функциональному назначению, поэтому решение задачи введения новых производственных мощностей, строительство складов или подготовка территорий для нового целевого назначения требует значительных материальных и трудовых затрат, величина которых негативно отражается на экономической деятельности предприятий [7].

Одним из решений существующей проблемы является размещение производственных и складских сооружений в подземных полостях, образованных в результате добычи полезных ископаемых, в частности, при добыче пильных известняков. Как показывает практика подземной разработки строительных материалов, выработанное пространство, образованное в результате добычи пильных известняков, характеризуется значительной протяженностью, достаточно

высокой устойчивостью образованных обнажений и целиков в течение значительного периода времени.

Особенно ценным является то, что параметры выработанного пространства позволяют широко использовать самоходный транспорт, а также различные средства механизации, повышающие эффективность использования подземных сооружений.

Залежи пильных известняков характеризуются различными горнотехническими параметрами, которые необходимо учитывать при выборе системы разработки, предусматривающей не только выемку полезного ископаемого при минимальных потерях, но и возможность вторичного использования образованных пустот, эксплуатация которых должна быть максимально безопасной и эффективной [2,3,8,9].

Анализ исследований и публикаций. Обобщение опыта разработки пильного известняка показывает, что он преимущественно залегает пластами мощностью от 4-20 м, прочность на сжатие этого естественного строительного материала составляет 1-7 МПа (10-70 кг/см²), на растяжение - в 5-7 раз меньше [11]. Поэтому при разработке пильного известняка по камерной системе приходится оставлять опорные целики размером в плане 10×10 и даже 20×10 м [1]. Это приводит к большим потерям, которые превышают половину промышленных запасов.

Горные выработки пильных известняков благоприятны для вторичного использования. При вскрытии штольнями или слабонаклонными стволами они имеют небольшие уклоны, что позволяет осуществлять заезд в выработки с поверхности автотранспорта. Выработки имеют прямоугольное поперечное сечение, поверхности их, образованные камнерезными машинами, ровные. Глубина заложения выработки от 20 до 120 м, ширина выработок 5-7,6 м ; высота 2,4-12 м [4]. Горные выработки в своем большинстве обладают достаточной долговременной устойчивостью. Только отдельные их участки закреплены штанговой крепью. При вторичном использовании выработок возведение дорогостоящей несущей крепи не требуется. Температура воздуха в выработках в среднем 12-14°С и колеблется в течение года незначительно. Относительная влажность воздуха высокая и достигает в непроветриваемых выработках 95%. Выработки сухие, водопритоки в них отсутствуют. В рудничной атмосфере отсутствуют вредные, взрывчатые и горючие газы и пыль.

Выработанное пространство может быть использовано для размещения крупных механизированных складов и объектов промышленного назначения, за исключением выработок высотой 2,4 м, которые могут быть использованные для складов негабаритных материалов в тарной упаковке, складов химикатов, а также для других объектов, не требующих большей высоты.

В горных выработках следует размещать объекты производственного назначения, не имеющие крупного оборудования и энергетических установок, а также без горячих технологических процессов и с минимальным количеством источников выделения производственных вредностей. Целесообразно размещать производства высокой точности, требующие стабильных показателей температуры и влажности воздуха.

При использовании выработанного пространства в народнохозяйственных целях конструктивные элементы горных выработок (пролет камер и размеры целиков) должны быть рассчитаны на достаточную устойчивость. Это особенно важно для месторождений пильных известняков, характеризующихся рядом специфических особенностей: слоистой текстурой и наличием ослабленных межслоевых контактов, трещиноватостью.

Изложение материала и результаты. Расчет конструктивных параметров системы разработки включает определение размеров опорных междуканнерных целиков и расчета камер, обеспечивающих безопасное ведение горных работ.

В настоящее время у проектировщиков и эксплуатационников нашли широкое применение апробированные методы расчета целиков, основанные на уравнениях Турнера-Шевякова. И камер, базирующихся на теории предельных пролетов В. Слесарева. С учетом фактора времени расчетные уравнения для определения размеров целиков имеют вид [4,5,6]

$$\frac{K_n y H (\tau + a) \cdot (\tau + b)}{a \cdot b} + \gamma_1 h \leq \frac{R_c K_\phi}{n_t} \cdot 10^5 \text{ - столбчатых} \quad (1)$$

$$\frac{K_n y H (\tau + a)}{a} + \gamma_1 h \leq \frac{R_c K_\phi}{n_t} \cdot 10^5 \text{ - ленточных} \quad (2)$$

где K_n - коэффициент разгрузки, ($K_n \leq 1$); γ - средняя плотность налегающей толщи пород, кг/м³; γ_1 - плотность породы, слагающей целик, кг; H - глубина разработки, м; τ - пролет камеры, м; a, b, h - ширина, длина и высота целика, м; R_c - предел прочности на сжатие стандартных образцов, взятых при естественной влажности массива, МПа; K_ϕ - коэффициент формы; ($K_\phi \leq 4$); $K_\phi = (a/h)^2$; $a/h < 1$; $a/h \geq 1 \rightarrow 2 = 0,75$; n - коэффициент запаса прочности [10]

Устойчивый пролет камеры может быть определен по формуле

$$l = 1,41 \sqrt{\frac{R_u \cdot h_n}{\gamma_{np} \cdot n_t}} \cdot 10^5, \quad (3)$$

где R_u - прочность породы при изгибе, определяемая усреднением прочностных показателей отдельных слоев непосредственной кровли при естественной влажности массива, МПа; h_n - мощность потолочины, м; γ_{np} - приведенная плотность пород потолочины, кг/м³.

Формула (3) правомерна в том случае, когда все вышележащие слои пород не оказывают давления на потолочину. В противном случае пролет камеры следует вычислять по формуле

$$l = 1,41 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_u \cdot h_{n_i}^2}{(\sum_{i=1}^n h_i) \cdot n_t}} \cdot 10^5. \quad (4)$$

Опыт эксплуатации шахт пильного камня показывает, что коэффициент запаса прочности целиков и пролетов камер для обеспечения длительной устойчивости выработанных пространств следует принимать в соответствии со сроком службы горных выработок при дальнейшем их использовании [2,3,4].

Как показывает анализ, существует предельная глубина горных работ, при достижении которой практически не может быть обеспечена устойчивость горных выработок. При прочности разрабатываемых пород 1,5 МПа предельная глубина находится в пределах 60-80 м, а при прочности 5,0-7,5 МПа - 120-150 м.

При определении параметров и проектировании конструктивных элементов выработок различного назначения необходимо учитывать возможность применения экономически обоснованных типов крепей, обеспечивающих устойчивость выработок для период их дальнейшей эксплуатации.

При добыче пильных известняков получило применение железобетонное анкерное крепление, обладающее высокой несущей способностью в начальный период и повышением ее с течением времени, хорошим восприятием сдвигающих и растягивающих нагрузок, высокой надежностью, возможностью установки в призабойном пространстве над камнерезной машиной и использования при многослойной отработке месторождения, простой в изготовлении. Оно позволяет увеличить площадь поперечного сечения горных выработок на 18-25 %, снизить аэродинамические сопротивление и сократить расход крепежных материалов.

В практике горных работ на известняковых шахтах анкерная крепь используется для сшивки некоторых пачке тонких слоев и для подвешивания непосредственной кровли, представленной одним или несколькими слоями слабых пород, к более прочному слою породы, залегающему в кровле, и способному выдержать дополнительную нагрузку.

Анкерное крепление может применяться в сочетании с металлической сеткой и торкрет – бетоном, с набрызгбетоном, а также с традиционными поддерживающими крепями. В этом случае облегчается и удерживается конструкция основной крепи.

При добыче пильного камня пиление массива осуществляется с инвентарного рельсового пути, проложенного по почве забоя. Это упрощает задачу получения качественной продукции, но усложняет решение вопросов механизации вспомогательных процессов, так как рельсовый путь мешает маневрированию в забое дополнительных механизмов.

На выбор крепи влияет и использование типов добычного механизированного камнерезного оборудования, на которых в качестве рабочего органа наибольшее применение нашли дисковые пилы и цепные бары. На вспомогательных механизмах в качестве рабочего органа используются цилиндрические, торцовые и другие фрезы, штрипсовые пилы, алмазные и абразивные круги.

Дисковые пилы - наиболее распространенный рабочий орган камнерезных машин. Они выполняются в виде стального диска с расположенными по окружности резцами. Достоинства дисковых пил - простота конструкции, небольшая стоимость, высокая износостойкость, про-

стога ремонта и обслуживания, небольшая масса. Недостатком дисковых пил является небольшой коэффициент использования диаметра в пропилах (0,35-0,4) и сравнительно высокий расход дефицитных твердых сплавов (на 1 м³ пильного камня расходуется 13-15 г твердого сплава (ВК; ТК).

Бары, используемые в качестве рабочего органа, выполняются в виде плоских балок, несущих на своих рабочих кромках резцы. Наибольшее применение нашли ценные бары с бесконечной цепью, оснащенной режущими зубками и перемещающейся по контуру рамы бара. Известны также вибробары, качающиеся и фризковые бары. Достоинствами баров являются высокий коэффициент использования их длины в пропилах (0,8-0,9), небольшая ширина бара (15-25% длины бара), удобство создания компактной режущей головки, обеспечивающей резание в трех взаимно перпендикулярных плоскостях без повреждения боковых стенок, почвы и кровли при проходке траншей и выработок. Недостатком баров является сложное строение с большим числом мелких деталей и пар трения, что вызывает трудность создания надежной конструкции.

Исследованиями установлено, что на производительность камнерезной машины больше влияния оказывают режимные параметры пиления, зависящие от физико-технических свойств пильного камня, длины фронта работ, высоты уступа, конструктивных особенностей машины (мощности привода, типа и размеров режущего инструмента).

В результате аналитических исследований установлена формула для определения сменной эксплуатационной производительности камнерезной машины, м³/смену

$$Q_{с.э} = Q_T \cdot k_{и.в} \cdot t_c \cdot k_n \cdot k_{ц},$$

где Q_T - техническая производительность камнерезной машины, учитывающая затраты времени на подготовительно-заключительные операции, м³/ч; $k_{и.в}$ - коэффициент использования машины во времени; t_c - продолжительность работы машины в смену, ч; K_n - коэффициент, учитывающий прочность пильного камня ($K_n=1$ при $R_c = 3,5/5$ МПа; $K_n=0,8$ при $R_c > 5$ МПа); $K_{ц}$ - коэффициент, учитывающий полноту рабочих циклов ($K_{ц}=1$ при полных циклах; $K_{ц}=0,9$ при неполных циклах).

Техническая производительность камнерезной машины определяется по формуле

$$Q_T = \frac{B_3 \cdot h_3 \cdot h_n}{\left(\frac{a_1}{V_2} + \frac{a_2}{V_6} + \frac{a_3}{V_m} \right) + t_{п.з}},$$

где V_2, V_6, V_T - скорости подачи камнерезной машины на горизонтальном, вертикальном и тыльном пропилах; м/мин; B_3 - ширина забоя, м; L_m - длина фронта работ машины, м; h_3 - высота забоя, м; h_n - глубина пропила; м; a_1, a_2, a_3 - постоянные величины, учитывающие конструктивные и режимные параметры камнерезной машины; $t_{п.з}$ - продолжительность подготовительно-заключительных операций; мин

Камнерезные машины, применяемые на шахтах, имеют относительно небольшую производительность, что объясняется большим количеством забоев и, следовательно, значительной разбросанностью горных работ. Кроме этого, размеры добычного забоя невелики. Все это приводит к тому, что уровень механизации основных и вспомогательных процессов на известняковых шахтах не превышает 50%.

Выпиленная в забое продукция в виде стенового камня или блоков проходит определенный цикл погрузочно-разгрузочных операций: забой-товарный склад-строительная площадка.

При организации транспортных работ в забоях и на главных откаточных штреках в известняковых шахтах применяются следующие виды транспорта:

однотипный, с одинаковыми эксплуатационными параметрами, при котором отсутствуют затяжные уклоны и панельные перегрузочные пункты, а автомобильный транспорт применяется единой грузоподъемности;

однотипный, с различными эксплуатационными параметрами, при котором отсутствуют затяжные уклоны, на панельном штреке организуется промежуточный погрузочный пункт и может использоваться автомобильный транспорт различной грузоподъемности;

разнотипный, с организацией промежуточного погрузочного пункта и применением электровозного транспорта в сочетании с автомобилями, тракторными поездами и др.;

однотипный, без организации промежуточных погрузочных пунктов и сниженными уклонами при применении электровозного транспорта.

Выводы. При подземной разработке строительных материалов образуются подземные пустоты значительных объемов.

Эти пустоты могут быть использованы для различного назначения в течение длительного периода времени.

Этим снижается себестоимость добычи исходного продукта и возможность получения прибыли от вторичного использования пустот.

Вместе с тем, при проектировании технологии отработки месторождения должен учитываться тот факт, что после выемки полезного ископаемого эти пустоты будут использоваться в течение длительного периода времени.

Эта эксплуатация должна сочетаться с обеспечением безопасности рабочего персонала с высоким уровнем механизации основных и вспомогательных процессов.

Исходя из этого, при решении задачи вторичного использования технологических пустот необходимо решение комплексной задачи:

выбор рациональной системы отработки залежи должен осуществляться с учетом параметров обнажений и целиков, предусматривающих их устойчивость не только в течение извлечения полезного ископаемого, но и на период последующей эксплуатации образованного выработанного пространства;

выработки, по которым перемещается персонал и технологическое оборудование, должны закрепляться, при этом выбор конструкции крепи осуществляется с учетом горнотехнических условий отработки залежи и степени нарушенности горного массива;

оборудование, применяемое для извлечения полезного ископаемого, должно обеспечивать высокий уровень механизации с минимизацией негативного влияния на целостность массива и образованных обнажений.

выбор параметров системы разработки должен осуществляться в соответствии с приведенными рекомендациями и приведенной методики.

Список литературы

1. **Шевяков Л.Д.** О расчете прочных размеров и деформаций опорных целиков. – Изв. АН СССР, ОТН, 1941, №7-8. - 58 с.
2. **Кучер В.М., Кушнерев И.П., Тарасютин В.М.** Влияние временных процессов на устойчивость кровли камер и целиков. - Аналитические методы и применение ЭВМ в механике горных пород. Новосибирск, 1982. - С. 135-137.
3. **Кушнерев И.П., Кучер В.М., Тарасютин В.М.** Влияние изменения во времени свойств и состояния известняковых пород на размеры кровли камер и целиков. "Приложение результатов исследований полей напряжений к решению задач горного дела и инженерной геологии." Апатиты. Изд-во Кольского филиала АН СССР, 1985. - С.45-47.
4. **Кушнерев И.П., Кучер А.М.** Временные методические указания по учету реологических свойств известняков на устойчивость кровли камер и целиков на шахтах Криковского производственного объединения. - Кривой Рог, 1982.
5. **Кучер А.М., Кушнерев И.П.** Деформирование пород кровли очистной выработки во времени. – Изв. вузов. - Горный журнал, 1980, №9. - С.16-17.
6. **Кучер В.М., Кушнерев И.П., Разкевич Ф.С.** Изменение во времени напряженно-деформированного состояния массива известняков при камерной системе разработки. "Разработка технологии и механизации добычи полезных ископаемых применительно к условиям развивающихся стран." М.1984. - С.73-74.
7. **Кушнерев И.П., Горобец А.А.** К вопросу вторичного использования выработанного пространства. 'Совершенствование совместной открыто-подземной разработки месторождений' Кривой Рог, 1984, 200 с.
8. **Кушнерев И.П.** К вопросу оценки устойчивости массива в горных пород звукометрическим методом. Кривой Рог, 1979. - 8 с. Рук. деп. в УкрНИИТИ № 238.
9. **Кушнерев И.П.** Обоснование технологических параметрах выемки пластов с дальнейшим использование выработанных пространств. Сталій розвиток гірничо-металургійної промисловості Кривий Ріг, 2004. - Вип.1 - С.79-84.
10. **Кушнерев И.П.** Определение запаса прочности конструктивных элементов камерной системы разработки с учетом реологических свойств горных пород, 1981. - с.18 / Рук. деп. в УкрНИИТИ №2914.
11. **Кушнерев И.П.** Экспериментальное изучение ползучести слабых горных пород / **И.П. Кушнерев** // Разраб. рудн. местоожд., 1980. - Вып. 30. - С.24-28.

Рукопись поступила в редакцию 22.03.14

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, П.В. СЕРГЕЕВ, доктори техн. наук, проф.
Донецький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ СПАЛЮВАННЯ ВУГІЛЛЯ ТА ВУГЛЕМАЗУТНИХ КОМПЛЕКСІВ

Виконано лабораторні і стендові дослідження спалювання вугілля і вугільно-мазутних комплексів. Показано переваги вугільно-мазутних комплексів над вугіллям з точки зору інтенсифікації процесу спалювання. Знайдені аналітичні вирази, які характеризують динаміку вигорання паливних частинок.

Ключові слова: енергетика, вугілля, вугільно-мазутні комплекси, спалювання.

Постановка проблеми і стан її вивчення. Тенденції до вичерпання традиційних видів палива, екологічні проблеми та регіональний дефіцит паливних ресурсів обумовлюють пошук нових альтернативних палив, зокрема для ТЕС. Актуальність цієї проблеми настільки висока, що в Україні прийнято Закон «Про альтернативні види палива» (2009 р.) [1].

Одним з різновидів альтернативного палива розглядаються водо-вугільні, водо-мазутно-вугільні та мазутно-вугільні суспензії і вугле-масляні агломерати (гранули) [2-6]. Е попередніх роботах [7-9] розпочато дослідження процесу спалювання вуглемазутних комплексів (агрегатів).

Мета роботи - порівняльне дослідження спалювання вугілля і вуглемазутних комплексів і встановлення закономірностей динаміки спалювання.

Викладення основного матеріалу. Об'єктом дослідження вибрано вугілля марки Г і вуглемазутні комплекси одержані з цього вугілля. Характеристика вугілля і комплексів наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики досліджуваного палива

Характеристика палива	Вугілля		Вуглемазутні комплекси		
	0-0,1 мм	1,0-0 мм	I типу (плівкові), вугілля 0-1,0 мм	II типу (мазутонаповнені) з вугілля	
				0-0,1 мм	0-1,0 мм
Q_m , %	-	-	5	20	16
d_a , мм	-	-	0,1 - 1,2	0,3 - 1,2	0,5 - 2,0
W_t^c , %	4,3	4,5	6,9	4,81	4,95
A_k^d , %	12,8	12,8	6,1	3,9	6,2
S_t^d , %	0,52	0,36	0,24	0,40	0,25
γ^{daf}	41,0	41,0	42,4	54,2	47,4
C, %	77,5	77,5	78,5	81,0	80,2
H, %	5,2	5,2	5,5	7,0	6,2
Q_x^c , ккал/кг	7497	7652	7720	8420	8089

Примітка: параметр S_t^d визначено на аналізаторі LECO-132, чутливість приладу 0,0001% S

Характеристики зв'язуючого мазуту М100: $Q_n=9500$ ккал/кг, $S_t^d = 0,5\%$; $W_{tk}^c = 2,0\%$. Всього було досліджено 150 частинок палива (вугілля та вугле-мазутних комплексів) в діапазоні температур 710-810 °С.

Методика дослідження горючих властивостей вуглемасляних агрегатів розроблена В. Білецьким спільно з фахівцями УралВТИ (зокрема, А. Хідіятовим) на базі аналогічної методики для вугілля [10] і враховує специфічні властивості агрегатів. Вона полягає з одночасній фотота кінореєстрації процесу вигорання частинки палива [8-9].

Для забезпечення необхідного температурного режиму використана експериментальна установка зібрана на основі електропечі СУСЛ-0,25-1/12-М1 (рис. 1). Кіно та фотоапарати як правило обладнуються оптичними приставками й кільцями для збільшення зображення частинок в полі кадру в 3-10 разів. Зонд 8 обладнується пластинчатим списоподібним тримачем зі слюди, товщиною 0,05-0,15 мм, довжиною 40 мм. Досліджувана частинка закріплюється на кінці тримача тонкою плівкою каоліну в слабкому водному розчині рідкого скла. Потім ка-

оліновий клей висушується при кімнатній температурі. Введення зонду з частинкою палива в камеру здійснюється з допомогою пневмоподачі або вручну.

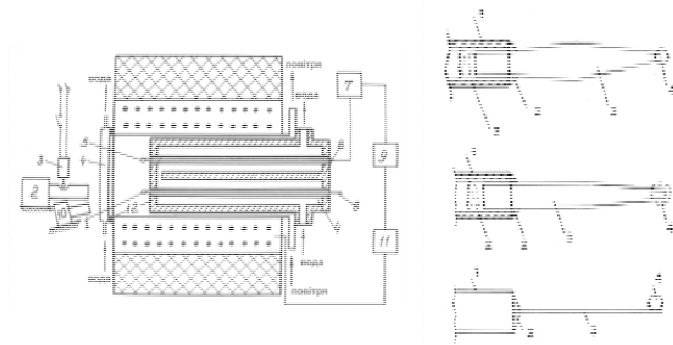


Рис. 1. Експериментальна лабораторна установка спалювання палива: А: 1 - досліджуване зерно; 2 - кінокамера; 3 - іскровий відмітчик; 4 - тепловий екран; 5 - термопара; 6 - електроніч; 7 - вторинний прилад; 8 - зонди; 9 - блок керування; 10 - фотокамера; 11 - блок живлення; Б: 1 - зонд; 2 - каолін; 3 - списоподібні слюдяні тримачі; 4 - досліджувана паливна частинка

мент вводу фіксується на плівці іскровим відмітчиком. Після спалаху іскрового відмітчика відкривається затвор фотоапарата, вставлений на витримку „В“. Характер протікаючих процесів оцінюється по кіно- та фотоматеріалам. Продукти згорання видаляються з камери продувкою повітрям. Середній еквівалентний діаметр досліджуваних зерен визначається з допомогою мікроскопів. Розроблена методика дозволяє отримувати якісну і кількісну оцінку процесу вигорання окремих вугільнозв'язуючих агрегатів.

По фото- й кіноплівках визначається відсоток „вибухаючих“ паливних зерен і характер цього процесу, по кіноплівках - тривалість окремих стадій горіння.

Фрагменти кінограм та фото вигорання вуглемазутних гранул, одержані за описаною методикою, подані на рис. 2.

Аналіз результатів дослідження свідчить, що процес горіння вуглемазляних гранул та зерен вугілля характеризується чітко вираженою стадійністю.

Прослідковуються чотири характерні стадії горіння: 1 - прогрів частинки до займання легких компонентів (тривалість $\tau_{зл}$); 2 - вогневого горіння легких речовин $\tau_{гл}$; 3 - індукції коксового залишку частинки $\tau_{лк}$; 4 - горіння коксового залишку $\tau_{тк}$.

При цьому сумарний час запалювання коксового залишку визначається за формулою

$$\tau_{зк} = \tau_{зл} + \tau_{гл} + \tau_{лк}, \quad (1)$$

а повний час вигорання частинки

$$\tau_{\Sigma} = \tau_{зк} + \tau_{тк}. \quad (2)$$

Горіння легких речовин гранул (рис. 2), особливо з вугілля <0,1 мм, має вибуховий характер і супроводжується виносом за межі частинок струменів газу й рідких компонентів, а в окремих випадках і частковим розривом („вибухом“) вугільно-мазутних комплексів, тенденція до якого зростає зі збільшенням температури в реакційній камері.

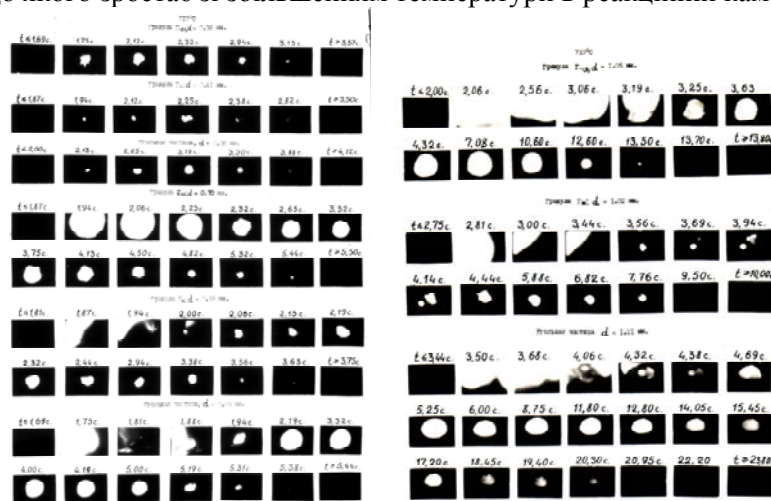


Рис. 2. Кінограми вигорання вуглемазутних гранул та зерен вугілля при 710°C і 810°C

Явище розриву гранул при їх спалюванні помічено також К.Е. Кейпсом [11].

Стадії горіння легких та коксового залишку для гранул $d_a < 1$ мм, як правило, суміщуються, а їх розрив та деформація протікає також під час вигорання коксу.

Механізм термодеструкції гранул, очевидно, викликаний їх полікомпонентністю і певною мірою схожий з механізмом термодеструкції крапель емульсії „вода-мазут“.

Якщо при 710 °C доля

гранул вигоряючих з ефектом часткового або повного руйнування складала 7,5 %, то при 810 °С вона підвищилась до 15,6 %. Отже, при спалюванні гранул в факелі топки ($t_c=1200-1500^\circ\text{C}$) слід очікувати їх інтенсивного термодрібнення, що покращує процес сумішеутворення і підвищує швидкість вигорання вугільної компоненти гранул.

Використовуючи виявлений ефект термодрібнення гранульованого палива можливе створення нових технічних рішень для інтенсифікації процесу його спалювання.

На відміну від вугільно-мазутних комплексів горіння частинок вугілля при 810°C не супроводжується яскраво вираженим виносом смолистих речовин.

При $d_3 > 0,5$ мм для вугільних зерен існує стадія індукції коксика.

Порівняльна кількісна оцінка тривалостей стадій вигорання вугільно-мазутних комплексів та зерен вугілля показує, що запалювання і горіння вуглемазутних комплексів протікає значно швидше.

Тривалість стадій $\tau_{зл}$, $\tau_{лк}$, $\tau_{зк}$ для цих комплексів менша ніж для зерен вугілля.

Результати обробки експериментальних даних відображені в кривих $\tau_{зк}(d)$ та $\tau_{\Sigma}(d)$ (рис. 3-5).

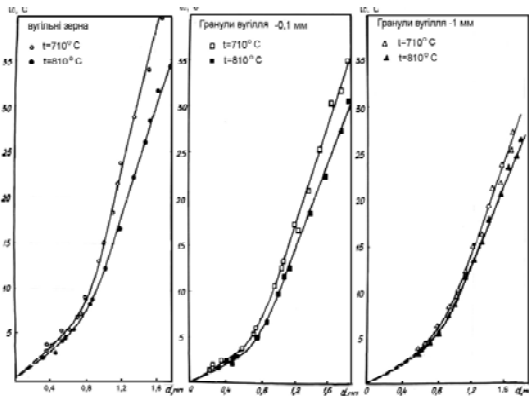


Рис. 3. Експериментальні залежності $\tau_2(d)$

Слід відзначити нестабільність параметра $\tau_{зк}$ для вугільно-мазутних комплексів з вугілля крупністю 0-1,0 мм (рис. 5), що, очевидно, викликано нестабільністю їх складу внаслідок близькості розмірів вугільно-мазутних комплексів та зерен комплексоутворюючого вугілля.

Для вугільно-мазутних комплексів з вугілля 0-0,1 мм зв'язок $\tau_{зк}(d)$ близький до функціонального (рис. 4), що зумовлено $d_a \gg d_3$ і, як наслідок, суттєво більшою гомогенністю спалюваної речовини.

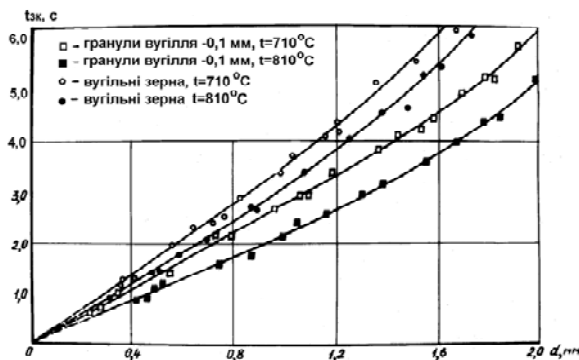


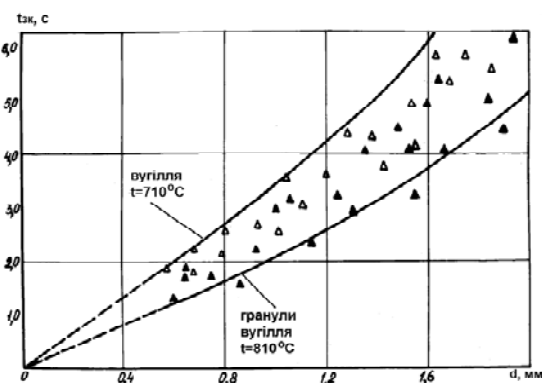
Рис. 4. Експериментальні залежності $\tau_{зк}(d)$

В цілому час займання коксового залишку $\tau_{зк}$ вугільно-мазутних комплексів з вугілля 0 - 0,1 мм у 1,35-1,4 рази менший ніж для частинок вугілля еквівалентного розміру.

Час повного вигорання вугільно-мазутних комплексів τ_{Σ} на 15-25 % менше ніж частинок вугілля (рис. 3).

При цьому величина скорочення сумарного часу вигорання вугільно-мазутних комплексів по відношенню до вугільних зерен визначається їх крупністю, що, очевидно, пояснюється зміною закономірностей горіння частинок залежно від їх розміру.

Рис. 5. Кореляційне поле $\tau_{зк}(d)$ для гранул з вугілля 0-1,0 мм



Криві $\tau_{\Sigma}(d)$, $\tau_{зк}(d)$ та $\tau_{зк}(d)$, (див. на рис. 3-5), апроксимуються поліномом другого ступеню виду

$$t_{зк} = t_0 + a \cdot d + b \cdot d^2 \quad (3)$$

Як видно з фотографій факелів (рис. 7), одержаних при температурі вогневих потоків 1250-1300 °С та їх швидкості 15 м/с найбільш активно займаються вугільно-мазутні комплекси I структурного типу.

Факел комплексів II типу нестійкий, пульсує.

При тих же умовах аеросуміш вугільного пилу займається слабо.

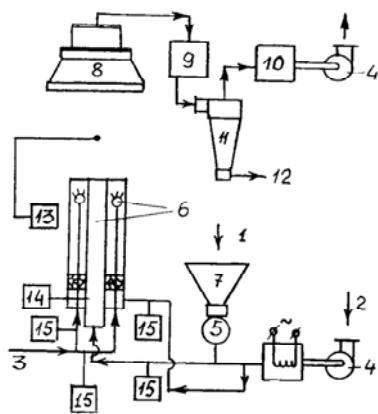


Рис. 6. Вогневий стенд: 1 - досліджуваний матеріал; 2 - повітря; 3 - природний газ; 4 - вентилятор; 5 - живильник; 6 - горілки; 7 - бункер; 8 - витяжний зонд; 9 - теплообмінник; 10 - фільтр; 11 - циклон; 12 - зола; 13 - блок вимірювального зонду; 14 - блок термопари; 15 - дифманометри

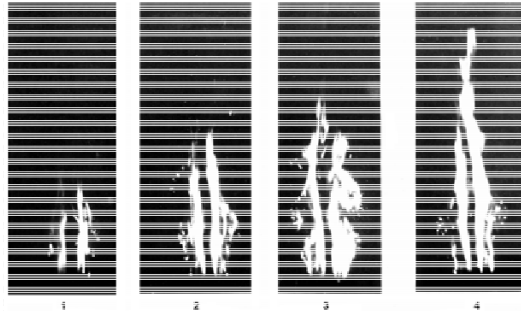


Рис. 7. Фотограми запалювання аеросуміші палив на вогневому стенді: а- вугілля 0,1-0 мм; б- вугільно-мазутні комплекси II типу з вугілля 0,1-0 мм; в- вугільно-мазутні комплекси II типу з вугілля 1,0-0 мм; г - вугільно-мазутні комплекси I типу з вугілля 1,0-0 мм

Висновки. 1. Лабораторні

дослідження спалювання вугілля та вугільно-мазутних комплексів показали, що час займання коксового залишку $\tau_{зк}$ вугільно-мазутних комплексів з вугілля 0-0,1 мм в 1,35-1,40 рази менший ніж для частинок вугілля еквівалентного розміру.

Час повного вигорання вугільно-мазутних комплексів τ_2 на 15-25 % менше ніж частинок вугілля.

Результати лабораторних досліджень узагальнені і знайдені аналітичні вирази, які характеризують динаміку вигорання паливних частинок.

2. Виконані стендові випробовування підтвердили результати лабораторних досліджень горючих властивостей вугілля та вугільно-мазутних комплексів і дозволяють рекомендувати вугільні агрегати плівкового типу як паливо в першу чергу для топок циклонного типу та топок киплячого шару з циркуляційним потоком, де тривалість перебування паливного зерна у зоні згорання визначається його масою.

3. Отже, використання вуглемазутних комплексів (вуглемазляних агрегатів-гранул та частинок висококонцентрованої мазуто-вугільної суспензії) як енергетичного палива є перспективним з точки зору інтенсифікації (у порівнянні з вугіллям) процесу спалювання. При цьому, використання паливних вугільно-мазутних гранул потребує опрацювання питань подачі палива у зону горіння та схем спалювання, які виключають сепарацію недопалу в низ топкової камери.

Список літератури

1. Про альтернативні види палива. Закон України N 1391-VI (1391-17) від 21.05.2009.
2. G. Parachristodoulou, O. Trass. Coal slurry fuel technology. // The Canadian Journal of Chemical Engineering. Volume 65, Issue 2, April 1987. pages 177-201.
3. Glenn R.D. Coal slurry applications and technology. EPRJ GS-7209, Palo Alto, C A, USA, Electric Power Research Institute, 1991.- 66 p.
4. Charcoal-Oil Mixture as an Alternative Fuel: A Preliminary Study // American Journal of Applied Sciences 6 (3). – 2009, 393-395 p.
5. Maglaya, A.B. Utilizing philippine calatrava Coal-Diesel Oil Mixture (CDOM) as alternative fuel for industrial steam generator // Fuel, 84. 2005.- P. 29-35.
6. Білецький В.С. Розробка наукових основ і способів селективної масляної агрегації вугілля та вугле-вміщуючих продуктів. - Дисертація на здобуття вченого ступеня докт. техн. наук. - Донецьк, 1994, 452 с.
7. Білецький В.С. Дослідження процесу горіння вуглемазляних агломератів // Термодеструкція вугілля. - К.: Наукова думка, 1993. - С. 73-80.
8. Белецкий В.С., Хидиятов А.М. Исследования процесса горения углемазляного гранулята// Теплоэнергетика. 1991, № 8. - С. 66-71.
9. Белецкий В.С. Методика исследования горючих свойств углемазляного гранулята// Горный журнал. Изв. ВУЗов. - 1991, № 12. - С. 8-12.
10. Иванова И.П. и др. Изучение механизма выгорания частиц Наровского угля// Горение твердого топлива. - Новосибирск: Наука, 1969. - С. 140-146.
11. Кейнс К.Е. Применение сферической агломерации в углеобогатнении// 7 Международный конгресс по обогащению углей. Сидней. 1976.

Рукопись поступила в редакцию 22.03.14

П.Г. ПЛЄШКОВ, канд. техн. наук, «Кіровоградський національний технічний університет»
В.В. ЗІНЗУРА, асистент, «Кіровоградський національний технічний університет»

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ПРИСТРОЄМ РПН СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЗІ СХЕМОЮ З'ЄДНАННЯ ОБМОТОК «ТРИКУТНИК/ЗІРКА З НУЛЕМ»

Розроблено структурну схему САУ пристроєм РПН силового трансформатора зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зірка з нулем», в основу якої покладено математичний апарат багатокритеріальної оптимізації. Застосування запропонованої САУ забезпечує одночасне зниження рівнів усталеного відхилення напруги та коефіцієнтів несиметрії напруг по зворотній та нульовій послідовностях в електричних мережах. Проведено дослідження якості роботи запропонованої САУ шляхом математичного моделювання.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Для сучасних систем електропостачання важливим є питання зниження рівнів показників якості електричної енергії (ПЯЕ), що характеризують відхилення та несиметрію напруг. Задача розробки нових методів та засобів зниження рівня цих ПЯЕ які, з одного боку, були б досить ефективними, а з іншого - не вимагали б значних капіталовкладень є досить актуальною. Одним із шляхів вирішення даної задачі є удосконалення систем автоматичного управління (САУ) пристроєм регулювання напруги під навантаженням (РПН) силових трансформаторів.

Аналіз досліджень та публікацій. Задача удосконалення САУ пристроєм РПН силового трансформатора з метою одночасного зменшення рівнів відхилення та несиметрії напруг розглядалась в [1-5]. У роботі [3] запропоновано математичну модель управління безконтактним пристроєм РПН силового трансформатора зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зірка з нулем» на основі математичного апарату багатокритеріальної оптимізації. У роботі [2] запропоновано метод розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги. Проте, для визначення ефективності даного методу розв'язку необхідно на основі запропонованої в [3] математичної моделі управління розробити структурну схему САУ пристроєм РПН та дослідити якість її роботи.

Постановка завдання. Метою даної роботи є розробка та дослідження роботи САУ пристроєм РПН силового трансформатора зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зірка з нулем», в основу роботи якої покладено математичний апарат багатокритеріальної оптимізації.

Викладення матеріалу та результати. У роботі [3] сформульовано задачу багатокритеріальної оптимізації управління безконтактним пристроєм РПН силового трансформатора зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зірка з нулем»:

$$\begin{cases} Q_1(\mathbf{K}) = |\Delta U_1(\mathbf{K})| = |U_1(\mathbf{K}) - U_{\text{ном}}| \rightarrow \min; \\ Q_2(\mathbf{K}) = U_2(\mathbf{K}) \rightarrow \min; \\ Q_3(\mathbf{K}) = U_0(\mathbf{K}) \rightarrow \min; \\ Q_4(\mathbf{K}) = |\Delta U_{A\phi}(\mathbf{K})| = |U_{A\phi}(\mathbf{K}) - U_{\phi, \text{ном}}| \rightarrow \min; \\ Q_5(\mathbf{K}) = |\Delta U_{B\phi}(\mathbf{K})| = |U_{B\phi}(\mathbf{K}) - U_{\phi, \text{ном}}| \rightarrow \min; \\ Q_6(\mathbf{K}) = |\Delta U_{C\phi}(\mathbf{K})| = |U_{C\phi}(\mathbf{K}) - U_{\phi, \text{ном}}| \rightarrow \min; \\ \mathbf{K} \in \Omega; \end{cases} \quad (1)$$

де $\mathbf{Q}(\mathbf{K}) = (Q_1(\mathbf{K}), Q_2(\mathbf{K}), Q_3(\mathbf{K}), Q_4(\mathbf{K}), Q_5(\mathbf{K}), Q_6(\mathbf{K}))$ - вектор критеріїв управління;
 $\mathbf{K} = (k_a, k_b, k_c)$ - вектор коефіцієнтів трансформації трансформатора у фазах А,В,С (вектор управління); $\Delta U_1(\mathbf{K})$ - різниця значень модуля напруги прямої послідовності та номінальної напруги (пропорційний відхиленню напруги); $U_2(\mathbf{K})$ - напруга зворотної послідовності; $U_0(\mathbf{K})$ - напруга нульової послідовності; $\Delta U_{A\phi}(\mathbf{K}), \Delta U_{B\phi}(\mathbf{K}), \Delta U_{C\phi}(\mathbf{K})$ - різниця значень модулів фазних напруг у фазах А,В,С та номінальної фазної напруги; $\Omega = \{ \mathbf{K} \in \mathbb{R}^6 \mid k_{i \min} \leq k_i \leq k_{i \max}, i = a, b, c \}$ -

область допустимих значень вектора коефіцієнтів трансформації трансформатора, яка визначається глибиною регулювання коефіцієнта трансформації (допустимий простір управління); $k_{i\min}, k_{i\max}, i = a, b, c$ - відповідно мінімальне та максимальне значення коефіцієнту трансформації трансформатора для кожної з фаз.

Значення напруг та значення коефіцієнтів трансформації в рівняння (1) підставляються у відносних одиницях, віднесених до номінальних значень.

Як показано в роботі [2], найбільш доцільним способом розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації (1) є розв'язок її шляхом наближення до утопічної точки в просторі критеріїв, який проводиться в два етапи:

1 етап. Оптимізацією окремих критеріїв визначаються координати утопічної точки $Q_{\text{ут}} = (\Delta U_{1\text{ут}}, U_{2\text{ут}}, U_{0\text{ут}}, \Delta U_{\text{Аут}}, \Delta U_{\text{Вут}}, \Delta U_{\text{Сут}})$ в просторі критеріїв $\{Q\} \subset R^6$.

2 етап. Шляхом розв'язку задачі скалярної оптимізації відстані ρ від утопічної точки до парето-оптимальної множини розв'язків в просторі критеріїв знаходяться координати розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації K^{opt} в просторі управління $\Omega \subset R^6$.

Задачу знаходження аналітичних виразів для визначення координат утопічної точки $Q_{\text{ут}} = (\Delta U_{1\text{ут}}, U_{2\text{ут}}, U_{0\text{ут}}, \Delta U_{\text{Аут}}, \Delta U_{\text{Вут}}, \Delta U_{\text{Сут}})$ детально описано в роботах [1,3].

Для знаходження кінцевого розв'язку задачі (1) зважаючи на велику кількість критеріїв, найдоцільніше скористатись методом, заснованим на мінімізації евклідової відстані до утопічної точки. Для задачі (1) даний метод знаходження кінцевого розв'язку можна записати у вигляді

$$\left\{ \begin{aligned} & \sqrt{\left(\frac{\Delta U_1(\mathbf{K}) - \Delta U_{1\text{ут}}}{\Delta U_{\text{нд}}}\right)^2 + \left(\frac{U_2(\mathbf{K}) - U_{2\text{ут}}}{U_{\text{нд}}}\right)^2 + \left(\frac{U_0(\mathbf{K}) - U_{0\text{ут}}}{U_{\text{нд}}}\right)^2} + \\ & \left\{ \left(\frac{\Delta U_a(\mathbf{K}) - \Delta U_{\text{аут}}}{\Delta U_{\text{ф.нд}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_b(\mathbf{K}) - \Delta U_{\text{бут}}}{\Delta U_{\text{ф.нд}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_c(\mathbf{K}) - \Delta U_{\text{сут}}}{\Delta U_{\text{ф.нд}}}\right)^2 \right\} \rightarrow \min; \\ & \mathbf{K} \in \Omega. \end{aligned} \right. \quad (2)$$

де $\Delta U_{\text{нд}}, U_{2\text{нд}}, U_{0\text{нд}}, \Delta U_{\text{ф.нд}}$ - нормально допустимі значення відповідних ПЯЕ згідно ГОСТ 13109-97.

Структурна схема САУ, що реалізує математичну модель управління (1) представлена на рис. 1.

На рис. 1:1 - блок розрахунку комплексів напруг $\underline{U}_{AB}, \underline{U}_{BC}, \underline{U}_{CA}$ на стороні високої напруги (ВН) по відомих діючим значенням міжфазних напруг U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} на стороні низької напруги (НН) та значенню K^{opt} на попередньому кроці розрахунку; 2,3,4,5,6 - блоки визначення $\Delta U_{1\text{ут}}, U_{2\text{ут}}, U_{0\text{ут}}, \Delta U_{\text{ф.ут}}$ відповідно; 6 - блок визначення кінцевого розв'язку задачі (1) K^{opt} згідно формул (2); 7 - блок затримки сигналу на один крок розрахунку.

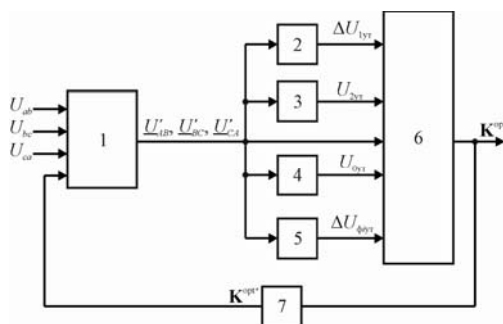


Рис. 1. Структурна схема САУ пристроєм РПН силового трансформатора

САУ, структурна схема якої зображено на рис. 1, працює так. Виміряні діючі значення U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} міжфазних напруг на стороні НН силового трансформатора разом із значенням коефіцієнтів трансформації K^{opt} , прийнятих на попередньому кроці розрахунку надходить до блоку 1, в якому відбувається розрахунок комплексів напруг $\underline{U}_{AB}, \underline{U}_{BC}, \underline{U}_{CA}$ на стороні ВН силового трансформатора. Далі значення $\underline{U}_{AB}, \underline{U}_{BC}, \underline{U}_{CA}$

надходять до блоків 2,3,4,5 у яких відбувається розрахунок $U_{1\text{ут}}, U_{2\text{ут}}, U_{0\text{ут}}$ і $U_{\text{ф.ут}}$ відповідно. Після чого дані з блоків 1,2,3,4,5 надходять до блоку 6, у якому визначається кінцевий розв'язок задачі (1) K^{opt} . Значення вектора K^{opt} з блоку 6 надходить до керуючого органу РПН, який виконує перемикання відпайок обмоток трансформатора, а також блоку затримки сигналу 7, з якого на наступному кроці розрахунку надходить до блоку 1. Розрахунок K^{opt} проводиться в дискретні моменти часу, проміжки між якими обмежуються лише часом перехідного процесу в мережі.

Для дослідження якості роботи запропонованої САУ було проведено математичне моделювання в середовищі Simulink. Узанальнена модель Simulink регулювання напруги приведена на рис. 2.

На рис. 2: "Трансформатор" - модель силового трансформатора ТМ-250/10, оснащеного безконтактним пристроєм РПН з діапазоном регулювання напруги $\pm 2 \times 2,5\%$; "Вимірювач ВН" - модель вимірювача діючих значень напруг U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} , усталеного відхилення трьохфазної напруги ΔU_1 та коефіцієнту несиметрії напруги по зворотній K_2 послідовності на стороні ВН силового трансформатора; "Вимірювач НН" - модель вимірювача діючих значень напруг U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} , усталеного відхилення трьохфазної напруги ΔU_1 - усталеного відхилення фазних напруг $\Delta U_{\phi i}$, та коефіцієнтів несиметрії напруги по зворотній K_2 та нульовій K_0 послідовностях на стороні НН силового трансформатора; "Система" - модель електричної системи; в якості вихідних даних для моделювання були взяті реальні часові діаграми діючих значень міжфазних напруг, що були виміряні протягом доби на одній із підстанцій ПАТ «Кіровоградобленерго» з допомогою сертифікованого аналізатора мережі FLUKE 1744 Metobox;

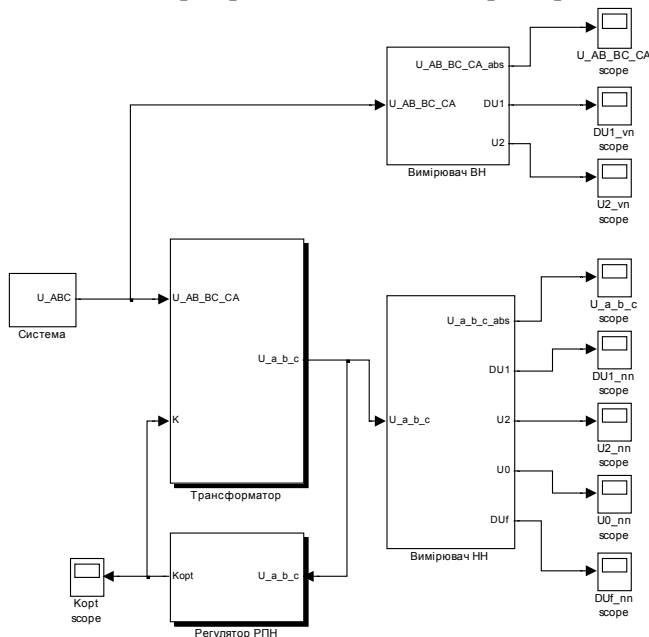


Рис. 2. Модель Simulink системи регулювання напруги

"Регулятор РПН" - модель САУ пристроєм РПН. Модель блоку "Регулятор РПН" приведена на рис. 3.

На рис. 3: "Transformer_" - блок визначення векторів $\underline{U}_{AB}, \underline{U}_{BC}, \underline{U}_{CA}$ по значенням U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} , K^{opt} (відповідає блоку 1 на рис. 1);

"DU1ut" - блок визначення $\Delta U_{1ут}$ (блок 2 на рис. 1); "U2ut" - блок визначення $U_{2ут}$ (блок 3 на рис. 1); "U0ut" - блок визначення $\Delta U_{0ут}$ $U_{0ут}$ (блок 4 на рис. 1); "DUf_ut" - блок визначення $\Delta U_{\phi iут}$ (блок 5 на рис. 1); "Optimiztion" - блок визначення K^{opt} (блок 6 на рис. 1); "Transport Delay" - блок затримки сигналу на 1 крок розрахунку (блок 7 на рис. 1); "Kmin", "Kmax" - блоки, що задають мінімальне та максимальне значень коефіцієнтів трансформації силового трансформатора.

"Kmin" - блоки, що задають мінімальне та максимальне значень коефіцієнтів трансформації силового трансформатора.

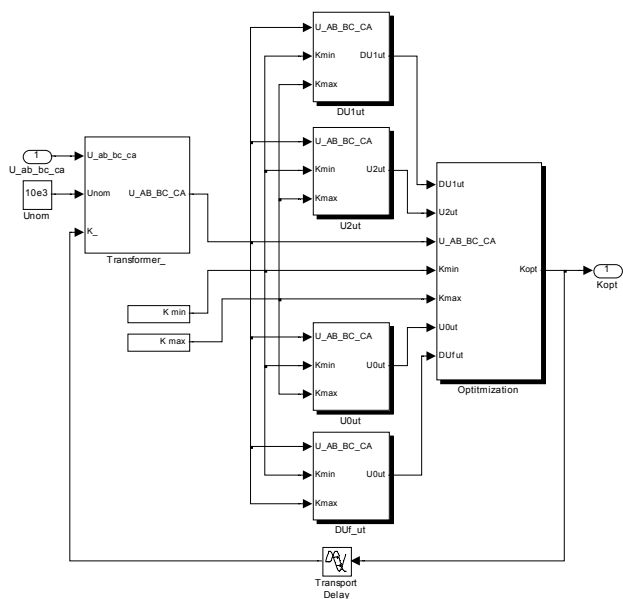


Рис. 3. Модель Simulink САУ пристроєм РПН силового трансформатора

На рис. 4 наведено графіки зміни $\delta U_1, K_2, K_0$ при використанні запропонованої САУ пристроєм РПН. Як видно з рис. 4 як значення δU_1 , так і значення K_2 і K_0 не перевищують нормально допустимих меж.

Статистичні показники $\delta U_1, K_2, K_0, \Delta U_{\phi i}$ для напруг на стороні ВН трансформатора, на стороні НН при застосуванні класичної САУ РПН та при використанні запропонованої САУ пристроєм РПН силового трансформатора наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Статистичні показники показників якості електричної енергії у випадку оптимального і класичного регулювання

Показник якості електричної енергії	Математичне очікування, M , %	Середньо-квадратичне відхилення, σ , %	Інтегральна ймовірність, P , %
Сторона ВН силового трансформатора			
δU_1	-5,37	0,28	12,6
K_2	1,81	0,45	65,9
Сторона НН силового трансформатора (класичне регулювання)			
δU_1	-0,32	0,28	100
K_2	1,91	0,47	58,8
K_0	1,03	0,43	98,4
δU_a	-1,66	1,24	100
δU_b	0,45	1,57	100
δU_c	0,28	0,82	100
δU_1	-1,55	0,82	100
Сторона НН силового трансформатора (оптимальне регулювання)			
δU_1	-1,55	0,82	100
K_2	1,25	0,35	98,1
K_0	1,22	0,34	99,7
δU_a	-1,67	1,21	100
δU_b	-1,2	1,03	100
δU_c	-1,59	1,02	100

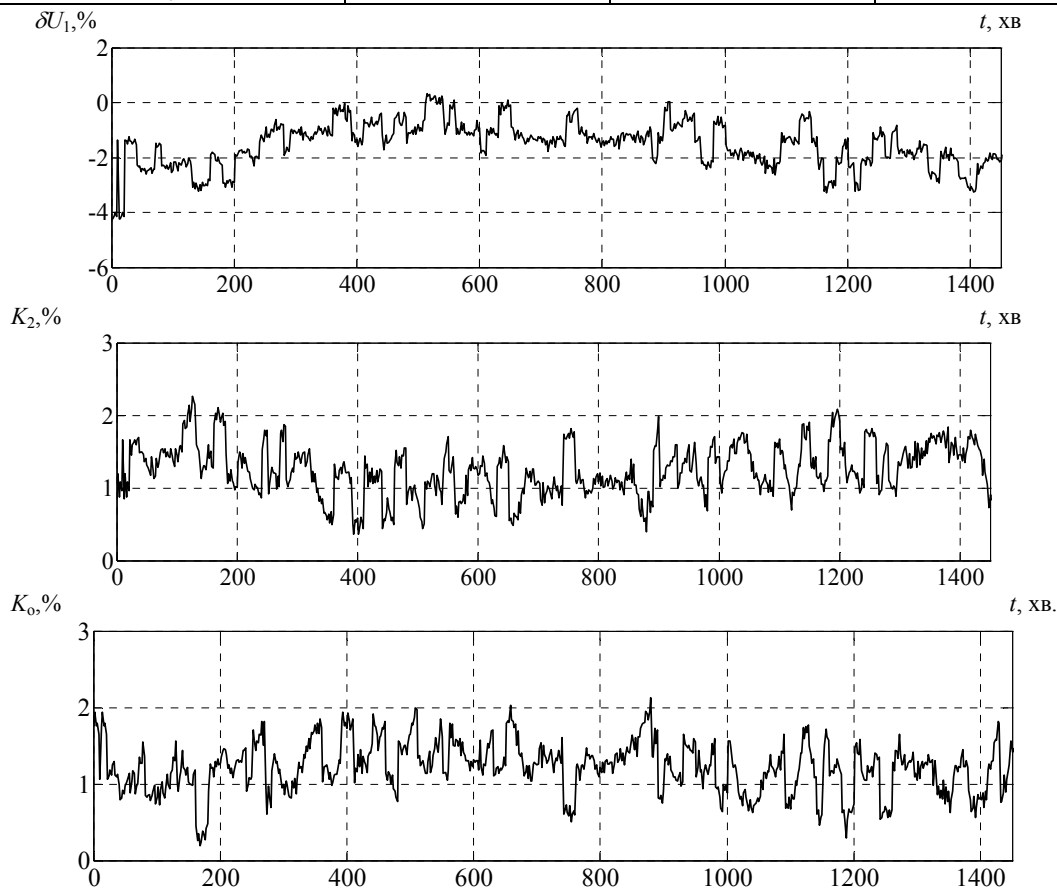


Рис. 4. Графіки зміни δU_1 , K_2 , K_0 на стороні НН силового трансформатора при застосуванні оптимальної САУ пристроєм РПН силового трансформатора

Висновки та напрямок подальших досліджень. На основі математичної моделі управління пристроєм РПН силового трансформатора зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зірка з нулем», в основу роботи якої покладено математичний апарат багатокритеріальної оптимізації, розроблено структурну схему САУ, досліджено якість її роботи шляхом математичного моделювання в середовищі Simulink.

Результати математичного моделювання показали, що запропонована САУ пристроєм РПН силового трансформатора має перевагу над класичною САУ РПН за рахунок зниження не лише рівня усталеного відхилення напруги, а й рівнів несиметрії напруг по зворотній та нульовій послідовностях.

У подальших дослідженнях необхідно розглянути питання розробки САУ пристроєм РПН силових трансформаторів з іншими схемами з'єднання обмоток трансформатора.

Для зменшення рівнів ПЯЕ найбільш перспективним видається застосування САУ пристроєм РПН силового трансформатора зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зигзаг з нулем», оскільки дана схема з'єднання обмоток виключає наявність напруги нульової послідовності на стороні НН силового трансформатора.

Також невирішеним залишається питання технічної реалізації запропонованої САУ пристроєм РПН силового трансформатора.

Список літератури

1. **Плешков П. Г.** Теоретичні засади оптимального керування пристроєм РПН силового трансформатора за векторним критерієм / **П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, М. В. Кубкін** // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. / Вип. 24, ч. 2. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – С. 164-173.

2. **Зінзура В.В.** Методи розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричних мережах. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. / – Вип. 25.Ч.1 – Кіровоград: КНТУ, 2012. С. 350-360.

3. **Зінзура В.В.** Задача багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричній мережі з глухозаземленою нейтраллю. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. - Вип. 25.Ч.2 – Кіровоград: КНТУ, 2012. С. 227-234.

4. **Зінзура В.В.** Розробка та дослідження роботи системи автоматичного управління пристроєм РПН силового трансформатора // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. - № 3. – С. 99-109.

5. **Бурбело М. Й.** Застосування багатоцільової оптимізації для симетрування та зменшення відхилень напруг в електричних мережах / **М. Й. Бурбело, А. М. Волоцький, О. В. Бабенко, О. В. Салій** // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2005. – № 6. – С. 76 – 79.

Рукопис подано до редакції 26.03.14

УДК 622.233.6

Вик. А. ГРОМАДСКИЙ, аспирант, Э. В. СЕРЕБРЕНИКОВ, канд. техн. наук
Криворожский национальный университет

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ АМПЛИТУД ВЫНУЖДЕННЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ БУРОВЫХ ШТАНГ СТАНКОВ ШАРОШЕЧНОГО БУРЕНИЯ

Интенсификация добычи полезных ископаемых открытым способом потребовала роста производительности горной техники, в том числе, буровых станков, как основного звена в подготовке буровзрывных работ. Увеличение производительности буровых станков приводит к росту нагрузок на буровые штанги и повышению скорости их оборотов. Это создает условия для активизации вынужденных поперечных колебаний буровых штанг, что может привести к недопустимым амплитудам колебаний, и даже к флаттеру бурового инструмента. Появление резонансных амплитуд не только нарушает технологический процесс бурения скважин, но и создает аварийные ситуации, вызывая выход со строя буровых станков. Наличие многочисленных причин, вызывающих неустойчивость работы буровых станков, указывает на необходимость применения методов математического моделирования. Эти методы позволяют построить не только адекватную математическую модель процесса поперечных колебаний буровой штанги, но и, благодаря наличию компьютеров с развитым программным обеспечением, организовать вычислительные эксперименты для нахождения рациональных режимов работы буровых станков. На основе учета физических закономерностей построена математическая модель вынужденных поперечных колебаний буровой штанги. Эта модель позволила установить функциональную зависимость вынужденных поперечных колебаний штанги от ее параметров. Пу-

тем организации вычислительных экспериментов на полученной модели были найдены условия, при которых происходила активизация амплитуд вынужденных поперечных колебаний, вплоть до появления резонансов, что было подтверждено экспериментами.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Увеличение добычи полезных ископаемых в карьерах требует роста производительности горной техники, в частности, станков шарошечного бурения для бурения скважин под буровзрывные работы. Такое увеличение производительности буровых станков приводит к росту нагрузок на буровые штанги и повышению скорости их оборотов. Это создает условия для активизации вынужденных поперечных колебаний буровых штанг, что может привести к недопустимым амплитудам колебаний, и даже появлению эффекта флаттера бурового инструмента [1]. Последствия от появления флаттера не только нарушают технологический процесс бурения скважин, но и создают аварийные ситуации, вызывая выход со строя буровых станков. Поэтому анализ воздействия возмущений на величины амплитуд поперечных колебаний буровых штанг с целью обеспечения технологически рационального режима работы буровых станков является актуальной проблемой, требующей неотлагательного решения.

Анализ исследований и публикаций. Вопросам, связанным с анализом вынужденных поперечных колебаний буровых штанг, уделено достаточно много внимания [2-4]. Вместе с тем, публикации, как правило, посвящены решению общетеоретических задач, без указания конкретных условий эксплуатации буровых станков.

Постановка задачи. В работе [5] исследованы вопросы, связанные с собственными частотами колебаний буровых штанг станков шарошечного бурения, то есть при отсутствии внешних возмущений. Поэтому целесообразно продолжить исследование поперечных колебаний буровой штанги станка шарошечного бурения при наличии внешнего возмущения. Наличие многочисленных причин, вызывающих неустойчивость работы буровых станков, указывает на необходимость применения методов математического моделирования. Эти методы позволяют построить не только адекватную математическую модель процесса поперечных колебаний буровой штанги, но и, благодаря наличию компьютерной техники с развитым программным обеспечением, организовать вычислительные эксперименты для нахождения рациональных режимов работы буровых станков.

Изложение материала и результаты. Часть II. При моделировании буровая штанга рассматривалась как полый стержень круглого сечения, оба конца которого шарнирно оперты. При этом штанга испытывает сжатие от усилия подачи, а также на нее действует внешнее возмущение в виде распределенной нагрузки по всей ее длине.

Математическая модель, описывающая поперечные колебания буровой штанги при наличии распределенной нагрузки, может быть представлена в виде неоднородного дифференциального уравнения в частных производных [6]

$$EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + R \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = P, \quad (1)$$

где $y = y(x, t)$ – поперечное перемещение бурильной штанги, м; E – модуль упругости материала штанги, н/м²; J – момент инерции поперечного сечения штанги, м⁴; m – интенсивность массы штанги, кг/м; R – усилие подачи штанги, н; $P=P(t)$ – внешнее воздействие на штангу, отнесенное к единице длины, н/м.

Де-факто с обоих концов штанги скользящие посадки, и при таком соотношении длины штанги l и ее диаметра D ($l \gg D$) штанга ведет себя, как шарнирная балка, поэтому граничные условия запишутся в виде

$$y(x, t)|_{x=0} = 0, \quad \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} \Big|_{x=0} = 0. \quad (2)$$

$$y(x, t)|_{x=l} = 0, \quad \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} \Big|_{x=l} = 0. \quad (3)$$

Начальные условия запишутся в виде

$$y(x, t)|_{t=0} = \varphi(x), \quad \frac{\partial y(x, t)}{\partial t} \Big|_{t=0} = \psi(x), \quad (4)$$

где $\varphi(x), \psi(x)$ – функции, определяющие начальный профиль и поперечную скорость штанги.

Принимая во внимание линейность дифференциального уравнения (1) решение задачи Коши (1),..., (4) будем искать в виде суммы двух функций [7]

$$y(x, t) = \bar{y}(x, t) + Y(x, t), \quad (5)$$

где $\bar{y}(x, t)$ – решение задачи Коши для однородного уравнения, $Y(x, t)$ – частное решение неоднородного уравнения (1) при нулевых граничных и начальных условиях.

Задача Коши для первой функции $\bar{y}(x, t)$ записывается в виде

$$EJ \frac{\partial^4 \bar{y}}{\partial x^4} + R \frac{\partial^2 \bar{y}}{\partial x^2} + m \frac{\partial^2 \bar{y}}{\partial t^2} = 0, \quad (6)$$

$$\bar{y}(x, t)|_{x=0} = 0, \quad \frac{\partial^2 \bar{y}(x, t)}{\partial x^2} \Big|_{x=0} = 0. \quad (7)$$

$$\bar{y}(x, t)|_{x=l} = 0, \quad \frac{\partial^2 \bar{y}(x, t)}{\partial x^2} \Big|_{x=l} = 0. \quad (8)$$

$$\bar{y}(x, t)|_{t=0} = \varphi(x), \quad \frac{\partial \bar{y}(x, t)}{\partial t} \Big|_{t=0} = \psi(x). \quad (9)$$

Задача Коши для второй функции $Y(x, t)$ записывается в виде

$$EJ \frac{\partial^4 Y}{\partial x^4} + R \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} + m \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} = P, \quad (10)$$

$$Y(x, t)|_{x=0} = 0, \quad \frac{\partial^2 Y(x, t)}{\partial x^2} \Big|_{x=0} = 0. \quad (11)$$

$$Y(x, t)|_{x=l} = 0, \quad \frac{\partial^2 Y(x, t)}{\partial x^2} \Big|_{x=l} = 0. \quad (12)$$

$$Y(x, t)|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial Y(x, t)}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0. \quad (13)$$

Решение задачи Коши (6),..., (9) было рассмотрено ранее в работе [5] и имеет вид

$$\bar{y}(x, t) = \frac{2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left(\pi \cdot n \frac{x}{l}\right) \left(\cos \omega_n t \int_0^l \varphi(\xi) \sin\left(\pi \cdot n \frac{\xi}{l}\right) d\xi + \frac{1}{\omega_n} \sin \omega_n t \int_0^l \psi(\xi) \sin\left(\pi \cdot n \frac{\xi}{l}\right) d\xi \right). \quad (14)$$

Для решения задачи Коши (10),..., (13) представим решение и правую часть уравнения (10) в виде разложения по собственным функциям решения (14)

$$Y(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} Y_n(t) \sin(\pi n \frac{x}{l}), \quad P(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} P_n(t) \sin(\pi n \frac{x}{l}). \quad (15)$$

Подставим (15) в уравнение (10), выполнив необходимое дифференцирование

$$EJ \sum_{n=1}^{\infty} Y_n(t) \frac{\pi^4 n^4}{l^4} \sin(\pi n \frac{x}{l}) - R \sum_{n=1}^{\infty} Y_n(t) \frac{\pi^2 n^2}{l^2} \sin(\pi n \frac{x}{l}) + m \sum_{n=1}^{\infty} \frac{d^2 Y_n(t)}{dt^2} \sin(\pi n \frac{x}{l}) = \sum_{n=1}^{\infty} P_n(t) \sin(\pi n \frac{x}{l}) \quad (16)$$

Группируя и вынося за скобки в (16), получаем

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left(m \frac{d^2 Y_n(t)}{dt^2} + \frac{\pi^2 n^2}{l^2} (EJ \frac{\pi^2 n^2}{l^2} - R) \cdot Y_n(t) - P_n(t) \right) \sin(\pi n \frac{x}{l}) = 0. \quad (17)$$

Учитывая, что система собственных функций решения (14) является линейно-независимой, получаем обыкновенное дифференциальное уравнение для нахождения $Y_n(t)$

$$m \frac{d^2 Y_n(t)}{dt^2} + \frac{\pi^2 n^2}{l^2} (EJ \frac{\pi^2 n^2}{l^2} - R) \cdot Y_n(t) = P_n(t). \quad (18)$$

Для дальнейшего решения уравнение (18) удобно представить в виде

$$\frac{d^2 Y_n(t)}{dt^2} + \phi_n^2 \cdot Y_n(t) = p_n(t) \quad (n=1, 2, \dots), \quad (19)$$

где $\phi_n = \frac{\pi \cdot n}{l\sqrt{m}} \sqrt{EJ \frac{\pi^2 n^2}{l^2} - R}$ – круговая частота n -й гармоники, рад/сек, $p_n(t) = \frac{P_n(t)}{m}$ – ускорение n -й гармоники, вызванное внешним возмущением, м/с².

Принимая во внимание, что круговые частоты для свободных и вынужденных колебаний совпадают, то есть $\omega_n = \phi_n$, в дальнейшем будем пользоваться первым обозначением.

Начальные условия для дифференциального уравнения (19) согласно (13) запишутся в виде

$$Y_n(t)|_{t=0} = 0, \quad \frac{dY_n(t)}{dt}|_{t=0} = 0 \quad (n=1,2,\dots). \quad (20)$$

Решение задачи Коши (19), (20) представляется с помощью интеграла Дюамеля [8]

$$Y_n(t) = \frac{2}{\omega_n l} \int_0^l \sin\left(\pi n \frac{x}{l}\right) \int_0^t p(x, \theta) \sin \omega_n(t - \theta) d\theta dx. \quad (21)$$

Тогда, подставляя (21) в (15), получаем решение задачи Коши (10),... (13)

$$Y(x, t) = \frac{2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_n} \sin\left(\pi n \frac{x}{l}\right) \int_0^l \sin\left(\pi n \frac{\xi}{l}\right) \int_0^t p(\xi, \theta) \sin \omega_n(t - \theta) d\theta d\xi. \quad (22)$$

В результате решение исходной задачи Коши (1),... (4) представляется как сумма решений (14) и (22)

$$y(x, t) = \frac{2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left(\pi \cdot n \frac{x}{l}\right) \left(\cos \omega_n t \int_0^l \varphi(\xi) \sin\left(\pi n \frac{\xi}{l}\right) d\xi + \frac{1}{\omega_n} \sin \omega_n t \int_0^l \psi(\xi) \sin\left(\pi n \frac{\xi}{l}\right) d\xi \right) + \frac{2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_n} \sin\left(\pi n \frac{x}{l}\right) \int_0^l \sin\left(\pi n \frac{\xi}{l}\right) \int_0^t p(\xi, \theta) \sin \omega_n(t - \theta) d\theta d\xi. \quad (23)$$

Вынося в (23) общие члены за скобки, окончательно получаем

$$y(x, t) = \frac{2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left(\pi \cdot n \frac{x}{l}\right) \left(\cos \omega_n t \int_0^l \varphi(\xi) \sin\left(\pi n \frac{\xi}{l}\right) d\xi + \frac{1}{\omega_n} \sin \omega_n t \int_0^l \psi(\xi) \sin\left(\pi n \frac{\xi}{l}\right) d\xi \right) + \frac{1}{\omega_n} \int_0^l \sin\left(\pi n \frac{\xi}{l}\right) \int_0^t p(\xi, \theta) \sin \omega_n(t - \theta) d\theta d\xi. \quad (24)$$

Полученное решение (24) содержит функцию, которая определяет внешнее возмущение при функционировании буровой штанги. В рассматриваемом случае таким возмущением является центробежная сила, вызванная вращением буровой штанги. Для нахождения этой силы запишем ее величину для бесконечно малого участка буровой штанги

$$dF = \omega^2 r dm, \quad (25)$$

где ω – круговая частота вращения штанги, рад/с; dm – элемент массы штанги, кг; r – расстояние от оси вращения штанги до элемента массы, м.

Учитывая осевую симметрию штанги, элемент массы штанги можно записать в виде

$$dm = \rho \cdot r dr d\varphi \cdot dh, \quad (26)$$

где ρ – плотность материала штанги, кг/м³; $r dr d\varphi \cdot dh$ – элемент объема штанги в цилиндрической системе координат, м³.

Для нахождения центробежной силы проинтегрируем (25) с учетом (26)

$$F = \omega^2 \rho \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^l dh \int_{r_1}^{r_2} r^2 dr, \quad (27)$$

где l – длина штанги, м; r_1, r_2 – внутренний и внешний радиусы трубы штанги, м.

Вычисляя интеграл (27), получаем

$$F = \frac{2}{3} \pi \omega^2 \rho \cdot l \cdot (r_2^3 - r_1^3). \quad (28)$$

Принимая во внимание, что интенсивность массы штанги вычисляется по формуле

$$m = \rho \cdot \pi \cdot (r_2^2 - r_1^2),$$

формулу (28) можно привести к виду

$$F = \frac{2}{3} \omega^2 \cdot m \cdot l \cdot \frac{r_2^3 - r_1^3}{r_2^2 - r_1^2}. \quad (29)$$

В результате линейная плотность центробежной силы рассчитывается по формуле

$$P = \frac{1}{3} m \omega^2 \frac{d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2}{d_1 + d_2}, \quad (30)$$

где d_1, d_2 - внутренний и внешний диаметры трубы буровой штанги, m .

Таким образом, для получения необходимых результатов по колебаниям буровой штанги необходимо в формулу (24) подставить величину

$$p = \frac{P}{m} = \frac{1}{3} \omega^2 \frac{d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2}{d_1 + d_2}. \quad (31)$$

Если принять, что начальные отклонение и скорость штанги были нулевыми

$$y(x, t)|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial y(x, t)}{\partial t}|_{t=0} = 0,$$

то с учетом (31) формула (24) принимает вид

$$y(x, t) = \frac{2}{3 \cdot l} \omega^2 \frac{d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2}{d_1 + d_2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_n} \sin(\pi \cdot n \frac{x}{l}) \int_0^l \sin(\pi \cdot n \frac{\xi}{l}) d\xi \int_0^t \sin \omega_n (t - \theta) d\theta. \quad (32)$$

Вычислим интегралы, входящие в формулу (32),

$$\int_0^l \sin(\pi \cdot n \frac{\xi}{l}) d\xi = -\frac{l}{\pi n} \cos(\pi n \frac{\xi}{l}) \Big|_0^l = \frac{l}{\pi \cdot n} (1 - \cos \pi n) = \begin{cases} 0, & n = 2k \\ \frac{2l}{\pi \cdot n}, & n = 2k - 1 \end{cases}, \quad (33)$$

$$\int_0^t \sin \omega_n (t - \theta) d\theta = \frac{1}{\omega_n} \cos \omega_n (t - \theta) \Big|_0^t = \frac{1}{\omega_n} (1 - \cos \omega_n t). \quad (34)$$

Подставляя (33) и (34) в формулу (32), окончательно получаем формулу, описывающую поперечные колебания штанги, вызванные центробежной силой,

$$y(x, t) = \frac{4}{3\pi} \omega^2 \frac{d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2}{d_1 + d_2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_{2n-1}^2 (2n-1)} \sin(\pi(2n-1) \frac{x}{l}) (1 - \cos \omega_{2n-1} t). \quad (35)$$

При работе буровой штанги может наблюдаться ее вибрирование, связанное со смещенностью оси вращения. Такое вибрирование также оказывает влияние на поперечные колебания штанги, являясь внешним возмущением. Поэтому целесообразно рассмотреть влияние такого вибрирования на поперечные колебания буровой штанги. Пусть процесс вибрирования штанги при ее вращении описывается функцией

$$y(t) = y_0 \sin(\omega \cdot t), \quad (36)$$

где y_0 - амплитуда вибраций штанги, m .

Тогда сила, которая действует на единицу длины штанги, находится по формуле

$$Q(t) = m \cdot \ddot{y}(t), \quad (37)$$

где $\ddot{y}(t)$ - производная второго порядка, m/c^2 .

Вычисляя производную второго порядка от функции (36), находим

$$Q(t) = -m \cdot y_0 \cdot \omega^2 \sin(\omega \cdot t). \quad (38)$$

Для нахождения воздействия вибраций на поперечные колебания штанги подставим (38) в формулу (24), принимая, что начальные отклонение и угловая скорость штанги были нулевыми. В результате, обозначив

$$q(t) = \frac{Q(t)}{m},$$

последовательно получим

$$y(x, t) = \frac{2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_n} \sin(\pi n \frac{x}{l}) \int_0^l \sin(\pi n \frac{\xi}{l}) \int_0^t q(\theta) \sin \omega_n (t - \theta) d\theta d\xi,$$

$$y(x, t) = -\frac{4y_0\omega^2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_{2n-1}(2n-1)} \sin(\pi(2n-1)\frac{x}{l}) \int_0^t \sin \omega\theta \sin \omega_{2n-1}(t-\theta) d\theta. \quad (39)$$

Вычислим интеграл

$$\begin{aligned} \int_0^t \sin \omega\theta \sin \omega_{2n-1}(t-\theta) d\theta &= \frac{1}{2} \int_0^t (\cos((\omega + \omega_{2n-1})\theta - \omega_{2n-1}t) - \cos((\omega - \omega_{2n-1})\theta + \omega_{2n-1}t)) d\theta = \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\omega + \omega_{2n-1}} \sin((\omega + \omega_{2n-1})\theta - \omega_{2n-1}t) \Big|_0^t - \frac{1}{\omega - \omega_{2n-1}} \sin((\omega - \omega_{2n-1})\theta + \omega_{2n-1}t) \Big|_0^t \right) = \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{\sin \omega \cdot t + \sin \omega_{2n-1}t}{\omega + \omega_{2n-1}} - \frac{\sin \omega \cdot t - \sin \omega_{2n-1}t}{\omega - \omega_{2n-1}} \right) = \frac{\omega \sin \omega_{2n-1}t - \omega_{2n-1} \sin \omega \cdot t}{\omega^2 - \omega_{2n-1}^2}. \end{aligned} \quad (40)$$

Принимая во внимание (40), формула (39) принимает вид

$$y(x, t) = -\frac{4y_0\omega^2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\omega \sin \omega_{2n-1}t - \omega_{2n-1} \sin \omega \cdot t}{\omega_{2n-1}(\omega^2 - \omega_{2n-1}^2)(2n-1)} \sin(\pi(2n-1)\frac{x}{l}). \quad (41)$$

Раскроем формулу (41), выделив первые гармоники,

$$y(x, t) = -\frac{4y_0\omega^2}{\pi} \left(\frac{\omega \sin \omega_1 t - \omega_1 \sin \omega \cdot t}{\omega_1(\omega^2 - \omega_1^2)} \sin(\pi \frac{x}{l}) + \frac{\omega \sin \omega_3 t - \omega_3 \sin \omega \cdot t}{3\omega_3(\omega^2 - \omega_3^2)} \sin(3\pi \frac{x}{l}) + \dots \right). \quad (42)$$

Как видно из формулы (42), первая гармоника определяется формулой

$$y_1(x, t) = -\frac{4y_0\omega^2}{\pi} \cdot \frac{\omega \sin \omega_1 t - \omega_1 \sin \omega \cdot t}{\omega_1(\omega^2 - \omega_1^2)} \sin(\pi \frac{x}{l}). \quad (43)$$

Для удобства исследования формулы (43) целесообразно перейти к безразмерному виду

$$\hat{y}_1 = \varepsilon^2 \frac{\sin(\varepsilon \cdot \theta) - \varepsilon \cdot \sin \theta}{\varepsilon^2 - 1} \sin(\pi \xi), \quad (44)$$

где $\hat{y}_1 = \frac{\pi \cdot y_1}{4y_0}$, $\varepsilon = \frac{\omega}{\omega_1}$, $\theta = \omega_1 t$, $\xi = \frac{x}{l}$.

На рис. 1 представлены результаты расчета по формуле (44) в зависимости от безразмерного времени θ . В качестве параметра была выбрана величина ε , которая характеризует близость круговой частоты вращения буровой штанги к круговой частоте первой гармоники. При расчете было взято $\xi=0,5$, т.е. точка, расположенная посередине штанги.

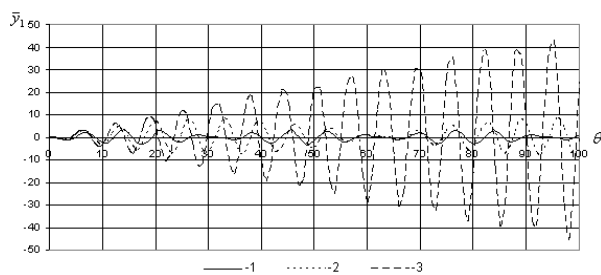


Рис.1. Зависимость колебаний первой гармоники штанги от времени при ($1 - \varepsilon = 0,8$, $2 - \varepsilon = 0,9$, $3 - \varepsilon = 0,99$)

Анализ результатов расчетов, приведенных на рис. 1, показывает, что при приближении частоты вибраций штанги, вызванных несимметричностью расположения оси вращения, к частоте первой гармоники, резко возрастает амплитуда колебаний штанги, принимая нарастающий характер. Ниже представлены результаты численного моделирования.

Согласно исходным данным параметры буровой штанги характеризуется величинами

$$R=200 \text{ КН}; m=206,3 \text{ кг/м}; E=2 \cdot 10^{11} \text{ Па}; J=9,72 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4; d_1=0,112 \text{ м}; d_2=0,215 \text{ м}.$$

Формулы для угловой скорости и циклической частоты для исходных данных принимают вид [5]

$$\omega_n = 3,03 \cdot 10^3 \cdot \frac{n^2}{l^2} \sqrt{1 - 1,042 \cdot 10^{-3} \frac{l^2}{n^2}}, f_n = 482,239 \cdot \frac{n^2}{l^2} \sqrt{1 - 1,042 \cdot 10^{-3} \frac{l^2}{n^2}} \quad (n=1,2,\dots). \quad (45)$$

В свою очередь, подставляя исходные данные в формулу (35), находим зависимость вынужденных поперечных колебаний штанги, вызванные центробежной силой ее вращения,

$$y(x, t) = 0,108 \cdot \omega^2 \cdot \left(\frac{1}{\omega_1^2} \sin\left(\pi \frac{x}{l}\right)(1 - \cos \omega_1 t) + \frac{1}{3\omega_3^2} \sin\left(3\pi \frac{x}{l}\right)(1 - \cos \omega_3 t) + \dots \right). \quad (46)$$

Если принять, что буровая штанга вращается с частотой $n = 110$ об/мин, то ее угловая скорость составит величину, рад/с

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 110}{60} \approx 11,52. \quad (47)$$

Подставляя (47) в формулу (46), получаем

$$y(x, t) = 14,331 \cdot \left(\frac{1}{\omega_1^2} \sin\left(\pi \frac{x}{l}\right)(1 - \cos \omega_1 \cdot t) + \frac{1}{3\omega_3^2} \cdot \sin\left(3\pi \frac{x}{l}\right)(1 - \cos \omega_3 \cdot t) + \dots \right) \quad (48)$$

В табл.1 представлены результаты расчетов частот и амплитуд первой, второй и третьей гармоник для разных длин буровых штанг по формулам (45) и (48).

Таблица 1

Результаты расчетов для первых трех гармоник частот и амплитуд поперечных колебаний штанги

$l, \text{ м}$	8			16		
	1	2	3	1	2	3
n						
$\omega_n, \text{ рад/с}$	45,74	187,79	424,51	10,14	45,74	104,93
$f_n, \text{ Гц}$	7,28	29,89	67,56	1,61	7,28	16,70
$A, \text{ м}$	$6,85 \cdot 10^{-3}$	-	$2,65 \cdot 10^{-5}$	0,139	-	$4,34 \cdot 10^{-4}$

Учитывая исходные данные рассматриваемой задачи, исследуем поперечные колебания штанги, вызванные ее вибрациями. Принимая во внимание, что $\omega \approx 11,52$ рад/с, получаем

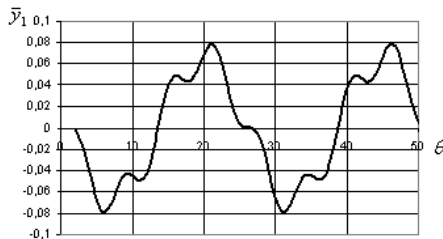
$$\varepsilon(l = 8) = \frac{\omega}{\omega_1} = \frac{11,52}{45,74} \approx 0,25. \quad (49)$$

Анализ вычисленных величин показывает, что при длине штанги, равной $l = 8$ м, вибрация штанги оказывают малое влияние на амплитуду поперечных колебаний штанги, поскольку круговая частота штанги значительно отличается от круговой частоты первой гармоники. В этом случае формула (44) с учетом (49) для $\xi = 0,5$ принимает вид

$$\bar{y}_1 = 0,067(0,25 \sin \theta - \sin(0,25\theta)). \quad (50)$$

На рис. 2 представлен график, построенный согласно формуле (50).

Рис. 2. Зависимость колебаний первой гармоники штанги от времени согласно формуле (50)



Анализ графика, приведенного на рис. 2, показывает, что при вибрациях штанги, вызванных ее вращением при заданной круговой частоте, амплитуда поперечных колебаний штанги составляет $\approx 0,1$ амплитуды колебаний, вызванных резонансом от совпадении частоты ее собственных колебаний с частотой вращения.

При длине штанги, равной $l = 8$ м круговая частота штанги превышает круговую частоту первой гармоники, при этом

$$\varepsilon(l = 16) = \frac{\omega}{\omega_1} = \frac{11,52}{10,14} \approx 1,136. \quad (51)$$

Если круговая частота достигает величины круговой частоты первой гармоники, что вызывает, согласно графику рис. 1, резкое возрастание амплитуды поперечных колебаний штанги. Далее, по мере возрастания круговой частоты, эта амплитуда будет уменьшаться, а сами колебания принимают установившийся характер. В этом случае формула (44) с учетом (51) для $\xi = 0,5$ принимает вид

$$\bar{y}_1 = 4,44(\sin 1,136 \cdot \theta - 1,136 \sin \theta). \quad (52)$$

На рис. 3 представлен график, построенной согласно формуле (52).

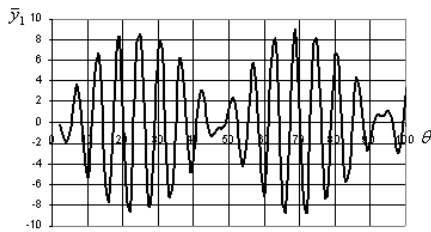


Рис. 3. Залежність коливань першої гармоніки штанги від часу згідно формули (52)

Аналіз графіка, приведеного на рис. 3, показує, що при вібраціях штанги, виклираних її обертанням при заданій круглій швидкості, амплітуда резонансних поперечних коливань штанги може зростати і становити до 10 амплітуд коливань, виклираних вібраціями в штатному режимі обертання штанги і привести до появи флаттера [1].

Отримані результати розрахунків знаходяться в достатньо хорошій згоді з чисельними розрахунками, виконаними з допомогою програмного комплексу SolidWorks.

Висновки, задачі дальніших досліджень. Математичне моделювання вимушених поперечних коливань бурової штанги, ґрунтоване на урахування фізичних закономірностей, дозволило встановити функціональну залежність амплітуд цих коливань від основних параметрів штанги: інтенсивності маси, модуля пружності, діаметра, товщини стінок, довжини, а також від розподіленої поперечної навантаження.

Представлення формул, визначаючих залежність амплітуд вимушених поперечних коливань від параметрів штанги, в безрозмірному вигляді, дозволило скоротити число змінних, і тим самим суттєво спростити дослідження отриманої залежності.

Аналіз залежності амплітуд вимушених поперечних коливань бурової штанги, показав, що при певних умовах (довжинах штанг, величинах навантажень, частотах обертів штанги) можливо виникнення резонансних амплітуд і явища флаттера.

Список літератури

1. Громадський Вік. А. Динаміка обертання бурових стовпів і рекомендації раціональних режимів буріння станками типу СБШ-250 / Горне обладнання і електромеханіка. // Научно-аналітичний і виробничий журнал. М.: "Нові технології". – 2014. – № 4(101), с. 17 – 24.
2. Симонов В.В., Юнін Е.К. Вплив колибательних процесів на роботу бурильного інструмента. - М.: Недра, 1977. – 212с.
3. Суханов А. Ф., Кутузов Б. Н., Шмидт Р. Г. Вібрація і надійність роботи станків шарошечного буріння. – М.: Недра, 1969. – 123 с.
4. Бешта А.С., Хілов В.С, Плахотник В.В. Математична модель продольних і крутильних коливань бурової штанги / Горна механіка і автоматика. - Сборник научних робіт. 2004. - Вып. 73.
5. Громадський Вік. А., Серебренников Э. В. Теоретичне моделювання власних частот поперечних коливань бурових штанг станків шарошечного буріння / Вісник Криворізького національного університету, 2014. - Кривий Ріг: КНУ, С. 265-272.
6. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле. М.: Машиностроение, 1985.– 472с.
7. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1972.–435с.
8. Владимиров В., С. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1976.–331с

Рукопис подано до редакції 26.03.14

УДК 622.271.3

Ю.І. ГРИГОР'ЄВ, аспірант, Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ МЕТОДИЧНИХ ПРИНЦИПІВ ЦІЛЕНАПРАВЛЕНОГО ФОРМУВАННЯ ТЕХНОГЕННИХ РОДОВИЩ ПРИ КОМПЛЕКСНОМУ ОСВОЄННІ НАДР

Досліджено стан комплексного освоєння залізрудних родовищ Кривбасу. Доведено необхідність спорудження техногенних родовищ в умовах ринкової економіки. Проаналізовано існуючі способи формування техногенних родовищ. Виділено основні функції техногенного родовища. Визначено основні методичні принципи формування техногенних родовищ з позицій системного підходу.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Для умов Криворізького залізрудного басейну, що є сировинною базою для одного з найпотужніших гірничодобу

бувних комплексів і є одним з найбільших гірничодобувних регіонів світу, питання комплексного освоєння родовищ набуває все більшої значущості. Адже за різними оцінками, у Криворізькому басейні накопичено близько 8 млрд т промислових відходів, а щорічний економічний збиток від забруднення навколишнього середовища оцінюється в 300 млн доларів. При цьому близько 60% обсягів відвалів гірничодобувних підприємств, 20% лежалих хвостів збагачувальних фабрик і в повній кількості відходи металургійної переробки гірничо-металургійного комбінату «АрселорМіттал Кривий Ріг» представляють собою залізорудну сировину з показниками, що висуваються збагачувальними підприємствами [1]. Тут слід відмітити, що поняття комплексного освоєння родовищ передбачає максимально повне використання мінеральних ресурсів, що виймаються із земних надр, зокрема і тих, що складаються у відвали чи скидаються до шламосховищ.

При цьому закон України «Про надра» [2] серед основних принципів політики у сфері користування надрами спонукає користувачів надр до «раціонального, комплексного використання надр ... забезпечувати безпеку навколишнього природного середовища». В Законі України «Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України до 2030 року» [3] серед шляхів розв'язання існуючих економічних проблем значиться «впровадження раціональних способів розробки комплексних родовищ і вилучення супутніх компонентів» як одного з основних кроків.

Слід відмітити, що проблема комплексного освоєння родовищ має розглядатися в трьох взаємопов'язаних аспектах: комплексне освоєння власне геогенного родовища, розробка вже існуючих техногенних родовищ, ціленаправлене формування нових техногенних родовищ із заданими параметрами з метою їх подальшої розробки.

Проте на сьогоднішній день тимчасово некондиційні руди та побіжні корисні копалини практично валово і безсистемно складаються у відвали. Однією з причин цього є бажання зменшити площі відчужених земель, оскільки роздільне складування різних видів гірських порід в плані потребує більшої площі. Також при селективному складуванні збільшується загальна протяжність фронту розвантаження транспортних засобів і, відповідно, дальність транспортування гірських порід до місць їх складування. Необхідність скорочення витрат на транспортування гірських порід, що на даний момент не знаходять господарського застосування, є ще однією причиною їх безсистемного складування.

Згідно визначення, запропонованого авторами в роботі [4], подібний підхід в накопиченні техногенних мінеральних ресурсів призводить до формування техногенних мінеральних об'єктів – «скупчення мінеральних речовин на поверхні Землі чи в гірничих виробках, утворені в результаті відокремлення їх від масиву і складування у вигляді відходів гірничого, збагачувального і металургійного виробництва».

В результаті безсистемного складування мінеральних ресурсів значно підвищуються витрати на наступну розробку цих мінеральних об'єктів, оскільки збільшується обсяг робіт по переєкскарвації гірничої маси для виймання порід необхідного типу. Крім того, в більшості випадків відпрацювання мінеральних об'єктів, сформованих таким чином, пов'язане із великими кількісними і якісними втратами, а в більшості випадків їх експлуатація стає економічно недоцільною.

Отже, сформовані таким чином техногенні мінеральні об'єкти ще не можуть вважатися техногенним родовищем. При цьому під техногенним родовищем зазвичай мається на увазі «техногенний об'єкт, за кількістю і якістю вміщуючої мінеральної сировини придатної до ефективного використання в сфері матеріального виробництва в наш час або в майбутньому, по мірі розвитку науки і техніки» [4]. Як наслідок, відбувається значна втрата корисних копалин, що вже знаходяться на поверхні і практично готові до виймання і переробки.

Крім того, питання складування гірських порід і розробки сформованих техногенних родовищ є складною динамічною багатofакторною задачею: обсяги складування-виймання з одного боку залежать від геологічних умов залягання корисних копалин і розкритих порід в геогенному родовищі, режиму гірничих робіт власне в кар'єрі і економічної кон'юнктури на ринку мінеральної сировини.

Отже, питання визначення методичних принципів ціленаправленого формування нових техногенних родовищ із заданими параметрами з метою їх подальшої розробки є важливою і актуальною задачею.

Аналіз досліджень та публікацій. В роботах [4-10] досліджено питання комплексного освоєння техногенних родовищ, закладені основні терміни і поняття, запропоновано способи формування техногенних родовищ. Виявлено, що існує ряд схем селективного складування

тимчасово некондиційних корисних копалин, але в загальному вигляді всі вони зводяться до наступних основних способів, наведених авторами в роботі [11]:

складування кожного окремого виду сировини на своїй, відокремленій в плані ділянці поверхні;

складування на одній ділянці різних видів сировини з поділом їх у плані (рис. 1);

складування на одній ділянці різних видів сировини з поділом їх по висоті;

складування з використанням комбінації другого і третього способів.

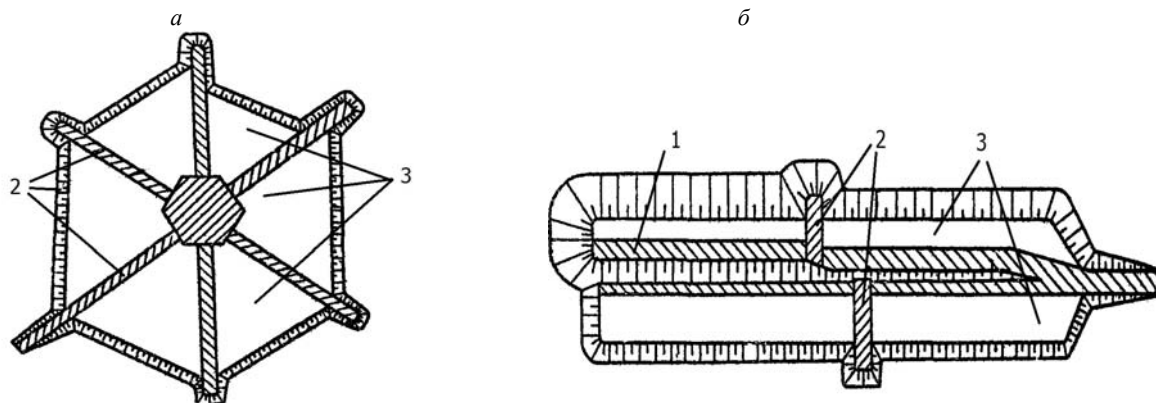


Рис. 1. Схема селективного складування некондиційних руд: *а* - з хрестоподібним поділом; *б* - з радіальним поділом: 1 – піонерний насип; 2 – поперечні насипи; 3 – некондиційні руди

Формування техногенного родовища першим способом нічим не відрізняється від звичайного відвалоутворення.

При складуванні на одній ділянці різних видів сировини з поділом їх в плані спочатку відсипаються піонерні насипи, що слугують розділовими бар'єрами, потім у простір між ними складують різні види корисних копалин або сорти руд.

Параметри піонерних насипів визначаються умовами розміщення на місцевості, а також кількістю типів руд і видів корисних копалин, їх обсягів та фізико-механічними властивостями.

Піонерні насипи можуть утворювати хрестоподібну, радіальну, віялоподібну або паралельну розділові системи, а також їх комбінацію.

Однак розглянуті способи формування техногенних родовищ при селективному складуванні некондиційних руд або побіжних корисних копалин мають ряд недоліків.

При роздільному в плані складуванні площі відчужених земель залишаються досить значними.

Крім того, в окремих випадках такий спосіб складування призводить до збільшення відстані транспортування гірської породи до місць розвантаження.

При роздільному складуванні за висотою породи, що заскладовані в нижніх шарах, стають недоступними без додаткової переекскавації верхніх шарів.

Все це підвищує витрати на складування тимчасово некондиційних руд або побіжних корисних копалин, що на даний момент не мають господарського застосування.

Викладення матеріалу та результати. Ефективність комплексного освоєння родовища залежить від ряду факторів: геологічних, гірничотехнічних, економічних, соціальних, екологічних тощо.

Іншими словами, з позицій системного підходу, родовище одночасно входить в кожну з цих систем: геологічну, гірничотехнічну, економічну тощо.

Таким чином, питання формування і відпрацювання техногенних родовищ, аналогічно експлуатації природних, мають розглядатися в контексті систем більш високих ієрархічних рівнів [12].

Аналіз зміни ринкового попиту і ціни на товарну продукцію, що виготовляється з основних і побіжних корисних копалин залізорудних кар'єрів, дав змогу виявити циклічний характер цієї динаміки. Послідовність і тривалість цих економічних циклів підпорядковані певним закономірностям (див. рис. 2).

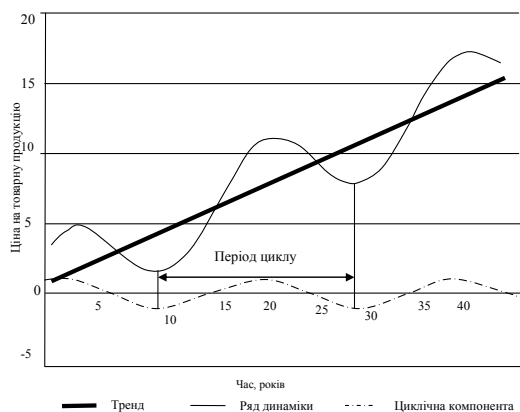


Рис. 2. Графік циклічності зміни ціни на товарну продукцію

В економічній літературі виділяються такі цикли: за одне століття, за декілька десятиліть, нормальні економічні цикли, малі цикли, специфічні коливання всередині окремих галузей економіки тощо. Цикли різної тривалості отримали назви за іменами їх дослідників: цикли тривалістю 45-60 років (довгі або великі) отримали назву циклів Кондратьєва; 15-20-річні - цикли Кузнєца; 7-12-річні (середні цикли) - цикли Жугляра; 3-4 роки, короткі або малі - цикли Кітчина [13].

При роботі підприємства можливий такий збіг геологічних, гірничотехнічних і економічних факторів, коли певний вид тимчасово некондиційних корисних копалин має бути вийнятий з контурів кар'єру, проте в даний час не може бути реалізований з достатньою нормою прибутку.

Так, згідно графіку (див. рис. 2) приймаючи до уваги динаміку зміни ціни на певну товарну продукцію, можна зробити висновок, що в період з 7-го по 13-й роки роботи підприємства переробка цієї гірської породи є економічно недоцільною, але на проміжку з 14-го до 23-го року вона може розглядатися як корисна копалина.

Можлива і інша ситуація, коли попит на певний вид корисної копалини перевищує виробничу потужність кар'єру по даному виду. В даному випадку за наявності запасів корисної копалини цього виду в техногенному родовищі, попит може бути задоволений сировиною, що була заскладована раніше.

Таким чином, складування тимчасово некондиційних руд та побіжних корисних копалин або надлишковий обсяг корисної копалини в техногенне родовище сприятиме підвищенню ефективності роботи підприємства. З іншого боку, витрати на розробку техногенного родовища значно менші витрат на виймання корисних копалин власне з надр. Тому при сумісній розробці техногенних і геогенних родовищ можна знизити межу мінімального промислового вмісту корисного компоненту і розширити контури розробки, збільшити глибину кар'єру. За рахунок цього залучаються в експлуатацію додаткові запаси корисних копалин і збільшується термін існування підприємства. З іншого боку, при незмінному контурі кар'єру можливе зниження експлуатаційного коефіцієнта розкриття і, відповідно, собівартості видобутку.

Варто відмітити, що при комплексному освоєнні родовища практично неможливо стабілізувати виробничу потужність одночасно за всіма видами корисних копалин. Вирішення цієї проблеми може полягати у складуванні надлишкових гірських порід в одні періоди і вийманні недостатнього їх обсягу в інший. В цьому випадку техногенне родовище дає змогу стабілізувати або підвищити продуктивність підприємства за побіжними корисними копалинами, а у випадках подальшої переробки корисної копалини виступає у якості буферно-акумуляуючої ланки між кар'єром і переробною фабрикою.

У випадку, коли експлуатація родовища передбачає розробку руд різної якості, техногенне родовище може застосовуватися у якості сортового чи усереднювального складу руд.

Для кар'єрів з комбінованими видами транспорту техногенне родовище може виступати у якості перевантажувального пункту з одного виду транспорту на інший з можливістю формування вантажопотоків різних видів корисних копалин. При цьому особливо важливо, щоб спосіб формування і відпрацювання техногенного родовища передбачав мінімальні простої технологічного транспорту і виймально-навантажувального обладнання [14].

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином, незаперечною є необхідність ціленаправленого формування техногенних родовищ із заданими параметрами за технологією, що передбачатиме слідування наступним принципам:

незалежне складування та відпрацювання тимчасово некондиційних руд і побіжних корисних копалин в просторі і часі (у відповідності до режиму гірничих робіт в кар'єрі і ринкової кон'юнктури);

мінімальні площі відчужених земель;

мінімальні обсяги об'ємів переєкставації при розробці техногенного родовища та зменшення кількісних і якісних втрат мінеральної сировини;

мінімальні відстані транспортування тимчасово некондиційних руд та побіжних корисних копалин при складуванні і відпрацюванні техногенного родовища.

Виходячи з засад циклічності зміни ціни і попиту на товарну продукцію, слід також допускати неодноразове формування і відпрацювання техногенних родовищ для умов потужних підприємств.

Список літератури

1. Колесников Д.В., Короленко М.К., Ступник Н.И., Удод Е.Г., Протасов В.П., Олейник Т.А. Повышение извлечения железа за счет переработки сырья техногенных месторождений Кривбасса. – Кривой Рог: Дионис, 2012. – 236 с.
2. Про надра : Закон України // Відомості Верховної Ради України від 27.07.1994. – № 36, стаття 341.
3. Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року : Закон України // Відомості Верховної Ради України від 17.05.2012. – № 44, стаття 457.
4. Трубецкой К.Н., Уманец В.Н. Комплексное освоение техногенных месторождений // Горный журнал – вып. №1, - 1992, с 12-16.
5. Темченко А.Г. Ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. - - Кривий Ріг: «Мінерал», 2000. – 216 с.
6. Трубецкой К.Н., Шапарь А.Г. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии при открытой разработке месторождений. – М.: «Недра», 1993. – 272 с.
7. Куделя А. Д. Комплексное использование минеральных ресурсов железорудных горно-обогатительных комбинатов УССР. – Киев: Наукова думка, 1984.
8. Трубецкой К.Н., Воробьев А.Е. Основы ресурсовоспроизводящих технологий складирования и хранения некондиционного минерального сырья // Горный журнал – вып. №5, - 1995, с 47-51.
9. Трубецкой К.Н., Воробьев А.Е. Классификация методов воспроизводства минерального сырья // Горный журнал – вып. №1, - 1998, с 30-34.
10. Пшеничный В.Г. Целесообразность строительства и разработки техногенных месторождений минерального сырья // Разработка рудных месторождений – вып. №92, - 2008, с 39-43.
11. Шапарь А. Г., Краснопольский И. А., Копач П. И. Ресурсосбережение в технологических процессах открытой разработки полезных ископаемых. – Киев: Наукова думка, 1992.
12. Григорьев И.Е., Григорьев Ю.И. Системный подход к процессу проектирования горных объектов // Разработка рудных месторождений – вып. №94, - 2011, с 40-44.
13. Історія економічних вчень: Навчальний посібник. За ред. В. В.Кириленка. – Тернопіль: „Економічна думка”, 2007.
14. Берлович В.В., Холодняков Г.А. О новых подходах к проектированию открытых горных работ // Горный журнал – вып. №4, - 2006, с 10-12.

Рукопис подано до редакції 26.03.14

УДК 504(075.8)

Е.В. ЧАСОВА, канд. хім. наук, доц., В.В. ІВЧУК, канд. біологіч. наук
Криворізький національний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ БІОСЕНСОРІВ У ХІМІЧНОМУ ТА БІОХІМІЧНОМУ АНАЛІЗІ

Розглянуті механізми дії та можливості застосування біосенсорів у хімічному та біохімічному аналізі, як нових аналітичних пристроїв, що використовують біологічні матеріали для детекції молекул речовини у вигляді електричного сигналу.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Біосенсор - це пристрій, який включає біологічно чутливий елемент, який тісно зв'язаний з перетворювачем або інтегрований з ним. Зазвичай біосенсор призначений для формування цифрового електричного сигналу, який є пропорційним до концентрації хімічної сполуки, що визначають. Щоб оптимі-

зувати основні характеристики сенсора, зокрема час відгуку, селективність та стабільність роботи, необхідно розуміти, що фундаментальні властивості сенсора визначаються як властивостями його компонентів, так і їх складними взаємозв'язками. На ефективність конкретного сенсора глибокий вплив можуть чинити техніка іммобілізації та нові мембранні матеріали. Рушійною силою у дослідженні сенсорів було яскраво виражене інстинктивне розуміння можливості їх широких практичних застосувань. Ці дослідження стимулювалися передусім потребами медицини та фармації. Можливість миттєвого аналізу клінічних препаратів, вочевидь, однаково приваблює увагу як науковців, так і практиків. Більш привабливою є можливість безперервного *in vivo* моніторингу метаболітів, лікарських препаратів та білків за допомоги мініатюрних та портативних систем. Яскравим прикладом практичного застосування є сенсор глюкози для хворих на цукровий діабет, що став класичним об'єктом досліджень в сфері біосенсорів. Все більше уваги приділяється якості продуктів у харчовій промисловості. В цій галузі давно визнане значення швидких методів оцінки терміну зберігання, псування та забруднення продуктів. Розвиток біотехнології стимулює розробку методів моніторингу процесів ферментації, що також розширює можливості безперервного контролю за даними процесами. Проблеми охорони оточуючого та промислового середовища стимулюють розробку сенсорів для визначення таких шкідливих речовин, як оксид вуглецю та гербіциди. В той же час інтереси військових неzmінно зосередженні на спеціальних вимогах біологічного та хімічного захисту.

Аналіз досліджень і публікацій. Будь-який біосенсор складається з двох принципових функціональних елементів: біоселектуючої мембрани, що використовує різні біологічні структури, і фізичного перетворювача сигналу (трансдюсера), який трансформує концентраційний сигнал в електричний. Для зчитування і запису інформації використовують електронні системи посилення та ресстрації сигналу. В якості біоселектуючого матеріалу використовують всі типи біологічних структур: ферменти, антитіла, рецептори, нуклеїнові кислоти і навіть живі клітини. Трансдюсерами можуть бути електрохімічні перетворювачі (електроди), різного роду оптичні перетворювачі, гравітаційні, калориметричні, резонансні системи. Всі види біоселектуючих елементів можна комбінувати з різними трансдюсерами. Це створює велику різноманітність різних типів біосенсорів [1].

Найбільш зручно проводити вимірювання на ферментних електродах в амперометричному режимі, тобто вимірювати силу струму (потік електронів) через поверхню електрода. Сила струму, як швидкість реакції, може бути однозначно пов'язана з концентрацією вимірюваного компонента. При адсорбції ферментів на твердих поверхнях (метали, кераміка, полімери) вони, як правило, зберігають свою структуру і каталітичну активність. Фермент в режимі амперометричного біосенсора проявляє електрокаталітичну активність, тобто прискорює процес обміну електронами між субстратом і електродом. Перенесення електронів протікає за допомоги дифузійно-рухомого проміжного низькомолекулярного переносника електронів – медіатора. Медіатор повинен бути досить специфічним субстратом ферменту і бути електрохімічно активним на електроді з даного матеріалу. Медіаторний механізм транспорту електрона досить широко використовується для проведення електрохімічних ферментативних реакцій. Відбувається пряме електрокаталітичне перенесення електронів між електродом і активним центром ферменту. Наприклад, в атмосфері кисню в присутності мідьвмісної оксидази – лаккази, сорбованої на електродах з різних матеріалів, встановлюється потенціал, близький до термодинамічно рівноважного потенціалу кисню. При цьому має місце стадія перенесення електронів з електрода на активний центр ферменту. Описане і електрокаталітичне відновлення пероксиду водню за допомоги іммобілізованої пероксидази, що протікає за таким же механізмом. При включенні ферментів в органічні напівпровідники можна спостерігати перенесення електронів між активним центром ферменту і доменами у напівпровіднику. Всі ці механізми транспорту електронів активно використовуються при конструюванні біосенсорів [2, 3].

Якщо медіаторне перенесення електрона – досить традиційний шлях спряження електрохімічної і ферментативної реакцій, то пряме перенесення, в якому фермент відіграє роль істинного електрокаталізатора, представляє великий інтерес. Вперше явище біоелектрокаталізу за участю прямого перенесення електронів електрод-активний центр ферменту було виявлено і досліджено при вивченні реакції електрохімічного відновлення кисню за участю мідьвмісної оксидази – лаккази. У класичній електрохімії електровідновлення кисню – одна з найбільш складних проблем. Відомо, що рівноважний потенціал окиснення-відновлення пари O_2/H_2O , рівний

1,23 В, встановлюється лише на попередньо спеціально обробленій платині і в особливо чистих розчинах. У той же час відомі ферменти, які активно відновлюють кисень за чотириелектронним механізмом до води без проміжного утворення в розчині пероксиду водню. Лаккази є ферментом, що здійснює чотириелектронне відновлення кисню при використанні, як донорів, різних ароматичних амінів і фенолів. В активний центр ферменту входять чотири іони міді, що здійснюють координоване відновлення кисню. Відомо, що електровідновлення кисню в нейтральних або слабокислих розчинах на вугільних матеріалах протікає зі значним перенапруженням. При введенні в систему лаккази в незначних кількостях (10^{-9} М) було відмічено суттєве зміщення стаціонарного потенціалу в область позитивних значень і прискорення електровідновлення кисню. Ефекти, які спостерігались, не залежать від природи електрода. Електрохімічні вимірювання проводили на електродах з сажі, пірографіта, скловуглецю або золота. Імобілізацію лаккази здійснювали адсорбційним способом безпосередньо на електроді. У присутності кисню і лаккази спостерігалася збільшення потенціалу для всіх досліджуваних електродів. Максимальне значення потенціалу +1,207 В, близьке до рівноважного потенціалу кисневого електрода, встановлювалося на електродах з сажі, які попередньо були витримані в розчині лаккази (10^{-5} М) протягом доби [4, 5].

Існує структурна концепція для пояснення процесу переносу електрона між активним центром біокомпоненту і електродом. На основі даних теоретичних розрахунків тунельного переносу електронів було отримане емпіричне рівняння, що виражає залежність між швидкістю зовнішньосферного переносу електрона і глибиною залягання активного центру біорозпізнавального компонента. Критична відстань тунельного переносу була оцінена в 1,24 нм при швидкості перенесення 10^2 с⁻¹. Інші дослідники наводять значення критичних відстаней в інтервалі 1,2-1,6 нм. На підставі аналізу експериментальних даних, представлених в роботі [3], зроблено висновок, що ті білки, які є активними в процесі прямого біоелектрокаталіза, володіють близько розташованим до поверхні білкової глобули (менше 1 нм) активним центром.

Для поліпшення умов обміну електронами між активним центром ферменту і електродом в сенсорну систему можна вводити спеціальну дифузійно-рухливу низькомолекулярну речовину, яка слугує переносником електронів. У цьому випадку відбувається так зване медіаторне перенесення електронів. До медіаторів, які забезпечують роботу біосенсорів, пред'являються наступні основні вимоги [1]: медіатор повинен швидко реагувати з відновленою формою біорозпізнавального ферменту; гетерогенні реакції за участю медіатора повинні бути оборотні; перенапруження процесу регенерації окисненого медіатора має бути низьким і не залежати від рН; медіатор повинен бути стійким як в окисненій, так і у відновленій формі; відновлений медіатор не повинен реагувати з киснем; медіатор повинен бути нетоксичним.

Адсорбція ферменту на електродах з сажі практично необоротна. Після іммобілізації електрод зберігає каталітичні властивості при відсутності лаккази в розчині. Ферментативна природа електрокаталізу була доведена специфічним інгібуванням електрокаталізу фторид- і азид-іонами, інактивацією ферменту нагріванням, зіставленням рН-залежності електрокаталітичних ефектів і каталітичної активності в реакції окиснення фероціанід-іона киснем. Таким чином, електрохімічний процес, що спостерігається, на електроді з іммобілізованою лакказою визначається реакцією чотириелектронного відновлення кисню до води. Кисневі електроди на основі іммобілізованої лаккази досить стабільні. Прямий електрокаталітичний механізм переносу електронів виявлений і досліджений для лаккази, пероксидази, гідрогенази [4, 6].

Велика група фосфорорганічних сполук виступає в ролі сильних отрут, блокуючи в центральній нервовій системі фермент ацетилхолінестеразу. За аналогічним механізмом діють більшість пестицидів. Були розроблені біосенсори для детекції такого роду сполук з необхідною високою чутливістю. Інгібітор (зарин, зоман, Vx) блокує активність ацетилхолінестерази, зрештою зменшуючи пероксидазний електрокаталітичний струм через поверхню електрода. Чутливість біосенсора доведена до 10^{-12} М нейротоксину. Один з підходів до здійснення переносу електронів між активним центром ферменту і електродом полягає у використанні для іммобілізації ферментів матриць провідникового і напівпровідникового характеру [2].

Великий клас потенційних носіїв при створенні біокаталізаторів складають органічні полімерні напівпровідники. Електропровідність напівпровідникових полімерів може змінюватися в широкому інтервалі (10^{-15} - 10^4 Ом⁻¹·см⁻¹) і наближатися до електропровідності металів. Для іммобілізації ферментів інтерес представляють принаймні два класи органічних напівпровідників.

Полімери з системою сполучених зв'язків, що володіють довгим ланцюгом сполучення. Вони мають порівняно високу електропровідність і являють собою електронно-неоднорідні системи, в яких області поліспряжень, що характеризуються «металевою» провідністю, розділені діелектричними ділянками. Перенесення електронів через діелектричні ділянки визначає загальний бар'єр транспорту електронів. Термічно оброблений поліакрилонітрил є досить добре вивченим полімерним напівпровідником. Електропровідність зразків залежить від температури термічної обробки. Носії були хімічно модифіковані окисненням концентрованою нітратною кислотою (введення нітро- і гідроксигруп), обробкою гідразином і відновленням з утворенням аміногруп. Іммобілізацію ферментів проводили на окиснених зразках термічно обробленого поліакрилонітрила після гідрогенолізу і відновлення з використанням біфункціонального реагенту – глутарового альдегіду. Цікаво відзначити, що між ступенем окиснення термічно обробленого поліакрилонітрила і активністю іммобілізованого ферменту існує певна кореляція: ємність носія до 100 мг білка на 1 г полімеру [3,].

Постановка завдання. Розглянути механізми дії та можливості застосування біосенсорів у хімічному та біохімічному аналізі, як нових аналітичних пристроїв, що використовують біологічні матеріали для детекції молекул речовини у вигляді електричного сигналу.

Викладення матеріалу та результати. Одна з найважливіших проблем, з якою зіткнулися розробники біосенсорів, стосувалася процедури іммобілізації медіатора на електроді, яка, як передбачалося, повинна забезпечити міцне утримання медіатора на поверхні електрода, щоб запобігти вимиванню його в розчин. Пошуки підходів до вирішення цієї проблеми призвели до створення концепції безреагентних амперометричних біосенсорів. В рамках цієї концепції біосенсиори – це система на основі амперометричних ферментних електродів, які генерують сигнал, пропорційний концентрації субстрату і незалежний від змісту медіатора або коферменту [1]. При цьому мається на увазі, що присутність медіатора і коферменту поблизу електрода не виключається. Таким чином, при розробці безреагентних амперометричних біосенсорів медіаторного типу виникає потреба в методах іммобілізації медіаторів, ферментів і коферментів, при яких не утруднюється їх функціонування як ефективних переносників електронів між біокомпонентом і електродом, а також зберігається висока швидкість електронного переносу [2].

Одним з ферментів, які використовуються в біосенсорах безпосередньо в якості біокатализатора або в якості мітки, є пероксидаза хрону. Пероксидаза – один з найбільш поширених ферментів, що міститься в рослинах, мікроорганізмах, тканинах тварин. Цей фермент каталізує окиснення широкого спектру органічних сполук пероксидом водню з утворенням токсичних пероксидів, що віддаляються з живих організмів. Пероксидаза являє собою глікопротеїд, що складається з поліпептидного ланцюга, формує дводоменну глобулу, і гемової простетичної групи з атомом заліза, що розташовується між доменами. Особливістю процесів пероксидазного каталізу є утворення ряду спектрофотометрично помітних комплексів. У реакції пероксидазного окиснення, крім пероксиду водню, як окиснювача (першого субстрату) можуть виступати органічні субстрати – алкілгідропероксиди, пероксибензолні кислоти та ін. По відношенню до другого субстрату пероксидаза виявляє меншу специфічність, тому цілий ряд електронодонорних сполук можуть використовуватись в якості субстратів пероксидази та бути основою детектуючих систем в методах аналітичної біохімії та клінічної медицини [8, 9].

Біосенсиори з іммобілізованою пероксидазою хрону можуть бути використані в першу чергу для визначення субстрату пероксидази – пероксиду водню. Ця задача досить актуальна: існує потреба в аналізах біологічних рідин та інших розчинів для визначення пероксиду водню внаслідок його ключової ролі в різних процесах, що протікають в людському організмі і в навколишньому середовищі.

Є приклади використання нативної пероксидази хрону в прямих безмедіаторних біосенсорах. Показано можливість розвитку процесу прямого електронного переносу на поверхні електродів з графіту, золота і платини з іммобілізованим шаром пероксидази хрону. Описано біосенсиори з пероксидазою хрону, що іммобілізована на графітових електродах, для визначення фенолу і його похідних. Феноксильні радикали, що утворюються при ферментативному окисненні похідних фенолу в присутності пероксиду водню, можуть бути відновлені електрохімічно; струм відновлення пропорційний їх концентрації в розчині. Потенціал, при якому відбувається електрохімічне відновлення феноксильних радикалів, залежить від електронодонорних властивостей замісника в

молекулі похідного фенолу. Висока чутливість методу була досягнута при визначенні 2-аміно-4-хлорофенола ($85 \text{ нА/см}^2 \cdot \text{мкМ}$) і 4-хлор-3-метилфенола ($14 \text{ нА/см}^2 \cdot \text{мкМ}$) [10].

Пероксидазу хрому використовували в амперометричних біосенсорах для визначення загального рівня біогенних амінів, які є нейромедіаторами. Межа виявлення серотоніну склала 17 нг/мл , час відгуку сенсора $0,5 \text{ с}$, при цьому не була потрібна попередня обробка зразків [3].

Важливим напрямком у розвитку ферментативних методів аналізу є використання спряжених реакцій, що каталізуються різними ферментами. Використовуючи спряжені реакції, можна істотно підвищити чутливість аналізу, а також спростити детектування речовини, що визначається. У біосенсорах, заснованих на використанні спряжених систем, на поверхні електродів іммобілізують спільно два різних ферменти; кінцеві продукти реакції визначають електрохімічними методами [10].

Більшість ферментів-оксидаз каталізують окиснення різних речовин з утворенням пероксиду водню. Пряме електрохімічне детектування H_2O_2 часто утруднене через високе значення необхідного потенціалу, яке може привести до окиснення інших сполук, що заважають визначенню пероксиду, наприклад аскорбата. Однак пероксид водню може бути визначений електрохімічно з використанням пероксидази як біокаталізатора для хімічного відновлення H_2O_2 . На основі спряжених поліферментних систем розроблено ряд біосенсорних пристроїв для визначення L-амінокислот, глюкози, лактату, оксалату та інших сполук. Класичним прикладом таких пристроїв є біосенсиори для визначення глюкози. У цих біосенсорах на поверхні електродів спільно іммобілізовані глюкозооксидаза і пероксидаза. Окиснення глюкози супроводжується утворенням пероксиду водню, ферментативне відновлення якого за участю пероксидази детектується електрохімічно. Описане спільне використання цієї біферментної системи, яку наносили на електроди, виготовлені із золотих нанотрубок, модифікованих меркаптоетиламіном. В якості медіатора використовували гідрохінон. Порівняльні визначення глюкози на електродах з ферментами, іммобілізованими у моношарі і на двох шарах нанотрубок, показали переваги електродів, що працюють при накладенні негативного потенціалу ($-0,2 \text{ В}$) [1, 11].

Принцип спільної іммобілізації глюкозооксидази і пероксидази реалізований також в біосенсорах для визначення кількості цукру в грейпфрутовому соку і в білому вині, межа виявлення глюкози $4,37 \text{ мкмоль/дм}^3$. В якості медіатора використовували фероціанід калію [2].

Описано амперометричний біосенсор з електродом, поверхня якого модифікована двома ферментами – холестериноксидазою і пероксидазою, для визначення холестерину. В якості медіатора використовували фероцен [4].

Розроблено спосіб визначення нонілфенолу за допомогою амперометричного біосенсора. На поверхні електродів, отриманих методом трафаретного друку, іммобілізовані специфічні антитіла до нонілфенолу і пероксидази хрому. Принцип визначення заснований на прискоренні окиснення медіаторів пероксидази (метиленовий синій, гідрохінон, йодид калію) у присутності нонілфенолу. Межа виявлення нонілфенолу 10 мкг/л [8].

Висновки та напрямок подальших досліджень. Біосенсиори як нові аналітичні пристрої, що дозволяють отримувати і переробляти експрес-інформацію про хімічний склад тих чи інших об'єктів, знаходяться на початку свого розвитку. Можна очікувати істотного внеску цих біоелектронних пристроїв у підвищення якості медичних аналізів, контролю технологічних процесів, оцінки якості харчових продуктів і навколишнього середовища. В даний час потреба в біосенсорах величезна, оскільки вони не вимагають складного або коштовного обладнання, можуть використовуватися в польових умовах і навіть бути імплантовані в людський організм для безперервного моніторингу різних біологічно активних сполук. Для розширення аналітичних можливостей електрохімічних біосенсорів ведуться роботи з удосконалення методів іммобілізації біокомпоненту на електроді, з мініатюризації сенсорних елементів, щодо збільшення стабільності біочутливих елементів. Основне обмеження використання біосенсорів в галузі медицини та охорони навколишнього середовища пов'язане з необхідністю застосування одного типу сенсора для визначення тільки однієї сполуки. Застосування клітинних біосенсорів досить різноманітні. Створені біосенсиори для селективного визначення фенолів, проліну, глутаміну, тирозину, молочної та аскорбінової кислот, глюкози. Цікаві можливості пов'язані з аналізом сульфат-іона, іону-амонію, монометилсульфата. Унікальні можливості забезпечують клітинні біосенсиори для експрес-аналізу якості води та стічних вод.

Список літератури

1. **Варфоломеев С.Д.** Биосенсоры // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 1. – С. 45-49.
 2. **Ермолаева Т.Н.** Пьезокварцевые биосенсоры для анализа объектов окружающей среды, пищевых продуктов и для клинической диагностики / Т.Н. Ермолаева, Е.Н. Калмыкова // Рос. хим. ж. – 2008. – Т. 52, № 2. – С. 17-29.
 3. **Медянцева Э.П.** Амперометрические L-цистеиндисульфидразные биосенсоры на основе модифицированных графитовых печатных электродов для определения антидепрессантов / Э.П. Медянцева, Д.В. Брусницин // Учен. зап. Казан. ун-та. – 2013. – Т. 115, кн. 2. – С. 51-65.
 4. **Петрухин О.М.** Сенсоры в аналитической химии / О.М. Петрухин, О.О. Максименко // Рос. хим. ж. – 2008. – Т. 52, № 2. – С. 3-6.
 5. **Grieshaber D.** Electrochemical biosensors-Sensor principles and architectures // Sensors. – 2008. – Vol. 8, N 3. – P. 1400-1458.
 6. **Fritz J.** Cantilever biosensors // Analyst. – 2008. – Vol. 133, N 7. – P. 855-863.
 7. **Shao Y.** Graphene based electrochemical sensors and biosensors: a review // Electroanalysis. – 2010. – Vol. 22, N 10. – P. 1027-1036.
 8. **Преснова Г.В.** Электрохимические биосенсоры на основе пероксидазы хрена / Г.В. Преснова, М.Ю. Рубцова // Рос. хим. ж. – 2008. – Т. 52, № 2. – С. 60-65.
 9. **Yogeswaran U.** A review on the electrochemical sensors and biosensors composed of nanowires as sensing material // Sensors. – 2008. – Vol. 8, N 1. – P. 290-313.
 10. **Пономарева О.Н.** Бактериальные биосенсоры для экологического мониторинга углеводородов нефти // Известия Тульского гос. ун-та. – 2010. – Вып. 2. – С. 273-280.
 11. **Wang J.** Electrochemical glucose biosensors // Chemical reviews. – 2008. – Vol. 108, N 2. – P. 814-825.
- Рукопис подано до редакції 16.02.14
УДК 658.011.56

В.А. КОНДРАТЕЦ, канд. техн. наук., проф., А.Н. МАЦУЙ, канд. техн. наук, доц.
Кировоградский национальный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПУЛЬПЫ В УЛИТКОВОМ ПИТАТЕЛЕ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ПЕСКОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ДВУХСПИРАЛЬНОГО КЛАССИФИКАТОРА

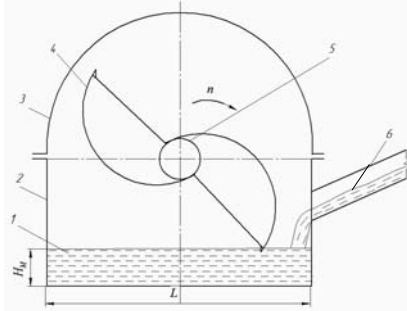
Установлено, что изменение уровня пульпы в приемном устройстве улиткового питателя представляет собой стационарный случайный процесс, интенсивность которого различна по его ширине и возрастает с уменьшением уровня. Длительность участков с неизменным значением уровня пульпы сокращается с его уменьшением. Они не являются строго фиксированными по длине реализации, которая равна 1,56 с.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Две третьих рудного сырья черной металлургии Украины составляют продукты обогащения. Значительная часть из них измельчается в циклах с двухспиральным классификатором, пески которого перерабатывает шаровая мельница, несущая основную нагрузку. Из-за отсутствия средств автоматической стабилизации разжижения пульпы в мельнице, она работает с неполной отдачей, перерасходуя электрическую энергию, шары и футеровку, снижая производительность по готовому продукту. Это не соответствует основным положениям Государственной научно-технической программы «Ресурсосберегающие технологии нового поколения в горнометаллургическом комплексе». Учитывая это, тема статьи, которая посвящена решению задач автоматизации разжижения пульпы в мельницах при измельчении песков механического двухспирального классификатора, является актуальной. Материалы данной публикации получены при выполнении научно-исследовательской темы «Система компьютерной идентификации соотношения твердое/жидкое при измельчении песков классификатора» (государственный регистрационный номер 0107U005470).

Анализ исследований и публикаций. В автоматизацию измельчения руд значительный вклад сделали работы ученых: Азаряна А.А., Барского Л.М., Бунька В.А., Воронова В.А., Гринмана И.Г., Качана Ю.Г., Козина В.З., Кочуры Е.В., Марюты А.Н., Моркуна В.С., Назаренка М.В., Поркуян О.В., Процута В.С., Тихонова О.Н., Тропа А.Е., Хорольского В.П., Ватсона Д., Гилберта Д., Линча Л. и др. Однако их работы в основном посвящены автоматизации мельниц с циркулирующей нагрузкой, которые невозможно адаптировать к условиям измельчения песковой нагрузки. Предложенное средство [1], как было установлено, может забиваться

посторонними предметами, которые попадают в технологический поток. Авторами данной публикации предложен алгоритмический подход идентификации соотношения твердое/жидкое в улитковом питателе [2], который позволяет решить задачу обеспечения необходимого разжижения пульпы в шаровой мельнице, однако это связано с учетом динамики жидкой среды, которую в такой постановке никто не исследовал.

Постановка задания. Целью данной работы является исследование динамики пульпы в улитковом питателе при измельчении песков механического двухспирального классификатора с обоснованием условий идентификации их разжижения.



1 – пульпа, 2 – приемное устройство, 3 – кожух, 4 – улитки, 5 – пустотелый вал, 6 – песковый поток
Рис. 1 Схематическое изображение улиткового питателя

Изложение материала и результаты. Современные улитковые питатели обычно имеют два захватных элемента. Схематическое изображение такого улиткового питателя подано на рис. 1.

В приемном устройстве 2 в установившемся режиме работы накапливается жидкий материал (пульпа) 1 с определенным уровнем H_M . Если бы обороты n мельницы (пустотелого вала 5) были очень маленькими, а пульпа не расслаивалась, то уровень H_M поддерживался бы на определенном неизменном значении, поскольку захватные эле-

менты 4 отбирают за единицу времени столько материала, сколько его поступает с песковым потоком 6. При другом расходе в песковом потоке 6 в приемном устройстве 2 будет новое установившееся значение уровня H_M . Процессы взаимодействия захватных элементов улиткового питателя и пульпы повторяются. Это идеализированный режим работы улиткового питателя. В реальных условиях пустотелый вал 5 присоединен к загрузочному торцу шаровой мельницы и вращается вместе с ней. С другой стороны, скорость движения захватных элементов улиткового питателя должна быть такой, чтобы пульпа 1 в приемном устройстве 2 не расслаивалась. В реальных условиях работы захватные элементы улитки 4 движутся с достаточно большой скоростью. При этом, захватный элемент, входя в пульпу, создает штучную волну, вершины которой имеют тенденцию быть короткими и острыми, а подошвы – длинными и пологими. Еще одной особенностью данной волны есть то, что в ней не создается задняя вершина, а лишь передняя в момент выхода захватного элемента с пульпы. Кривая свободной поверхности такой волны имеет вид дуги окружности радиусом, который равен расстоянию от оси вращения до кромки захватного элемента, которое в современных улитковых питателях составляет 3 м. Непрерывные волны в приемном устройстве не создаются учитывая то, что после выхода из пульпы первого захватного элемента второй в это же мгновение не входит. Таким образом действует только одна волна, которая потом разрушается. Днище приемного устройства существенно влияет на формирование волны. В частности, практически весь объем пульпы, которая находится в проекции ширины захватного элемента, движется вперед вместе с волной. Волна продвигается со скоростью пульпы, которая движется вместе с ней. Это продолжается до мгновения, пока волна не достигнет преграды – стенки, установленной в конце приемного устройства [3].

Известно, что в случае волн, которые движутся непрерывно, вершины перемещаются более быстро, чем подошвы. На мелких участках крутизна переднего склона возрастает, а заднего – уменьшается. Когда вершина волны догоняет подошву, возникает прибой. Передний склон принимает отвесное положение и вершина волны падает к подошве, которая находится спереди. При этом возле переднего склона волны создается воздушный карман. Под действием большой энергии волны он сильно сжимается. Сжатый воздух выбрасывает брызги и частично растворяется в жидкой среде [3]. Учитывая то, что предыдущей волны в улитковом питателе не существует, прибой в нем возникнуть не может. Поэтому при работе улиткового питателя воздух в пульпу практически не попадает. Активное перемещение пульпы способствует поддержанию ее однородного состояния.

Сформированная одиночная волна отражается под прямым углом в приемное устройство с большой энергией, совершая движение в обратном направлении, интенсивно перемешивая материал. Идеальная отраженная волна, как бы на нее не влияли оседающая и набегающая с пескового желоба пульпа, имела бы вид полной волны. В такой волне сформировались бы практически одинаковые две вершины. Однако отраженная волна действует в иных условиях. Из-за это-

го она меняет форму и ее следующие вершины будут проявляться сравнительно слабо. Волновые процессы в приемном устройстве улиткового питателя не отличаются неизменностью уровней.

Длина волны, период колебаний и время ее частичного разрушения зависят от уровня пульпы в приемном устройстве. На входе пескового потока и возле стенки, где отражается создана волна, уровень пульпы за цикл не отвечает его среднему значению. Соответствие среднего значения уровня пульпы осредненному по волновым характеристикам значению может быть достигнуто лишь в центральной части приемного устройства улиткового питателя. На состояние пульпы в приемном устройстве улиткового питателя может значительно влиять и песковый поток.

При любых значениях уровня пульпы в приемном устройстве улиткового питателя результирующие колебания будут представлены низкочастотной составляющей, на которую наложены более высокочастотные колебания. При сравнительно небольших значениях уровня пульпы ее поверхность в приемном устройстве будет изменяться с самой высокой частотой относительно практически горизонтального среднего значения. При средних значениях уровня пульпы высокочастотная составляющая будет иметь период около 0,45 с с увеличенной амплитудой. Она будет изменяться на фоне низкочастотного колебания с периодом 10 с и определенным значением амплитуды. В случае максимальных значений уровня пульпы песковый поток будет иметь период 12,5 с и наибольшее значение амплитуды. Колебания от улиткового питателя будут иметь наибольшую амплитуду при периоде около 0,6 с. Итак, в приемном устройстве улиткового питателя основными есть колебания уровня пульпы, возбуждаемые захватными элементами. Они осуществляются на фоне среднего значения уровня пульпы или с его плавным увеличением и спадами, которые зависят от амплитуды и периода колебаний результирующего пескового потока.

Выполненные теоретические исследования позволяют сделать представление о движении пульпы в приемном устройстве, однако окончательные выводы сделать невозможно из-за отсутствия строгого математического описания процесса. Ввиду этого дополнительно проводились экспериментальные исследования. Такой эксперимент по ряду причин в промышленных условиях провести невозможно, поэтому его осуществляли на физической модели улиткового питателя.

Физическая модель улиткового питателя показана на рис. 2.



Рис. 2 Физическая модель улиткового питателя без кожуха (а) и в плане относительно улитки (б)
 1 – емкость с жидкостью; 2 – средства регулирования расхода жидкости; 3 – песковый желоб; 4 – приемное устройство; 5 – прозрачная стенка со шкалой; 6 – жидкость; 7 – улитка с двумя захватными элементами; 8 – ось вращения улитки; 9 – шариковый подшипник; 10 – электродвигатель; 11 –

Она является полной копией промышленного агрегата – имеет базовый размер $L=300$ мм, осуществляет 0,275 об/с, максимальное значение уровня жидкости – 25 мм (500 мм). Физическая модель отображает основные функциональные элементы улиткового питателя в соответствии с чертежами с уменьшением в 20 раз. Для обеспечения установившегося потока жидкости физическая модель дополнялась резервуаром с несколькими источниками неизменного расхода, которые возможно включать в различных сочетаниях. Жидкость, поданная питателем, направлялась в отдельный сборник. Передняя стенка приемного устройства выполнена с прозрачного материала. На ней нанесена миллиметровая шкала, которая позволяет точно фиксировать значения уровня. В качестве жидкой среды использована вода, которая подкрашивается

акварельной краской. Учитывая, что волновой процесс в улитковом питателе имеет достаточно сложный характер, исследования осуществлялись с помощью цифровой видеокамеры Panasonic NV-GS230. Она в каждое мгновение фиксировала значения уровня жидкости по всей ширине приемного устройства. Съемка волнового процесса осуществлялась непрерывно, а после информация переносилась в персональный компьютер с последующей обработкой материала. В процессе обработки можно было наблюдать волновой процесс в динамике, а также фиксировать в статике любое его мгновенное положение.

На первом этапе экспериментальных исследований установлено, что при работе улиткового питателя уровень жидкости в приемном устройстве интенсивно меняется. Наибольшие изменения уровня осуществляются возле стенки приемного устройства по ходу перемещения захватного элемента, а наименьшие – на входе потока. Осредненными свойствами владеет средняя зона улиткового питателя левее и правее от его оси, которая отвечала на физической модели ± 40 мм. Исследования показали, что более интенсивные изменения происходят в левой ее части, т.е. в направлении движения захватного элемента.

При выходе захватного элемента с жидкости она сильно возмущается. Возмущения тем большие, чем меньше среднее значение уровня. После возмущения при выходе захватного элемента с жидкой среды пульпа совершает движения в режиме свободных колебаний. При вхождении следующего захватного элемента в жидкость она еще находится в возмущенном состоянии. Возмущенное состояние проявляется больше при малых начальных средних уровнях жидкости. Интенсивность этих колебаний не одинакова по ширине приемного устройства.

В целом движения имеют случайный характер, однако они отличаются закономерностью, которая вызвана периодичностью взаимодействия захватного элемента с жидкостью. Эта закономерность обеспечивает стационарность случайному процессу.

Идентифицировать состояние жидкого материала возможно по одному, двум, системно спланированной сети показаний уровня, каждое из которых будет случайным процессом, владеющим стационарностью. Учитывая то, что интенсивность изменения уровня жидкости левее и правее от вертикали, которая проходит через ось вращения пустотелого вала, разна, проводились исследования случайного процесса изменения уровня в точках, которые отвечают середине приемного устройства улиткового питателя, левее и правее от нее на 40 мм. В процессе исследований установлено, что случайные процессы отличаются однородностью. Левее от середины приемного устройства случайные процессы отличаются наибольшей интенсивностью. Посередине улиткового питателя интенсивность изменения уровня несколько уменьшается. Правее от середины приемного устройства изменения уровня жидкости значительно меньше сравнительно с другими точками контроля. Кроме того, с данных исследований видно, что интенсивность случайного процесса зависит не только от точки контроля, а и от начального установившегося значения уровня пульпы. При уменьшении установившегося значения уровня жидкости интенсивность случайных процессов возрастает.

С результатов выполненных исследований вытекает, что параметры жидкости наиболее просто было бы контролировать правее от средней точки приемного устройства улиткового питателя. Здесь много значений случайного процесса отвечают математическому ожиданию – установившемуся среднему значению уровня жидкости.

Однако при меньших значениях уровня жидкости случайный процесс по характеру совпадает с другими.

Это означает, что при контроле правее средней точки приемного устройства улиткового питателя, выделенные преимущества касаются только больших значений уровня жидкости.

Учитывая это, при контроле параметров жидкости в приемном устройстве улиткового питателя целесообразно избрать его среднюю точку, где случайный процесс имеет среднюю интенсивность и наиболее полно характеризует состояние жидкой среды.

При двух захватных элементах полный цикл изменения состояния жидкости осуществляется за поворот.

Поэтому рассматривались реализации случайного процесса в пределах времени, отвечающему половине оборота улиткового питателя.

Такой отрезок времени составлял в экспериментах $0 \dots 1,56$ с.

Реализации случайных процессов изменения уровня пульпы в середине приемного устройства длительностью 1,56 с при принятых установившихся значениях показателя приведены на рис.3.

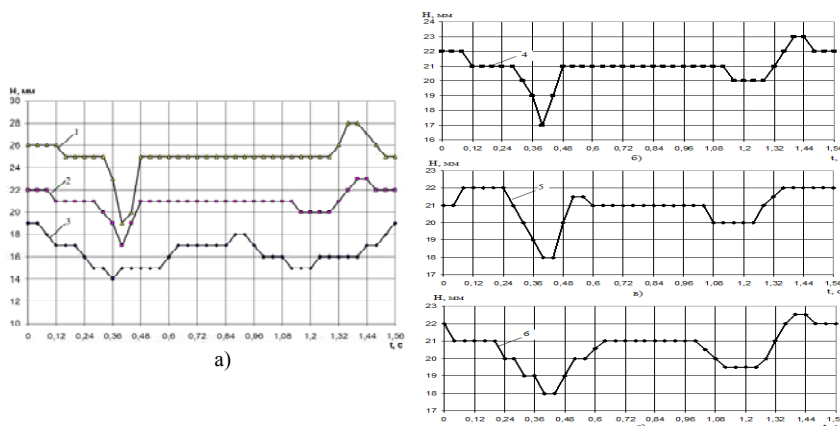


Рис.3 Реализации случайных процессов изменения уровня жидкости в приемном устройстве по оси вращения улиткового питателя за половину

длительности этих участков сокращаются. Если установившиеся значения уровня 17 мм и меньше, такие участки становятся более короткими, составляя 0,04...0,2 с. Участки неизменного значения уровня жидкости (рис.3, б-г) не являются строго фиксированными по длине реализации, особенно это актуально для небольших уровней пульпы.

Выводы и направления дальнейших исследований. Изменения уровня пульпы в приемном устройстве улиткового питателя является стационарным случайным процессом, который отличается интенсивностью в различных точках по ширине технологического агрегата.

Интенсивность случайного процесса возрастает при снижении установившегося уровня пульпы.

Параметры технологического процесса наиболее целесообразно контролировать в средней точке по ширине приемного устройства.

Полную информацию об изменении параметров жидкости в приемном устройстве несет реализация, которая отвечает половине оборота улиткового питателя. Случайный процесс имеет участки неизменных значений уровня пульпы, которые пригодны для идентификации соотношения твердое/жидкое.

Длительности таких участков сокращаются с уменьшением установившегося значения уровня пульпы. Кроме того, участки неизменных значений уровня не являются строго фиксированными по длине реализации, что необходимо учитывать при идентификации разжижения пульпы.

Проведенные исследования открывают перспективу обоснования способа поиска точки с неизменным значением уровня пульпы на реализации случайного процесса и выбора типа преобразователей, а также разработки средств идентификации технологических параметров непосредственно в приемном устройстве улиткового питателя.

Список литературы

1. А.с. 388790 СССР, МКИ В 03 В 11/00. Устройство для автоматического контроля загрузки и стабилизации разжижения пульпы в мельнице / **Ф.Н. Дегтярев, А.А. Мерзляков, В.А. Кондратец, В.И. Новохатько, Н.И. Кучма, Т.И. Гуленко** (СССР). – 1420849/29-33; заявл. 30.03.70; опубл. 05.07.73, Бюл. № 29.
2. Декларационный пат. 7741 Украина, МКВ 7 В 03 В 11/00. Спосіб автоматичного контролю розрідження пульпи в млинах, що подрібнюють піски механічних класифікаторів / **Кондратець В.О., Мацуй А.М.**; заявник та патентовласник Кіровоград. нац. техн. ун-т. - №20041007979; заявл. 01.10.2004; опубл. 15.07.2005, Бюл.№7.
3. **Триккер Р.** Бор, прибой, волнения и корабельные волны / **Триккер Р.**; пер. с англ. Г.Е. Левитиной; под ред. К.Д. Тиرون.- Л.: Гидрометеорологическое изд., 1969.- 287 с.

С реализаций случайных процессов (рис.3, а) видно, что интенсивность изменения уровня пульпы зависит от установившихся его значений.

При наибольшем значении уровня жидкости (зависимость 1) значительные участки процесса соответствуют установившемуся значению.

При уменьшении уровня (кривые 2 и 3)

А.А. ЖОСАН¹, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет
jaa2301@inbox.ru

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ДУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Выполнен анализ состояния проблем синтеза моделей динамических объектов управления, параметры и структура которых неизвестны. Приведен пример очень простой модели прогноза состояния динамического объекта в виде "черного ящика", параметры которого недоступны для измерения. Получен практически точный прогноз состояния динамических объектов как устойчивых так и не устойчивых.

Ключевые слова: непараметрическая модель, дуальная модель, расширенная матрица, устойчивость, динамический хаос, фрактальная структура, интервал дискретности, черный ящик.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Данная работа посвящена анализу и численной реализации дуальной непараметрической модели динамического объекта, алгоритм которой приведен в работе [1]. Анализ показывает, что методы классической теории управления динамическими объектами практически полностью построены на предположении о линейности и стационарности динамических процессов как объектов управления. Основные методы исследования таких объектов: линейная алгебра, преобразование Лапласа и Фурье, корреляционный анализ, частотные методы. Однако на практике предположение о линейности объектов не всегда оправдано. Как выход из положения применяют метод линеаризации для получения модели, порядок которой выбирается иногда интуитивно или на основе предыдущего опыта. Такой подход вполне обоснован, но полученные модели с определенной точностью могут быть использованы в ограниченной области положения объекта управления. Статистический подход, строго говоря, является линейным аппаратом, к тому же требующим подчас огромного количества данных, что приводит к известной проблеме "устаревания данных".

В этом отношении интересны высказывания таких ученых как Р. Калман, Л.С., А.Н. Колмогоров, Л.С. Понтрягин, приведенные в работе [2]. Кроме того, даже формально линейные объекты часто не стационарны и описываются линейными дифференциальными уравнениями с переменными параметрами, закон изменения которых установить проблематично. Еще сложнее проблема определения модели нелинейных нестационарных объектов.

Нелинейные характеристики часто изменяются уже в процессе их экспериментального определения. В качестве примера можно привести процессы дезинтеграции рудного материала как объектов управления. Неучет нестационарности нелинейных характеристик часто приводит к вынужденному простою или преднамеренному снижению его производительности.

При классическом подходе обычно определяют параметры модели объекта управления и их численные значения приравнивают к параметрам регуляторов. Такой подход при получении моделей называют параметрическим. К недостаткам такого подхода следует отнести: неправомерность приравнивания параметров модели и регулятора (постоянная времени объекта, например в приводе на прокатном стане, а равная ей константа в регуляторе – это число в ячейке памяти компьютера). Проблема еще в том, что полученную модель применяют во всей области допустимых состояний объекта, в то время как она получена на ограниченном его подмножестве.

Проблемы синтеза моделей динамических объектов управления не были бы столь существенными, если бы была возможность получения адекватной модели динамического процесса на основе знания физических законов. Попытки создания таких моделей часто наталкиваются на необходимость учета очень сложного взаимодействия различных факторов, в том числе распределенных во времени и пространстве, что приводит к известному "проклятию размерности". [3]. Задача синтеза регулятора осложняется недоступностью измерения возмущений (например, износа футеровки мельницы). К тому же практически полная неопределенность выбора класса математических объектов для аппроксимации вектора скорости процесса, неопределенность порядка объекта управления. По этой причине часто в качестве компонент вектора скорости испытывают функции, принадлежащие к классу полиномов, главным образом потому только,

¹ © Жосан А.А., 2014

что они позволяют просто выполнять математические операции над ними и оценивать минимальную степень полинома.

До настоящего времени встречается немало работ, в которых "шлифуются" методы классической теории, основанные на предположении о линейности объектов управления и вере в возможность получения глобальной модели, на ограниченном множестве данных измерений состояния. Об этом весьма убедительно сказано в работе [2]. Остается практически не замеченным тот факт, что специалистам в области синтеза регуляторов приходится вникать в природу объекта управления. Метод уравнений Лагранжа II рода, хотя и имеет общий характер, но по существу не избавляет от указанной необходимости.

Осознание этого факта привело к развитию в последние десятилетия новых технологий управления динамическими объектами, не требующих знания природы объекта управления. Эти направления основаны на восприятии объекта управления как "черного ящика" с использованием измеренных входных и выходных данных, которые являются единственным источником доступных знаний об объекте, включая его собственное поведение и внешние возмущения, которые могут быть редуцированы к структуре объекта управления.

Одно из таких направлений – это дуальный подход [4], а также непараметрические методы, позволяющие получить модели объектов, находящихся под воздействием непараметрических возмущений. Особенно необходимо подчеркнуть роль методов нелинейной динамики, основу которой заложили Пуанкаре Жюль Анри, Ляпунов А.М., Колмогоров А.Н. и тот интерес, который был стимулирован работами Лоренца Э.Н. [5]. Появились новые представления о поведении динамических систем с их аттракторами, детерминированным хаосом, фрактальной структурой поведения [6]. Дуальный подход, непараметрические методы, теория нелинейных динамических систем, в будущем, несомненно, образуют новую парадигму в области описания и управления динамическими объектами различной природы.

В связи с этим возникли проблемы разработки новых методов синтеза регуляторов, не предполагающих знание наперед порядка объекта управления и его параметров.

Анализ исследований и публикаций. В решение перечисленных ранее проблем внесли вклад ряд ученых. В частности в развитие методов дуального управления кроме Фельдбаума [3], можно отметить работы [6-13]. Особое место занимает теорема Такенса Ф. [14] и ее развития. Кроме того, ряд вопросов нелинейной динамики развиваются в работах [15-22].

Непараметрические методы близко примыкают к дуальным методам (некоторые их практически не различают). К работам в этом направлении следует отнести [2,7,9], которые могут служить хорошим источником для популяризации на высоком уровне современных концепций теории динамических объектов. В них также приведены обширные ссылки на литературные источники.

Однако, ряд вопросов, одним из которых является приближение методов дуального управления к решению практических задач, упрощению алгоритмов управления требуют дальнейшего развития.

Постановка задачи. Актуальной проблемой является разработка новых методов получения моделей динамических моделей с неизвестными параметрами и структурой без специальных тестирующих воздействий. К ним относятся дуальные и близкие к ним непараметрические методы.

В работе поставлена задача показать пример дуальной непараметрической модели, и ее возможности прогноза переходного процесса в нелинейном динамическом объекте, параметры которого неизвестны и изменяются таким образом, что устойчивое и неустойчивое поведение может сменяться непредсказуемым образом.

Специально выбран простейший пример с целью привлечь внимание исследователей к новым технологиям аналитической динамики.

Достаточно квалифицированный исследователь, надеюсь, согласится, что ПИ и ПИД технологии уступают предложенным к рассмотрению, а нейротехнологии значительно сложнее.

Изложение материала и результаты. Рассмотрим динамический объект первого порядка дифференциальное, уравнение которого имеет вид

$$\frac{dx(t)}{dt} = -a(x(t), t) \cdot x(t) + b(x(t), t) \cdot U(t),$$

где $U(t)$ - входное воздействие на объект; $x(t)$ - измеренная выходная реакция объекта; $a(x(t), t)$ и $b(x(t), t)$ - нелинейные коэффициенты, недоступные для измерения.

Далее аргументы коэффициентов будем опускать. При заданном интервале дискретности Δt разностная модель объекта, полученная методом Эйлера, имеет вид

$$x[n+1] = (1 - a \cdot \Delta t) \cdot x[n] + b \cdot U[n] \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где n - номер интервала дискретности; $U[n]$ - управляющее воздействие; $x[n+1]$ - дискретная выходная функция $[n+1]$ -м интервале.

Решение (1) устойчиво, если $|(1-a \cdot \Delta t)| < 1$. Так как недоступный для измерения коэффициент a изменяется произвольно, то при различных значениях $x[n]$ это условие не обязательно выполняется.

Единственная информация, которой можно располагать, это измеренные значения входа $U[*]$ и выхода $x[*]$, которые представляют собой ряд $U[n], x[n+1], U[n-1], x[n], U[n-2], x[n-1], U[n-3], x[n-2], \dots, U[n-j], x[n-j+1], \dots$

Из этого ряда сформируем расширенную матрицу

$$\begin{array}{ccc} x[n] & x[n-1] & U[n] \\ x[n-1] & x[n-2] & U[n-2] \end{array} \quad (2)$$

Квадратная часть расширенной матрицы (2) состоит из измеренных выходных значений, вектор-столбец – из измеренных входных значений.

В работе [1] предложен алгоритм обработки такой матрицы, состоящий из стандартных приемов обнуления отдельных элементов и приведения строк к определенному виду.

Процесс первоначального заполнения и дальнейшей обработки матрицы разбивается на три этапа.

На первом из них на вход подается серия из двух управляющих воздействий (начальное условие равно $x[n-2]$), формируется расширенная матрица (2).

На втором этапе матрица выходов приводится к треугольному виду, используя любую процедуру, например процедуру Гаусса. Первая строка остается неизменной. Получаем

$$\begin{array}{ccc} x[n] & x[n-1] & U[n-1] \\ 0 & x'[n-2] & U'[n-2] \end{array} \quad (2)$$

На третьем этапе автором предложено задавать строку состояния объекта на будущем интервале

$$x[n+1] \quad x[n] \quad U[n] \quad (3)$$

Здесь $x[n+1]$ - значение выхода на будущем интервале, $x[n]$ - прошлое значение выхода; $U[n]$ - управление, необходимое для обеспечения $x[n+1]$.

Для определения зависимости между $x[n+1]$ и $U[n]$ приведем расширенную матрицу (2) к строке (3).

Для этого первую строку (2) умножим на $x[n+1]/x[n]$.

Получим новую расширенную матрицу вида

$$\begin{array}{ccc} x[n+1] & x''[n-1] & U''[n-1] \\ 0 & x'[n-2] & U'[n-2] \end{array}$$

Умножим вторую строку полученной расширенной матрицы на $(x''[n]-x[n])/x'([n-2])$ и отнимем ее из первого. В итоге получим первую строку

$$x[n+1] \quad x[n] \quad U'''[n-1].$$

Последний элемент этой строки и есть управление, необходимое для получения заданного $x[n+1]$.

Представленный алгоритм работы регулятора имеет свойство обратимости.

Так, если в (2) крайние столбцы поменять местами, то по известному значению $U[n]$ можно без какой-либо модификации алгоритма получить значение исходной величины $x[n+1]$. Это свойство алгоритма позволяет использовать его как для вычисления управления, так и для прогнозирования исходной величины.

Замещение элементов матрицы (2) на каждом интервале дискретности новыми значениями позволяет практически непрерывно учитывать изменение параметров объекта, если они изменяются во времени или нелинейны.

После указанных преобразований для прогноза $x[n+1]$ получено выражение

$$x[n+1] = \frac{(x[n-1] \cdot U[n-1] - x[n] \cdot U[n-2]) \cdot (x[n-1] \cdot U[n] - x[n] \cdot U[n-1])}{(x[n-2] \cdot x[n-1] - U[n-2] \cdot x[n]) \cdot U[n-2]}$$

Результаты численных испытаний прогноза приведены ниже.

На рис. 1 показан результат прогноза состояния объекта управления с постоянными коэффициентами. При этом в соответствии с (2) $a=-2=\text{const}$, $\Delta t=0,05$ корень характеристического полинома $Z=1-a \cdot \Delta t$.

Объект неустойчив. Входное воздействие изменяется по закону. $U=2 \cdot \sin(10 \cdot n \cdot \Delta t)$. Первые два интервала – время обучения.

Как видно, прогноз состояния объекта происходит практически без ошибок.

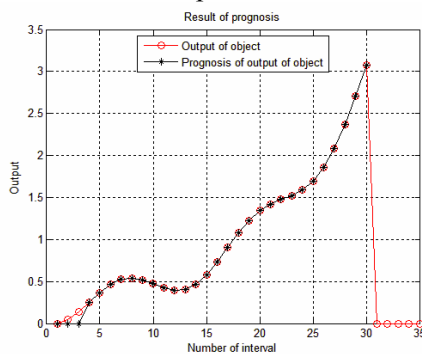


Рис. 1. Прогноз состояния неустойчивого объекта с постоянными коэффициентами, недоступными измерению. Обозначения: о – маркер выхода объекта, * - маркер выхода модели прогноза

На рис. 2 показан процесс в объекте с переменным параметром $a=20 \cdot \cos(10 \cdot n \cdot \Delta t)$, $\Delta t=0.01$ Корень полинома (2) $Z=1-a \cdot \Delta t$ изменяется в диапазоне $[0.8, 1.2]$.

Эксперимент был усложнен подачей на вход недоступного для измерения равномерно распределенного случайного сигнала, изменяющегося в диапазоне $[-5, +5]$.

Первые два интервала – время обучения.

Устойчивое состояние объекта сменяется неустойчивым.

Скорость роста выхода может достигать порядка 1.2^n . Тем не менее, могут быть получены вполне удовлетворительные результаты.

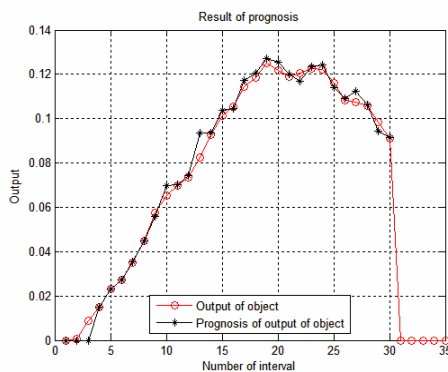


Рис. 2. Прогноз состояния неустойчивого объекта с двумя коэффициентами, недоступными измерению. Коэффициент переменными коэффициентом, коэффициент $a=var$. Обозначения: о – маркер выхода объекта, * - маркер выхода модели прогноза.

Выводы и направление дальнейших исследований. Преимуществом дуальной непараметрической модели динамического объекта является простота алгоритма реализации, высокий уровень нечувствительности к изменениям параметров, возможность на их основе создавать регуляторы, способные в определенной степени управлять неустойчивыми состояниями без каких-либо изменений алгоритма работы,

измерения параметров объекта, знания физических законов функционирования.

Предложенный подход требует дальнейшего обобщения на объекты более высокого порядка, возможности изменения интервала дискретности, получения других вариантов синтеза модели.

Список литературы

1. **Жосан А.А.** Концепція моделі динамічного об'єкта керування як потоку вхідних і вихідних даних. Вісник Криворізького технічного університету. випуск 22, Кривий Ріг, 2008 (жовтень), С. 154-157.
2. **Медведев А.В.** О теории непараметрических систем управления. *Вестник Томского Государственного университета. Управление, Вычислительная Техника И Информатика*, Выпуск № 1 (22) / 2013. С. 6-19. Научная библиотека КиберЛенинка. <http://cyberleninka.ru/article/n/o-teorii-neparametricheskikh-sistem-upravleniya>.
3. **Kantz H., Schreiber T.** Nonlinear time series analysis. Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
4. **Fel'dbaum, A.** 'Dual control theory I-IV', *Automat. Remote Control*, **21**, 874-880, 1033-1039 (1960); **22**, 1-12, 109-121 (1961).
5. <http://www.keldysh.ru/comma/html/ds/loren.htm>.

6. Герасина А.В. Структурно-параметрическая идентификация процессов дробления и измельчения руд: монография / А.В. Герасина, В.И. Корниенко. -Д: Национальный горный университет, 2013. - 101 с.
 7. Безручко Б.П., Смирнов Д.А. Математическое моделирование и хаотические временные ряды. Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 2005. 320 с. ISBN 5-94409-045-6.
 8. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах. М.: Наука, 1968. 320 с.
 9. Медведев А.В. Непараметрические системы адаптации. Новосибирск: Наука, 1983. 174 с.
 10. Куликовский Р. Оптимальные и адаптивные процессы в системах автоматического регулирования. М.: Наука, 1967. 397 с.
 11. Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.Е. и др. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах. Москва - Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003.
 12. Малинецкий Г. Г. , Потапов А. Б. Современные проблемы нелинейной динамики. М.: Эдиториал УРСС, 2000. 336 с.
 13. Anishchenko V.S., Pavlov A.N. Global reconstruction in application to multichannel communication // Phys.Rev. E. 1998. V. 57. P. 2455-2457.
 14. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence // Lec. Notes in Math., 1981.V. 898. P. 366-381.
 15. Wittenmark, B., 'An active suboptimal dual controller for systems with stochastic parameters', Automat. Control Theory Appl., 3,13-19 (1975).
 16. Wittenmark, B. and C. Elevitch, 'An adaptive control algorithm with dual features', 7th IFAC/IFORS Symp. on Identification and Systems Parameter Estimation, York, U.K., 1985, pp. 587-592.
 17. Filatov, N. and H. Unbehauen, 'Adaptive predictive control policy for nonlinear stochastic systems', IEEE Trans. Automat. Control, 40, 1943-1949 (1995).
 18. Калман Р.Е. Идентификация систем с шумами // Успехи математических наук. 1985. Т. 40. № 4. 244 с.
 19. Lindof, B. and J. Holst, 'Suboptimal dual control of stochastic systems with time-varying parameters', Technical report TFMS-3152, Department of Mathematical Statistics, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, 1997.
 20. Maitelli, A. and T. Yoneyama, 'A two-stage dual suboptimal controller for stochastic systems using approximate moments', Automatica, 30, 1949-1954 (1994).
 21. Filatov, N., H. Unbehauen and U. Keuchel, 'Dual pole placement controller with direct adaptation', Automatica, 33, 113-117 (1997).
 22. Chaos and Its Reconstructions / Eds. G. Gouesbet, S. Meunier-Guttin-Cluzel, O. Menard. Nova Science Publishers, New York, 2003.
- Рукопись поступила в редакцию 17.02.14

УДК 662.749:067.5

В.П. ЛЯЛЮК, д-р техн. наук, проф., В.П. СОКОЛОВА, канд. техн. наук, доц.,
 Е.О. ШМЕЛЬЦЕР, ст. преподаватель, Криворожский национальный университет”
 Д.Ю. ТИМОФЕЕВА, В.В. БЕРЕЗА, ЦЛУП КХП ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОГНОЗА КАЧЕСТВА ДОМЕННОГО КОКСА НА ОСНОВЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЗОЛЫ УГОЛЬНОЙ ШИХТЫ

Проанализированы различные математические модели прогноза реакционной способности (CRI) и послереакционной прочности кокса (CSR), в том числе с использованием генетических особенностей углей, химического состава их минеральной части. Предложены уравнения для расчета прогнозных показателей CSR и CRI на основе индекса основности золы шихты.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Как известно, эффективность работы доменных печей определяется качеством металлургического кокса, в том числе его прочностью в холодном состоянии - индексами M_{25} и M_{10} . Однако отечественная и мировая практика приводит к выводу, что индексы дробимости M_{25} и истираемости M_{10} не в полной мере характеризуют свойства кокса и его поведение в процессе доменной плавки, то есть в условиях высоких температур и в среде окислителей. Эффективность функций кокса в доменном процессе в значительной степени зависит от реакционной способности кокса. Реакционная способность кокса влияет на ход доменной плавки, особенно на профиль распределения температур и газовых потоков в печи, а как следствие, на степень использования газа и удельный расход восстановителя. Кроме того, она влияет на прочность коксовой насадки в горновой зоне печи, так как газификация кокса сопровождается ослаблением его структуры. Таким образом, реакционную спо-

способность и горячую прочность кокса следует рассматривать как взаимосвязанные свойства кокса [1].

Реакционная способность кокса (CRI) и прочность кокса после реакции (CSR), измеряемые по методу японской компании «Nippon Steel Corporation», являются наиболее популярными показателями качества кокса во всем мире. Невзирая на широко распространенную популярность, существуют известные проблемы, связанные с воспроизводимостью измерений CSR, а также с продолжительностью испытания (до 5 ч). Поэтому целесообразно использовать математические модели прогноза качества кокса, в том числе по показателям CRI и CSR.

Анализ исследований и публикаций. Результаты многочисленных испытаний показывают, что на формирование структуры кокса, прочность которой оценивается термохимикомеханическим испытанием и выражается показателем CSR, основное влияние оказывают: генетические особенности углей, выраженные петрографическими показателями и показателями пластических свойств органической массы угля; химический состав минеральной части, в первую очередь наличие соединений железа и серы; насыпная плотность коксующей угольной загрузки; технологические параметры коксования (время коксования и скорость подъема температуры); технология тушения кокса [2]. Поэтому предложены многочисленные математические модели прогноза качества кокса, в том числе по показателям CRI и CSR на основе химико-петрографических показателей угольной шихты, технологии ее подготовки, коксования и способа тушения кокса [1-5].

Так, в работе [2] применительно к условиям ЗСМК были получены регрессионные уравнения зависимости показателей CSR и CRI от генетических факторов: показателя отражения витринита, содержания эквивалентных спекающих компонентов, петрографической неоднородности углей, оцениваемой через среднеквадратическую разницу в содержании спекающих компонентов углей в шихте, и технологических факторов: периода коксования и доли кокса сухого тушения.

Набор генетических параметров, характеризующих сложную смесь кузнецких углей, в работе [3] был расширен.

При статистической обработке и анализе показателей реакционной и механической прочности были использованы: показатель отражения витринита R_o , содержание эквивалентных и спекающих компонентов $СК_3$, показатель окисленности Π_o , и степень неоднородности углей в шихте по стадиям метаморфизма и петрографическому составу, выраженные через среднеквадратическую разницу в показателе отражения витринита шихты S_r и содержании спекающих компонентов $СК$ углей шихты $S_{ск}$. Кроме того, учтены такие параметры качества шихты как зольность, влажность и окисленность углей. Диапазон колебаний петрографических параметров шихты, использованных при статистической обработке, был достаточно широким: $R_o = 0,91-1,16\%$; $СК_3 = 48-67\%$; $\Pi_o = 1,00-1,24\%$; $S_r = 0,14-0,33\%$; $S_{ск} = 14-32\%$. Учли также влияние периода коксования шихты (в пределах 14-30 ч) и способа тушения кокса (выражено через долю сухого тушения в пределах 49-100 %). При этом получили математические модели (уравнения 1 и 2), адекватно отражающие зависимость параметров CSR и CRI от химико-петрографических показателей угольных шихт и условий их коксования

$$CSR = -217,228 + 428,946 \cdot R_j + 1,663 \cdot СК_{ej} - 19,616 \cdot \Pi_{oj} - 222,471 \cdot S_{rj} - 0,117 \cdot S_{скj} - 0,413 \cdot W_{ij}^r - 0,227 \cdot A_j^d + 0,911 \cdot ПК + 0,107 \cdot СТ - 155,941 \cdot R_j^2 - 2,138 \cdot СК_{ej}^2 \cdot 10^{-2} - 1,073 \cdot S_{скj}^2 \cdot 10^{-2} - 1,048 \cdot ПК \cdot 10^{-2} - 0,982 \cdot R_j \cdot ПК + 1,310 \cdot СК_{ej}^2 \cdot S_{rj} \quad (1)$$

$$CRI = 407,186 - 584,794 \cdot R_j - 2,261 \cdot СК_{ej} + 12,286 \cdot \Pi_{oj} + 244,847 \cdot S_{rj} + 0,475 \cdot S_{скj} + 0,374 \cdot W_{ij}^r + 0,246 \cdot A_j^d - 1,518 \cdot ПК - 0,114 \cdot СТ + 244,847 \cdot R_j^2 + 2,284 \cdot СК_{ej}^2 \cdot ПК \cdot 10^{-2} + 0,823 \cdot ПК^2 \cdot 10^{-2} + 0,986 \cdot R_j \cdot ПК - 3,180 \cdot СК_{ej} \cdot S_{rj}, \quad (2)$$

где R_j , $СК_{ej}$, Π_{oj} , S_{rj} , $S_{скj}$, W_{ij}^r , A_j^d – параметры качества шихты; соответственно: показатели отражения витринита, содержание эквивалентных спекающих компонентов, показных окисленности, показатель неоднородности углей в смеси по степени метаморфизма и петрографическому составу; влажность и зольность; ПК – период коксования шихты, ч; СТ – доля кокса сухого тушения, %.

Разработанные модели позволяют подбирать оптимальную угольную шихту для получения кокса заданного качества по параметрам CSR и CRI из имеющегося угольного сырья с учетом технологических параметров коксования.

Дальнейшее развитие рассмотренные модели получили в работе [4], где было предложено использовать при прогнозе качества кокса индекс коксующести углей K_y , определяемый на основе показателя отражения витринита, степени восстановленности и окисленности с учетом содержания спекающих компонентов в шихте. Из технологических факторов в модели прогноза показателей CSR и CRI предложено учитывать влияние на них условий подготовки шихты, периода коксования и способа тушения кокса, которые уже раньше учитывались в разработанных моделях. После математической обработки данных промышленного коксования шихт в условиях ОАО НТМК, получены уравнения

$$\begin{aligned} \text{CSR} = & 100,047 - 68,263 \cdot K_y - 1,465 \cdot \text{CK}_3 - 0,434 \cdot S_{\text{CK}} - 0,253 \cdot W_t^r - 0,465 A_j^d - \\ & - 5,581 \cdot S_t^d - 27,978 \cdot \Pi_k + 0,145 \cdot C_T + 88,383 \cdot K_y^2 + 1,094 \cdot \text{CK}_3^2 \cdot 10^{-2} - 1,444 \cdot \Pi_k^2 \cdot 10^2 + \\ & + 4,217 \cdot V^d \cdot \Pi_k \cdot 10^{-2} - 0,157 \cdot K_y^2 \cdot C_T + 6,342 \cdot K_T \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{CRI} = & -108,202 + 326,276 \cdot K_y - 0,118 \cdot \text{CK}_3 + 0,417 \cdot S_{\text{CK}} + 0,229 \cdot W_t^r + 0,427 A_j^d + \\ & + 5,145 \cdot S_t^d + 12,072 \cdot \Pi_0 - 0,096 \cdot C_T - 192,998 \cdot K_y^2 + 0,165 \cdot \text{CK}_3^2 \cdot 10^{-2} + 1,283 \cdot \Pi_k^2 \cdot 10^{-2} - \\ & - 2,967 \cdot V^d \cdot \Pi_k \cdot 10^{-2} + 0,537 \cdot K_y^2 \cdot C_T \cdot 10^{-1} - 3,723 \cdot K_T, \end{aligned} \quad (4)$$

где $K_y, \text{CK}_3, S_{\text{CK}}, V^d, W_t^r, A_j^d, S_t^d, \Pi_0$ - параметры качества шихты; соответственно: индекс коксующести, содержание эквивалентных спекающих компонентов, показатель неоднородности угля в смеси по петрографическому составу, выход летучих веществ, влажность, зольность, сернистость и окисленность; Π_k - период коксования шихты, ч; C_T - доля кокса сухого тушения, %; K_T - коэффициент, учитывающий технологию подготовки шихты (режим работы установки пневмомеханической сепарации).

На коксохимическом производстве Новолипецкого металлургического комбината в результате обработки данных промышленных коксований получены уравнения по горячей прочности и реакционной способности, где в качестве факторов использованы соответственно: критерий метаморфизма - отражательная способность витринита R_0 ; критерий дилатации - индекс вспучивания I_B ; зольность кокса A_k^d ; петрографическая неоднородность - сумма отошающих компонентов (ΣOK) и расчетный коэффициент основности золы шихты ($K_{\text{осн}}^{\text{ЗШ}}$), определяемый как покомпонентный аддитивный показатель. Для коксовых батарей №2-4 корреляционные уравнения имеют вид

$$\text{CSR} = 85,1 + 0,19 I_B - 4,59 A_k^d + 96,54 R_0 - 1,79 \Sigma\text{OK} - 279,1 K_{\text{осн}}^{\text{ЗШ}} \quad (5)$$

$$\text{CRI} = 28,7 - 0,17 I_B + 1,25 A_k^d - 34,7 R_0 + 0,64 \Sigma\text{OK} + 91,8 K_{\text{осн}}^{\text{ЗШ}} \quad (6)$$

Инверсия знака при общих переменных в уравнениях реакционной способности и в уравнениях горячей прочности свидетельствуют о том, что показатели CSR и CRI обратно пропорциональны.

В работе [5] выполнен обзор факторов, влияющих на реакционную способность кокса, приведены математические модели, позволяющие прогнозировать показатели реакционной способности и послереакционной прочности кокса для конкретных сырьевых баз и условий получения доменного кокса. Многочисленные модели прогноза реакционной способности кокса отражают преимущественное влияние того или иного фактора в конкретных условиях выполнения исследований.

Многие исследователи считают, что минеральные составляющие углей играют важную роль при формировании качества кокса по показателям CRI и CSR.

В УХИНе [6-8] разработана методика, по которой CRI кокса из углей с повышенным содержанием пирита рассчитывают по уравнению

$$\text{CRI} = 14,2 + 12,4 S_t^d + 0,376 V^{\text{daf}}, \quad (7)$$

где $S_t^d > 1\%$ - массовая доля общей серы; V^{daf} - выход летучих веществ на сухую беззольную массу, %.

Использование модели (7) очень привлекательное, поскольку прогнозирующие параметры S_t^d и V^{daf} измеряют ежемесячно при анализе угольной шихты, однако область использования этой модели ограничена только углями с высоким содержанием пирита.

Для углей с $S_t^d < 1\%$ CRI кокса находят из уравнения [6,8]

$$\text{CRI} = 13,4 + 9,35 I_0 - 0,45 I_0^2 \quad (8)$$

где I_0 - индекс основности золы угля (шихта).

Причем I_0 рассчитывают по уравнению:

$$I_0 = \frac{100A^d(Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O)}{(100 - V^{daf})(SiO_2 + Al_2O_3)}, \quad (9)$$

допуская, что при коксовании шихты не изменяется соотношение в золе основных и кислых оксидов, а ее зольность увеличивается благодаря только удалению образованных летучих веществ и не зависит от состава минеральных компонентов.

Показатель CSR рассчитывают по обобщенному уравнению:

$$CSR = 94,23 - 1,275 \cdot CRI \quad (10)$$

или

$$CSR = 77,14 - 11,92 I_0 + 0,57 I_0^2. \quad (11)$$

В работе [9] представлены уравнения для определения CSR и CRI компании Dofasco (Канада) с использованием индекса основности без учета зольности шихты и выхода летучих веществ

$$CSR = 83,217 + 167,80 \cdot I_0 + 147,81 \cdot I_0^2 \quad (12)$$

$$CRI = 3,50 + 160,42 \cdot I_0 - 141,32 \cdot I_0^2, \quad (13)$$

где I_0 – индекс основности золы угля (шихты).

Причем I_0 рассчитывают по уравнению

$$I_0 = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O}{SiO_2 + Al_2O_3}. \quad (14)$$

Постановка задачи. Анализируя рассмотренные модели прогноза качества кокса по показателям CSR и CRI, можно отметить:

громоздкость моделей (1-4) из-за учета многочисленных факторов, многие из которых являются функциями других переменных;

значительное влияние коэффициента основности на реакционную способность и послереакционную прочность кокса (модели 5,6);

простоту моделей (8,11,12,13) и несложность в определении содержания оксидов и соответствующих расчетов.

Исходя из этого, настоящие исследования проведены с целью проверки возможности использования существующих и разработки новых моделей прогноза показателей CSR и CRI с прогнозирующим параметром - основностью шихты - для условий коксохимического производства ПАТ «АрселорМиттал Кривой Рог».

Изложение результатов исследований. Исходные данные о вариантном составе опытных угольных шихт, качестве угольных концентратов и химическом состав золы приведены, соответственно, в табл. 1-3.

Таблица 1

Вариант шихты	Варианты опытных угольных шихт									
	Марка угля и процент участия в шихте									
	Киевская Ж	Северная К	Восточная К+КЖ	Свято-Варварьинская К	Печерская 2Ж	HV Integrity	Shoal Creek Esperance	Toms Run	Jas Mos (Poland)	Mechel Creek (Alegria)
	5	14	32	18	7	10	14	0	0	0
1	5	14	32	18	7	10	14	0	0	0
2	5	8	30	23	8	8	6	12	0	0
3	5	8	28	20	8	8	6	12	5	0
4	5	5	25	16	5	6	15	12	11	0
5	5	7	32	10	6	0	22	5	6	7
6	5	7	32	10	6	0	22	5	6	7
7	5	7	32	10	6	0	22	5	6	7
8	5	7	32	10	6	0	22	5	6	7
9	5	7	32	10	0	0	24	7	6	9
10	5	7	23	11	0	0	30	5	7	12
11	6	7	21	14	11	0	15	10	8	8
12	4	9	15	14	20	0	8	14	10	6
13	4	9	15	14	20	0	8	14	10	6
14	10	9	15	12	20	0	8	16	10	0
15	10	9	15	12	18	0	8	16	10	2
16	7	10	15	8	13	0	18	18	11	0
17	7	10	15	8	13	0	18	18	11	0
18	0	10	15	8	18	0	18	20	11	0
19	5	14	32	18	7	10	14	0	0	0

Таблица 2

Качество угольных концентратов

Марка угля	W_t^r , %	A^d , %	S_t^d , %	V^{daf} , %	R_0 , %	y , мм
Печерская 2Ж	8,0	8,8	0,56	32,5	0,97	21
Северная К	10,9	9,6	0,54	22,8	1,23	17
Киевская Ж	11,3	8,6	1,88	31,2	1,12	27
Восточная К+КЖ	10,5	11,2	0,83	26,8	1,15	17
Свято-Варварьинская К	8,0	8,2	0,72	28,3	1,21	15
HV Integrity	6,7	7,1	0,89	34,9	0,94	23
Shoal Creek Esperance	8,4	10,0	0,80	30,6	1,09	24
Toms Run	9,2	9,3	1,3	28,6	1,14	27
Jas Mos (Poland)	8,7	6,3	0,38	20,4	1,46	15
Mechel Creek (Alegria)	7,7	8,0	0,93	28,5	1,15	22

Таблица 3

Химический состав золы угольных концентратов

Оксид	Содержание оксидов в золе угля, %									
	Киевская Ж	Северная К	Восточная К+КЖ	Свято-Варварьинская К	Печерская 2Ж	HV Integrity	Shoal Creek Esperance	Toms Run	Jas Mos (Poland)	Mechel Creek (Alegria)
SiO ₂	42,4	57,7	54,0	51,1	58,6	50,4	52,9	50,1	42,5	50,4
Al ₂ O ₃	21,1	15,92	33,5	37,2	28,2	32,6	35,0	31,3	33,2	30,1
Fe ₂ O ₃	24,3	9,06	5,51	5,6	7,09	7,96	5,80	10,27	10,22	11,03
MgO	0,85	1,94	1,13	1,18	1,47	1,47	0,89	0,69	1,71	1,26
CaO	1,1	3,6	1,4	0,01	1,5	2,2	0,78	2,1	3,7	1,27
Na ₂ O	1,64	0,91	0,91	1,25	0,98	0,62	0,63	0,37	1,23	0,71
K ₂ O	2,37	2,33	1,79	3,44	1,51	2,77	2,60	2,41	1,8	3,03
MnO	0,099	0,028	0,023	0,063	0,022	0,103	0,016	0,02	0,17	0,045
SO ₃	0,57	1,4	0,44	0,2	0,45	0,6	0,21	0,66	1,1	0,43
P ₂ O ₅	0,16	0,13	0,38	0,15	0,326	0,22	0,61	0,40	0,25	0,15
TiO ₂	1,12	-	1,56	1,28	1,57	1,56	1,57	1,42	1,35	1,38
ZnO	0,011	0,043	0,045	0,054	0,016	0,025	0,017	0,04	0,019	0,022

Показатели качества угольной шихты, а также индексы основности, рассчитанные по формулам 9 и 14 для каждой марки угля и как покомпонентный аддитивный показатель для вариантов угольных шихт, представлены в табл. 4.

Таблица 4

Качество угольной шихты

Вариант шихты	W_t^r , %	A^d , %	S_t^d , %	V^{daf} , %	R_0 , %	y , мм	I_0	I_0
1	9,3	9,6	0,81	28,5	1,13	19,0	2,135	0,159
2	9,3	9,6	0,81	28,5	1,13	19,0	2,135	0,159
3	9,2	9,4	0,87	28,6	1,13	19,5	2,120	0,161
4	9,2	9,3	0,85	28,2	1,15	19,4	2,150	0,166
5	9,1	9,2	0,84	27,9	1,16	19,8	2,167	0,168
6	9,3	9,6	0,83	27,9	1,15	19,8	2,157	0,162
7	9,3	9,6	0,83	27,9	1,15	19,8	2,157	0,162
8	9,3	9,6	0,83	27,9	1,15	19,8	2,157	0,162
9	9,3	9,6	0,83	27,9	1,15	19,8	2,157	0,162
10	9,4	9,7	0,86	27,7	1,16	20,0	2,200	0,164
11	9,1	9,4	0,85	27,9	1,16	20,3	2,164	0,166
12	9,1	9,2	0,84	28,0	1,16	20,1	2,211	0,173
13	9,0	9,0	0,80	28,0	1,15	20,0	2,188	0,175
14	9,0	9,0	0,80	28,0	1,15	20,0	2,188	0,175
15	9,3	9,1	0,87	28,2	1,15	20,5	2,383	0,188
16	9,3	9,1	0,88	28,1	1,15	20,5	2,405	0,190
17	9,3	9,2	0,86	27,9	1,16	20,9	2,310	0,181
18	9,3	9,2	0,86	27,9	1,16	20,9	2,310	0,181
19	9,1	9,2	0,78	27,9	1,15	20,6	2,093	0,164

Для 19 вариантов угольной шихты проводились опытно-промышленные ящичные коксования с последующим определением показателей CSR и CRI NSC-методом. Результаты опытных ящичных коксований угольной шихты приведены в таблице 5.

Таблица 5

Вариант шихты	Результаты ящичных коксований, %					
	W_t^f	A^d	S_t^d	V^{daf}	CSR	CRI
1	4,8	12,4	0,68	0,5	51,0	35,0
2	3,6	12,3	0,71	0,6	51,7	33,8
3	4,3	12,4	0,72	0,6	51,9	32,6
4	4,2	12,2	0,75	0,5	50,1	35,1
5	3,8	12,0	0,74	0,5	52,5	33,2
6	4,4	12,1	0,72	0,5	50,4	36,6
7	4,4	12,0	0,72	0,6	52,5	34,5
8	4,0	11,9	0,69	0,6	53,8	32,1
9	4,3	12,0	0,69	0,6	52,4	32,5
10	3,6	12,0	0,70	0,6	50,7	32,8
11	4,0	11,8	0,74	0,5	52,8	32,0
12	4,0	11,8	0,74	0,6	52,1	34,1
13	3,4	11,8	0,73	0,5	53,5	32,3
14	3,4	11,9	0,72	0,6	53,6	32,6
15	3,7	11,6	0,76	0,5	52,6	35,8
16	4,1	11,6	0,77	0,5	52,7	33,9
17	3,7	11,5	0,75	0,5	50,8	31,9
18	4,8	11,8	0,72	0,6	53,2	33,9
19	3,9	11,7	0,5	0,71	53,3	31,9

Необходимо заметить, что на коксохимическом производстве ПАТ «АрселорМиттал Кривой Рог» в качестве прогнозных используют расчетные показатели CSR и CRI кокса, как аддитивные величины показателей CSR и CRI коксовых остатков различных марок углей, входящих в состав шихт, определяемые NSC-методом. Для 19 вариантов исследуемых шихт такие показатели приведены как прогнозные в таблице 6.

В настоящей работе выполнены расчеты показателей реакционной способности CRI и послереакционной прочности кокса CSR по математическим моделям (12,13), где в качестве определяющих параметров используется индекс основности без учета зольности и выхода летучих веществ шихты (14) и уравнения с индексом основности шихты, определяемым по формуле (9), т.е. математические модели (8) и (11). Данные расчета сведены в табл. 6.

Таблица 6

Расчетные данные показателей CSR и CRI

Вариант шихты	Показатели качества, %					
	прогнозные (аддитивные величины)		расчетные (модели 12,13)		расчетные (модели 11,8)	
	CSR	CRI	CSR	CRI	CSR	CRI
1	49,96	34,68	60,28	25,43	54,26	31,31
2	49,96	34,68	60,28	25,43	54,29	31,31
3	49,50	33,63	59,86	25,83	54,30	31,20
4	47,52	34,33	59,43	26,43	54,15	31,42
5	47,95	33,61	59,20	26,46	53,99	31,55
6	49,21	34,32	59,69	25,99	54,08	31,47
7	49,21	34,32	59,69	25,99	54,08	31,47
8	49,21	34,32	59,69	25,99	54,08	31,47
9	49,21	34,32	59,69	25,99	54,08	31,47
10	49,21	34,32	59,67	26,01	53,67	31,79
11	48,72	34,19	59,43	26,24	54,01	31,53
12	48,84	34,17	58,62	27,02	53,57	31,87
13	47,59	34,79	58,38	27,25	53,79	31,70
14	47,35	35,04	58,38	25,25	53,79	31,70
15	47,35	35,04	56,90	28,66	51,97	33,13
16	46,13	35,71	56,67	28,88	51,77	33,28

На основе полученных данных построены зависимости показателей реакционной способности и послереакционной прочности кокса (рассчитанные по известным моделям, прогнозируемые показатели как аддитивные покомпонентные величины и опытные, полученные в результате ящичного коксования) от индекса основности золы I_0 шихты (рис. 1,2) и от индекса основности золы шихты I_0 - с учетом зольности и выхода летучих веществ шихты (рис. 3,4).

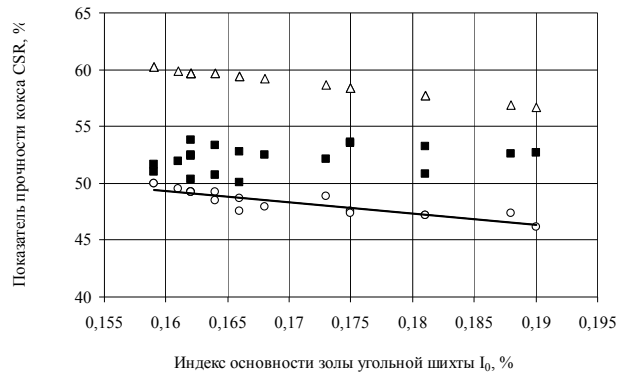


Рис 1. Зависимость показателя CSR от индекса основности золы шихты I_0 ,

■ – ящичное коксование шихты, о – прогнозные показатели как аддитивные величины, Δ – расчетные показатели

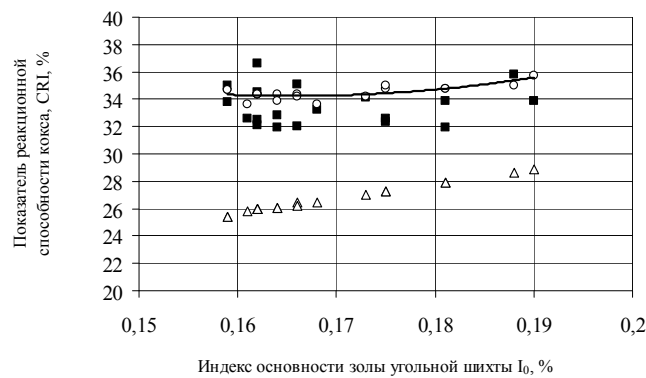


Рис. 2. Зависимости показателя CRI от индекса основности золы шихты I_0 ,

■ – ящичное коксование шихты, о – прогнозные показатели как аддитивные величины, Δ – расчетные показатели

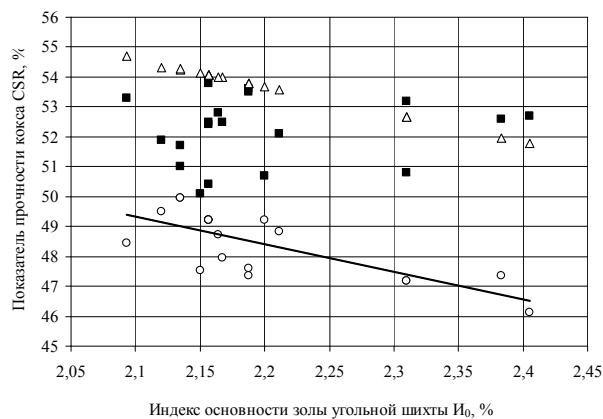


Рис 3. Зависимость показателя CSR от индекса основности золы шихты I_0 ,

■ – ящичное коксование шихты, о – прогнозные показатели как аддитивные величины, Δ – расчетные показатели

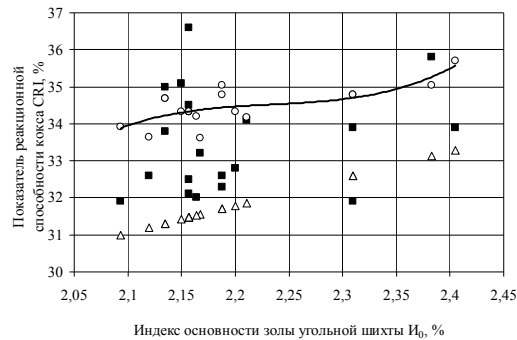


Рис. 4. Зависимости показателя CRI от индекса основности золы шихты I_0 ,
 ■ – ящичное коксование шихты, о – прогнозные показатели как
 аддитивные величины, Δ – расчетные показатели

Анализ приведенных зависимостей показал:

величины показателей CSR и CRI, рассчитанные по моделям (12) и (13) с использованием индекса основности золы шихты (I_0) без учета зольности и выхода летучих веществ шихты, значительно (порядка 10%) отличаются от прогнозных и опытных показателей;

величины показателей CSR и CRI, рассчитанные по моделям (12) и (13) с использованием индекса основности золы шихты (I_0) с учетом зольности и выхода летучих веществ шихты, близки к опытным показателям;

корреляция между полученными показателями CSR и CRI кокса ящичных коксований и индексами основности золы шихты отсутствует;

прогнозные показатели CSR и CRI близки к показателям, полученным при ящичных коксованиях;

зависимости прогнозных показателей CSR и CRI от индекса основности золы шихты без учета зольности и выхода летучих веществ шихты хорошо аппроксимируются следующими уравнениями регрессии

$$CSR = -100,4 I_0 + 65,42, R^2 = 0,80; \quad (15)$$

$$CRI = 2275 I_0^2 - 753,7 I_0 + 96,66, R^2 = 0,6; \quad (16)$$

зависимости прогнозных показателей CSR и CRI от индекса основности золы шихты с учетом зольности и выхода летучих веществ шихты аппроксимируются уравнениями регрессии с более низкими значениями индекс аппроксимации:

$$CSR = -9,285 I_0 + 68,82, R^2 = 0,55; \quad (17)$$

$$CRI = 158,8 I_0^3 - 1064 I_0^2 + 2377 I_0 - 1737, R^2 = 0,58. \quad (18)$$

Выводы и рекомендации. Прогнозировать показатели качества доменного кокса (CSR и CRI) в условиях коксохимического производства ПАТ «АрселорМиттал Кривой Рог» целесообразно с использованием разработанных моделей (15) и (16), полученных на основе корреляционно-регрессионного анализа зависимостей аддитивных покомпонентных величин CSR и CRI угольных шихт от индекса основности золы без учета зольности и выхода летучих шихты. При этом исключаются многочисленные эксперименты по определению CSR и CRI каждой марки угля NSC-методом и упрощаются расчеты. Для повышения достоверности расчетных показателей необходимо корректировать данные модели, периодически пополняя базу данных по химическому составу используемых угольных концентратов и компонентных величин CSR и CRI, определяемых NSC-методом.

Список литературы

1. Прогноз горячей прочности (CSR) и реакционной способности (CRI) кокса/Е.А. Буланов, В.Н. Зайнутдинов, В.Я. Кузнецов, Л.А. Зиновьева //Кокс и химия. – 2005. – №5. – С. 23-26.
2. Взаимосвязь реакционноспособных свойств кокса с петрографическими показателями угольной шихты и параметрами коксования/ А.Е. Базегский, А.Д.Рябиченко, И.А. Кудашкин, А.С.Станкевич// Кокс и химия. – 2001. – №7. – С. 15-19.
3. Модель прогноза качественных характеристик металлургического кокса на основе химико-петрографических параметров угольных шихт и параметров коксования/ А.Е. Базегский, А.Д. Рябиченко, Ф.З. Хамидулин, Б.Ф. Пьянов, А.С. Станкевич // Кокс и химия.– 2002.–№9.– С. 15-22.

4. Модель прогноза показателей CSR и CRI кокса на основе химико-петрографических параметров угольных шихт и условий их коксования/ А.С. Станкевич, Р.Р. Гиллязетдинов, Н.К. Попова, Д.А. Кошмаров// Кокс и химия. – 2008. – №9. – С. 37-44.
5. Реакционная способность кокса: способы измерения и факторы влияния (Обзор) / Д.В. Мирошниченко, М.Л. Улановский // Кокс и химия. – 2004. – №5. – С. 21-31.
6. Влияние минеральных компонентов углей на качество кокса по показателям CRI и CSR / М.Л. Улановский, Д.В. Мирошниченко// Кокс и химия. – 2007. – №4. – С. 19-24.
7. Улановский М.И., Мирошниченко Д.В. Сера углей и ее влияние на качество и расход кокса в доменной печи //Кокс и химия. – 2008. – №2. – С. 24-30.
8. Использование показателей физических свойств золы углей для предварительной оценки CRI та CSR кокса/ Д.В. Мирошниченко // Кокс и химия. – 2008. – №11. – С. 29-33.
9. К выбору параметров оптимизации качества кокса по показателям CRI та CSR / М.Л. Улановский // Кокс и химия. – 2009. – №1. – С. 12-16.

Рукопись поступила в редакцию 17.02.14

УДК 628.12:621.65

П.Н. ЖУРАКОВСКИЙ, Т.И. БУРЛАЧЕНКО, Н.Н. ПОЛОЦКАЯ,
Н.Н. ГОРОН, О.В. СТЕБЕЛЬСКАЯ, ГП «ГПИ «Кривбасспроект»

ОБУСТРОЙСТВО НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ ФОНТАНОВ

Рассмотрены основные принципы проектирования заглубленных насосных станций оборотного водоснабжения фонтанов с применением современного циркуляционного и фильтровального оборудования, позволяющего создавать динамические водные картины и обеспечивать их функционирование в автоматическом режиме.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время очень актуален вопрос экономии и рационального использования воды питьевого качества. На сегодняшний день строительство новых декоративных фонтанов и реконструкция старых основывается на принципах оборотного водоснабжения. Оборотное водоснабжение фонтанов заключается в повторном использовании отработанной воды путем ее рециркуляции насосным оборудованием [1]. Насосные станции оборотного водоснабжения открывают большие возможности в удешевлении системы водоснабжения фонтанов, сокращения потребления воды питьевого качества.

До настоящего времени в насосных станциях применялись насосы без автоматического регулирования, а для регулировки расхода и давления в сети в насосных станциях старого образца устанавливались распределительные гребенки с запорной арматурой, при помощи которой регулируется давление. Водоподготовка и фильтрация не предусматривались.

В связи с наличием нового оборудования сейчас эти вопросы решаются по-другому.

Постановка задачи. В данной публикации ставится цель поделиться опытом проектирования насосных станций оборотного водоснабжения. Мы надеемся на отзывы других институтов и проектных организаций по данному вопросу. Одной из основных задач публикации является внедрение нового высокоэффективного оборудования для насосных станций оборотного водоснабжения.

На момент проектирования в технической, нормативной литературе не было каких либо материалов по оснащению насосных станций современным оборудованием, обеспечивающим минимальную энергоемкость и качество оборотной воды. Насосные станции служат для обеспечения необходимого количества и качества воды для функционирования фонтанов. Их задача обеспечить для фонтанов циркуляцию нужного количества воды по необходимому количеству напорных линий согласно требованиям архитекторов, обеспечив при этом нужное качество и необходимое давление воды у насадок. Эти задачи нужно решать в автоматическом режиме без присутствия обслуживающего персонала.

Изложение материала и результаты. Насосные станции оборотного водоснабжения фонтанов по степени обеспеченности подачи воды следует относить к III категории [2]. Наиболее рационально располагать их подземно на небольшом расстоянии от чаши декоративного фонтана. Величина рас-

стояния зачастую диктуется количеством водопроводных линий, соединяющих насосную станцию с фонтаном, и определяется возможностью трассировки этих трубопроводов. Соединительные трубопроводы прокладываются с уклоном $i=0,02$ в сторону насосной станции для возможности их опорожнения на зимний период. При выборе места расположения насосной станции необходимо учитывать наличие приточного и вытяжного воздухопроводов, которые необходимо выводить на поверхность и маскировать их под декоративные архитектурные элементы.

Размеры насосной станции в плане определяются количеством насосных агрегатов, шириной проходов, размещением входных стремянок, электрических шкафов, баков запаса воды и фильтровального оборудования [3,4].

При определении площади насосной станции ширину проходов следует принимать не менее:

- между насосами или электродвигателями – 1 м;
- между насосами или электродвигателями и стеной в заглубленных помещениях – 0,7 м;
- между неподвижными выступающими частями оборудования – 0,7 м;
- перед распределительным электрическим шкафом – 2 м.

Для агрегатов с диаметром нагнетательного патрубка до 100 мм включительно допускается: установка агрегатов у стены или на кронштейнах; установка двух агрегатов на одном фундаменте при расстоянии между выступающими частями агрегатов не менее 0,25 м, с обеспечением вокруг сдвоенной установки проходов шириной не менее 0,7 м [2].

Высоту насосной станции следует принимать $\approx 2,5$ м. Необходимо предусматривать, как правило, два входа, оборудованные запорными устройствами.

Насосная станция должна иметь электроосвещение и приточно-вытяжную вентиляцию с естественным побуждением. На период консервации должно предусматриваться отопительное электрооборудование для поддержания температуры внутреннего воздуха $\approx 5^{\circ}\text{C}$.

Размещение запорной арматуры на всасывающих и напорных трубопроводах должно обеспечивать возможность замены или ремонта любого из насосов. Напорная линия каждого насоса должна быть оборудована запорной арматурой и обратным клапаном, устанавливаемым между насосом и запорной арматурой. На всасывающих линиях каждого насоса запорную арматуру следует устанавливать у насосов. В местах пересечения трубами стен необходимо предусматривать установку сальников [5,6].

Для предотвращения затопления насосных агрегатов при аварии их следует располагать на фундаментах высотой не менее 0,3 м от пола, а в помещении насосной станции оборотного водоснабжения предусматривать приямок с установкой дренажного насоса с последующей откачкой воды в водосток. При аварийном затоплении насосной станции предусматривается отключение электроснабжения. Аварийный уровень воды – +0,1 м от пола насосной станции оборотного водоснабжения. Дренажный насос работает в автоматическом режиме согласно датчикам уровня, установленным в приямке. Для стока воды полы машинного зала надлежит проектировать с уклоном $i=0,005$ к сборному приямку.

В помещении насосной станции возможна также установка емкости запаса воды. Необходимость такого решения возникает в случае, когда архитектура фонтана не предусматривает наличие чаши с объемом воды, необходимым для корректной и бесперебойной работы насосов. Тогда водозабор производится с бака.

При установке электродвигателей напряжением до 1000 В и менее насосные станции должны оборудоваться двумя ручными пенными огнетушителями [2].

Для обеспечения чистоты водной среды фонтана необходимо предусмотреть систему фильтрации с установкой необходимого оборудования, как правило, в помещении насосной станции. Для устройства системы фильтрации фонтана возможно применение двух способов очистки: механической (с использованием песчаных фильтров) и биологической (с применением напорных фильтров с губчатым наполнителем и ультрафиолетовой лампой) [7-10].

Биологическая фильтрация предусматривает, как минимум, две ступени очистки: механическую и биологическую. В связи с этим, фильтр состоит из нескольких камер. В камерах, заполненных губчатым материалом или щетками, оседают частички грязи. В бактериальных камерах микроорганизмы связывают и разлагают соединения азота. Повышение концентрации в воде азотистых веществ вызывает бурный рост микроскопических водорослей и, как следствие, "цветение" воды. Эти вещества неминуемо образуются в водоеме в результате жизнедеятельности населяющих его микроорганизмов. Особенно быстро они накапливаются при гниении по-

падающих в воду и оседающих на дно кусочков растений. Эффективность работы биологических фильтров значительно повышают вспомогательные элементы: ультрафиолетовые лампы, скиммеры, устройства для очистки дна.

Песчаные фильтры используются независимо от работы основного оборудования. При этом они могут эксплуатироваться как во время работы фонтанов или их остановки, так и круглосуточно. Фильтровальная установка состоит из емкости, изготовленной из пластика, усиленного стекловолокном, насоса, а также многоходового вентиля. Загрузочное отверстие емкости фильтра снабжено манометром. Емкость заполняется кварцевым песком, а загрязненная вода подается туда с помощью насоса. Через верхний патрубок вода поступает в распределитель с ситом, затем проходит через слой песка и через трубки с прорезями поступает в нижний распределитель. Выйдя через нижний патрубок из емкости, очищенная вода подается в чашу фонтана. Если ресурс фильтра исчерпан, то он просто промывается, а грязь выводится в приемок, откуда с помощью дренажного насоса в ливневую канализацию.

Институтом «Кривбаспроект» был выполнен проект реконструкции парка им. Ю.Гагарина. Одним из разделов проекта была насосная станция оборотного водоснабжения, обслуживающая многоярусный фонтан возле Дворца детского и юношеского творчества (рис.1,2).

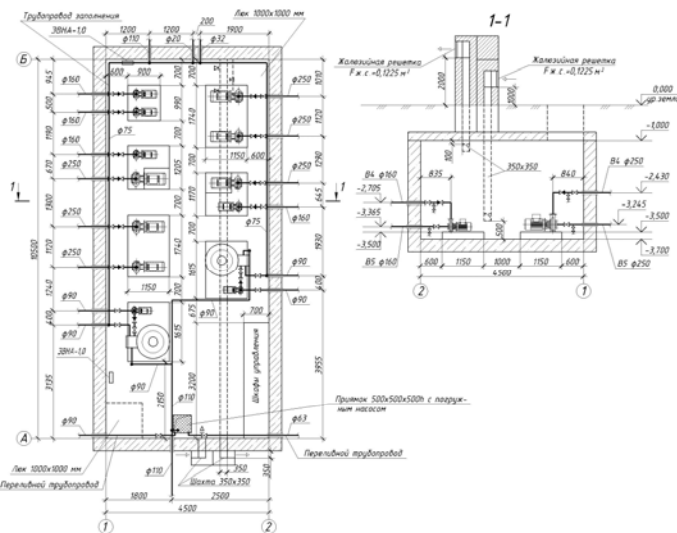


Рис. 1. План и поперечный разрез заглубленной насосной станции оборотного водоснабжения

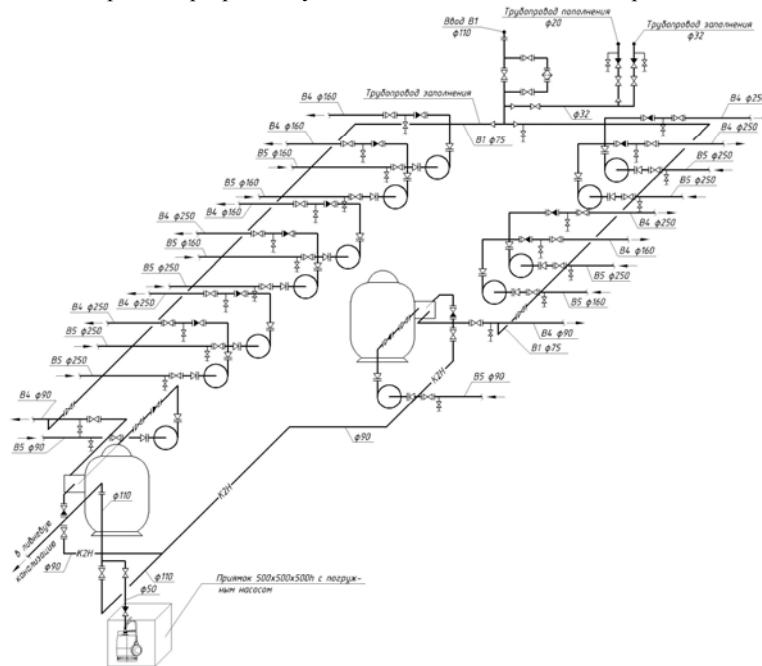


Рис. 2. Схема трубопроводов

Проектом предусматривается устройство заглубленной насосной станции оборотного водоснабжения фонтана. Расстояние насосной станции от фонтана составляет 35 м.

В насосной станции располагается следующее технологическое оборудование:

10 циркуляционных насосов Grundfos (Дания) серии NB разных типоразмеров для создания струй различных типов;

2 песчаных фильтра Triton TR-140 с насосами;

краны, клапаны, спускники;

дренажный насос Unilift KP 350-A1 Grundfos (Дания), в комплект входит поплавковый выключатель, который регулирует включение и выключение насоса в приемке.

Насосы производства компании «Grundfos» серии NB «сухой» установки представляют собой нормально всасывающие, одноступенчатые, консольные и консольно-моноблочные центробежные насосы с горизонтальным всасывающим патрубком, вертикальным напорным патрубком и горизонтально расположенным валом [11]. Насосы оснащены электродвигателями с внутренним охлаждением. Работают в диапазоне расхода от 2 до 2000 м³/ч и обеспечивают напор от 2 до 160 м. Гидравлические характеристики насосов оптимально подходят для создания больших водных форм и водопадов. Насосы имеют длительный срок службы и отличаются высокой надежностью. В комплекте с частотными преобразователями такие насосы позволяют создавать динамические водные картины и способны работать по заданной программе в автоматическом режиме.

Наполнение системы и периодическая подпитка осуществляется непосредственно в бассейнах. Для наполнения и подпитки фонтана предусматривается устройство водопроводного ввода в насосную станцию. Вода из чаши фонтана забирается всасывающими линиями циркуляционных насосов, далее, по напорным трубопроводам подается к форсункам. Постоянство уровня воды в чаше фонтана осуществляется с помощью стеновой арматуры долива-перелива-заполнения с поплавковым клапаном. Перелив воды из чаши фонтана по переливным трубопроводам осуществляется в приемок, откуда дренажным насосом вода откачивается в ливневую канализацию. Выпуск воды из чаши фонтана (опорожнение) производится насосами в ливневую канализацию.

Для очистки воды в фонтане от механических загрязнений предусмотрена установка двух песчаных фильтров, в качестве фильтрующего материала в которых используется специальный кварцевый песок.

Песчаный фильтр состоит из цельного резервуара, усиленного стекловолокном – корпуса фильтра; 6-ти ходового клапана для обслуживания; манометра; сливной трубки для упрощения технического обслуживания.

Принцип работы фильтров следующий. Вода, подаваемая насосом, попадает в резервуар фильтра, заполненный песком. Большие и мелкие частицы, скапливаясь в промежутках между песчинками, задерживаются фильтром.

Режимы 6-ходового клапана фильтра:

«Фильтрация». Вода из фонтана поступает в фильтр, проходит через фильтрующий материал (очищается) и возвращается в фонтан. Этот режим является основным и используется для фильтрации.

«Опустошение». Вода с фонтана насосом откачивается в канализацию, минуя фильтр. Этот режим используется для слива воды с фонтана.

«Закрывается». Все закрыто. Этот режим используется в период временной консервации фонтана.

«Обратное промывание». Вода из фонтана поступает в фильтр, проходит через фильтрующий материал, промывает его и сливается в канализацию. Этот режим используется для промывки фильтра.

«Циркуляция». Вода из фонтана насосом подается в фонтан, минуя фильтр.

«Уплотнение». Вода из фонтана проходит через фильтр, уплотняя песок, и сливается в ливневую канализацию. Этот режим используется для очистки фильтра сразу после режима «Обратное промывание».

Подающие, обратные и спускные трубопроводы, трубопроводы ввода, заполнения и пополнения системы, а также выпуска ливневой канализации в насосной станции приняты из по-

ливинилхлоридных труб производства Sogralax (Испания), присоединение – клеевое. Все трубопроводы прокладываются с уклоном к насосной станции.

Работа насосной станции предусматривается без постоянного дежурного персонала. Управление работой насосов - автоматическое по заданной программе.

Обслуживание насосов, кранов и клапанов производится с пола.

Для обеспечения температуры внутреннего воздуха +5°C проектом предусмотрено электрическое отопление помещения водопроводной насосной станции. В качестве нагревательных приборов предусмотрены электроконвекторы "Термия" модель ЭВНА-1,0. Вентиляция водопроводной насосной станции предусмотрена приточно-вытяжная с естественным побуждением воздуха. Воздухообмен принят в размере 3-кратного. Электроснабжение насосной станции осуществляется от распределительного шкафа и прекращается при аварийном затоплении, с помощью независимого расцепителя, установленного на вводном автоматическом выключателе шкафа.

Выводы и направления дальнейших исследований. При проектировании насосной станции оборотного водоснабжения для фонтана использовали новые технологии очистки воды и современное оборудование, позволяющее обеспечить высокое качество оборотной воды.

Список литературы

1. Спышнов П. А. Фонтаны. Описание, конструкции, расчет / Петр Алексеевич Спышнов. – М. : Гос. изд-во архитектуры и градостроительства, 1950. – 172 с., ил.
2. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – К., 2013.
3. Калицун В. И. Основы водоснабжения и канализации: [учеб. пособие для техникумов. Изд. 2-е, перераб. и доп.] / Виктор Иванович. – М. : Стройиздат, 1977. – 207 с.
4. Карелин В. Я. Насосы и насосные станции / В. Карелин, А. Минаев. – М. : Стройиздат, 1986. – 320 с.
5. Турк В. И. Насосы и насосные станции / Владимир Иванович Турк. – [Изд. 2-е, перераб.]. – М. : Госстройиздат, 1961. – 277 с.
6. Турк В. И. Насосы и насосные станции: [учебник для вузов] / В. И. Турк, А. В. Минаев, В. Я. Карелин. – М. : Стройиздат, 1977 – 304 с.
7. Империя воды. Бассейны и фонтаны. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.pool.in.ua/>
8. Мастер-фонтан. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.masterfontan.ru/>
9. Аквасервис. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.aquaservice.com.ua/>
10. МГК СОЮЗ. Фонтаны городские, парковые, светомузыкальные, плавающие, интерьерные, искусственные водоёмы, системы автоматического полива и капельного орошения. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.allwater.com.ua/>
11. Грундфос. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://ua.grundfos.com/content/gua/uk_UA/products/find-product/nb-nbg-nbe-nbge.html

Рукопись поступила в редакцию 07.03.14

УДК 692.4

В.А. БОНДАРЬ, З.П. РОЩУПКИНА, ГП «ГПИ «Кривбасспроект»

АНАЛИЗ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ПОКРЫТИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Выполнен анализ видов покрытий с точки зрения эксплуатационной долговечности, их архитектурного облика, влияния на энергосбережение, приведены технико-экономические показатели видов покрытий.

Ключевые слова: покрытие (крыша), кровля, несущий настил, чердак.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Покрытие является очень важным конструктивным элементом, защищающим здание (сооружение) от внешних воздействий. Покрытия в первую очередь подвергаются негативным воздействиям климата (замораживание, оттаивание, перегрев поверхности в летнее время, атмосферные осадки и ветер), агрессивным влиянием окружающей среды (вредные выбросы в атмосферу производств, транспорта) и т.д.

При проектировании и строительстве зданий и сооружений важно правильно выбрать вид

покрытия, уклоны и материалы. Вид покрытия определяется назначением здания или сооружения, архитектурно-конструктивными и эксплуатационными требованиями, конфигурацией строения в плане и условиями быстрого отвода воды с покрытия. При выборе наиболее рационального вида покрытия решающим фактором являются технико-экономические показатели: масса 1 м^2 покрытия, сметная стоимость, долговечность и эксплуатационные расходы. Для нормальной эксплуатации зданий и сохранения их долговечности большое значение имеют качество кровельных материалов и их рациональное применение.

Анализ исследований и публикаций. Публикаций о покрытиях достаточно много, но анализа их эксплуатационной долговечности, ремонтной пригодности, технико-экономических показателей в конечном результате недостаточно.

Постановка задачи. Произвести анализ эксплуатационных качеств с технико-экономическими выкладками двух видов покрытий –крутонаклонных (угол наклона к горизонту более 14°) и плоских (практически горизонтальных с уклоном от 0° до 3°).

Изложение материала и результаты. При всем разнообразии форм и видов покрытий существует их разделение в соответствии нормативным документам на совмещенные (в основном плоские) и чердачные.

Совмещенный вид покрытия – в основном кровли из рулонных материалов широко применяются при строительстве многоэтажных жилых домов, различных общественных зданий, промышленных объектов. Ее можно сравнить с огромным ковром, который покрывает все здание и должен быть достаточно прочным и надежным. Совмещенное покрытие всегда предусматривает несколько слоев: несущий настил, пароизоляция, утеплитель, гидроизоляция.

В зависимости от того, как располагаются по отношению друг к другу утеплитель и гидроизоляционный слой, различают традиционное и инверсионное плоское покрытие. В инверсионном покрытии утеплитель укладывается не под гидроизоляционный слой, как при традиционном устройстве, а над ним. Это позволяет защитить гидроизоляцию от неблагоприятного воздействия резких перепадов температур, ультрафиолетовых лучей, механических повреждений, и, соответственно, продлевает срок службы такого покрытия.

Архитектурные решения совмещенных покрытий, в отличие от чердачных, – ограничены. В то же время у них есть преимущество - современные технологии настолько преуспели в своем развитии, что становится возможным использовать покрытие дома не только как «крышу» в прямом смысле, но и в качестве дополнительной территории- эксплуатируемые покрытия. Такие покрытия, в основном, возводятся на высотных элитных домах.

Кровля из рулонных материалов состоит из нескольких слоев, составляющих кровельный ковер. Промышленность выпускает основные и безосновные рулонные материалы. В современном строительстве для устройства совмещенных покрытий применяются такие материалы: рубероид, - наплавляемый рубероид, гидроизол, изол, техноизол и т.д.

Кровельные и гидроизоляционные материалы должны отвечать установленным требованиям по водонепроницаемости, водопоглощению, теплостойкости и механической прочности.

Надежным средством продления срока службы рулонной кровли является защитный слой из гравия.

Защитный слой из кварцевого песка нельзя считать стойким бронирующим покрытием. Средний срок его службы не превышает 5 лет.

Неудовлетворительная адгезия кварцевого песка к битуму объясняется большой разницей их коэффициентов линейного расширения.

Нормативный срок службы рулонных рубероидных кровель 12-15 лет.

Практически срок службы рулонных рубероидных кровель составляет 5-7 лет и даже меньше; в некоторых случаях протечки в таких кровлях образуются уже в первый год их эксплуатации.

Причиной этого в первую очередь является низкое качество оснований и производства работ по наклейке кровельного ковра, а также низкое качество рулонных материалов и приклеивающих мастик.

Зданий и сооружений имеющих совмещенный вид покрытия десятки тысяч- это целое проблемное явление. Это покрытие - непрактичное изначально и требует больших затрат на ремонты.

Массовая индустриализация в строительном производстве, начиная со второй половины

прошлого столетия, развернувшаяся в бывшем Советском Союзе, сжатые сроки строительства, экономия финансовых и трудовых ресурсов, постановления государственных органов управления - вызвали повсеместное применение совмещенных малоуклонных рулонных покрытий.

Практически полстолетия в Украине велось проектирование и строительство плоских покрытий, что сегодня привело к определенным проблемам:

- миллионы квадратных метров ремонтируемых площадей кровельного ковра в год;
- продолжающиеся протечки кровель, ждущих своей очереди на ремонт, что вызывает разрушение несущих настилов покрытий и других конструктивов зданий;
- возмущение жителей домов жилого фонда населенных пунктов;
- поиск средств на ремонтно-восстановительные работы кровель и т.д.

При обследовании рулонных кровель, выполняемых специалистами института ГП «ГПИ «Кривбасспроект» установлены основные массовые разрушения и дефекты кровельного ковра плоского совмещенного покрытия:

- отрыв или разрыв полотнищ ковра в районе примыкания к вертикальной поверхности стен, парапетов, дефлекторов;
- вздутие, «воздушные мешки» на поверхности кровли ;
- трещины в ковре ;
- застой воды в пониженных местах с последующим гниением материалов ковра;
- отслоение рулона от основы;
- некачественное выполнение примыкания ковра к водосточным воронкам.

Причинами возникновения подобных повреждений и дефектов в кровельном ковре являются несвоевременный ремонт, некачественность кровельных материалов и производства работ по их укладке, недоработки проектных решений, чрезмерная влажность утеплителя, заниженный уклон кровли, воздействие климатических условий.

В настоящее время усовершенствуется нормативная база по проектированию и устройству плоских совмещенных покрытий, но проблемы пока остаются.

Исходя из анализа, авторы рекомендуют к применению проектировщикам и владельцам зданий и сооружений крыши крутонаклонные (чердачные).

Формы чердачных крыш и взаиморасположение скатов бывают разными, соответственно крыша называется односкатной, двускатной (щипцовой), шатровой, вальмовой, сводчатой, складчатой, шпалеобразной, мансардной и т.д.

Чаще всего выбор падает на двускатную крышу, в которой скаты опираются на стены, расположенные на одном уровне, треугольные же части торцевых стен между скатами называют фронтонами или щипцами. Также нередко встречается вальмовая (четырёхскатная) крыша, образованная соединением двух трапециевидных скатов и двух треугольных торцевых скатов, называемых вальмами. То, что поверхность крыши находится под углом к земле, положительно сказывается на защите дома от излишней влаги, которая эффективнее отводится.

В последнее время двускатные крыши возводятся и над многоэтажными жилыми, административными, торговыми и т.п. зданиями. Если к этой традиционной схеме добавить еще один компонент - теплоизоляционный слой, то получится теплый этаж - мансарда.

Мансарды получили широкое распространение в Украине при строительстве как частных домов, так и зданий общественного и жилого назначения.

Эффективное применение они получили при реконструкции малоэтажных домов с плоской крышей, так называемых «хрущевки».

При возведении мансардного этажа над такими зданиями решаются ряд вопросов: надежная защита здания от протечек атмосферных осадков, перегрева верхних этажей в летнее время, значительное улучшение архитектурного облика, появление дополнительной жилой площади и при этом не требуется усиление фундаментов.

Чердачная крыша состоит из двух основных компонентов - дождевого экрана (кровли) и несущей конструкции (обрешеток, стропил и т.п.).

Преимуществом чердачного вида крыш и причиной их повсеместной распространенности стало, во-первых, длительный срок эксплуатации без ремонта, во-вторых, возможность использования широкого спектра кровельных материалов.

В настоящее время используется достаточно большое количество разнообразных кровельных материалов при строительстве таких крыш: металлочерепица, оцинкованная сталь ("оцинковка"),

асбестоцементные листы и т.д.

Защищая дом от дождя и снега, крыша должна выполнять и еще одну немаловажную задачу, а именно - сохранять тепло в доме. Через крышу теряется до 20% тепла! Чтобы максимально снизить теплопотери с особой тщательностью следует решать вопросы теплоизоляции крыш. Если чердак неэксплуатируемый, то собственно кровля не нуждается в утеплении. Изолируется только чердачное перекрытие. Теплопотери снижаются вследствие образования под скатной кровлей "буферного" воздушного пространства.

Чердаки утепляются изнутри с помощью различных теплоизоляционных материалов. Поскольку чердачная зона все чаще используется в качестве жилой и превращается в мансарду, то скаты крыши требуют специального утепления. Для утепления скатных кровель специалисты рекомендуют использовать минераловатные плиты небольшой плотности (плиты ЛАЙТ БАТТС, маты ЛАЙТ МАТ производства компании ROCKWOOL, или аналогичных других фирм-изготовителей).

С экономической стороны, весьма существенным является уменьшение сметной стоимости за счет снижения себестоимости строительно-монтажных работ.

Сокращение срока возведения покрытия воздействует на снижение расходов, что в свою очередь снижает стоимость производства работ.

Долговечность современных совмещенных покрытий значительно ниже, а эксплуатационные расходы значительно больше чем у традиционных скатных крыш.

Экономические показатели совмещенного покрытия резко снижаются при устройстве многослойного рулонного ковра из-за несовершенства его гидроизоляционных рулонных материалов.

Внедрение механизмов для наклейки кровельного ковра хотя и снижает трудоемкость работ, однако много затрачивается ручного труда на устройство покрытий в различных труднодоступных местах, примыканиях и в обделках.

Стоимость покрытий в гражданском и промышленном строительстве в различных областях Украины колеблется от 1,5 до 4,3% полной стоимости зданий.

Как известно, стоимость обуславливается рядом факторов, к которым в первую очередь относятся сравнительно высокие цены на строительные материалы, отсутствие производства кровельных материалов на местах и т. д.

При экономическом анализе различных вариантов конструкций покрытий и кровель нельзя ограничиваться сопоставлением только первоначальных затрат; необходимо учитывать весь комплекс технико-экономических показателей, в том числе расходы на содержание и амортизационные отчисления с учетом нормативной долговечности кровель.

Техническое соответствие и экономическая эффективность конкретного конструктивного решения покрытия устанавливается технико-экономическим анализом.

Для этой цели сравнивают технико-экономические показатели различных вариантов покрытий с показателями общепринятых в практике строительства сходных элементов. Сравнение показателей производят для принятой единицы измерения - 100 м² площади покрытия.

Различные конструктивные решения покрытий сравнивают по стоимости основных строительных материалов, себестоимости строительных работ, трудовым затратам на строительной площадке, эксплуатационным расходам, весу материалов и конструкций.

Стоимость строительных работ складывается из прямых затрат производства и общепроизводственных расходов.

К прямым затратам, которые устанавливаются сметами, составляемыми по «Державним будівельним нормам», относятся: заработная плата рабочих, стоимость материалов и конструкций, включая расходы на транспорт и хранение, а также стоимость эксплуатации машин и механизмов и др.

Общепроизводственные расходы определяются согласно ДБН Д 1.1-1- 2000.

Согласно структуре прямых затрат, стоимость строительных работ (С) определяется по формуле, на 100 м²

$$C = ПЗ + ОПР,$$

где ПЗ - прямые затраты по смете; ОПР – общепроизводственные расходы

Таблица 1

Вид покрытия	Сметная стоимость (100 м ²) грн.	Трудоемкость (100 м ²) чел.-час.	Эксплуатационные затраты
Чердачное (асбестоце- ментные листы)	36310,3	428	ремонт 1 раз в 50 лет
Совмещенное (рулонное)	41355,6	228	ремонт 1 – 2 раза в 5 лет

Выводы и направления дальнейших исследований. Подводя итоги, отметим, что правильно сделанная чердачная крыша не только станет украшением нового дома, но и предоставит возможность рационально использовать все жилое пространство здания. При этом владельцу не понадобится расходовать лишние средства на обустройство и утепление, в последствии - многочисленные ремонты жилья. Должным образом утепленная крыша позволит добиться существенной экономии в отоплении, сделает дом по настоящему уютным и комфортным, без дополнительных затрат.

Современная архитектура скатных крыш, безусловно, интересна в своем многообразии и сложности решений, иногда поражая виртуозностью творческой мысли создателя и гармоничным сочетанием крыши со всем строением.

В дальнейших исследованиях планируется провести анализ эксплуатационных качеств различных материалов кровель, применяемых для крутонаклонных покрытий зданий и сооружений

Список литературы

1. А.И. Гармаш, И П Слипченко, М.Ф. Сокол. Ремонт кровель зданий и сооружений- К.; Будівельник, 1984 - 10с.
2. А.М. Кисина, Л.Л. Ладжгинская, С.Н. Попченко, В.Н. Трофимов – Новые гидроизоляционные и кровельные материалы и их долговечность,- М.; Энергия, 1980 -80с.
3. О.Т.Павлюк, И.П. Слипченко «Производство кровельных работ» К . Будівельник, 1980 – 122с.
4. В.А. Роганский, А.И. Костриц « Эксплуатационная надежность зданий « - Л. Стройиздат Ленинградское отделение 1983 -280 с.
5. ДБН Д 1.1.-1-2000 «Практика формирования отношений в строительстве».
6. Технические описания кровельных материалов.
7. ДБН В.2.6-14-97 «Покрытия здания и сооружений».
8. Битумно- полимерные кровельные и гидроизоляционные материалы. Обзорная информация ВНИИЭСМ-М.,1980. Серия 6. вып.1 - 44с.
9. Общие производственные нормы расхода материалов в строительстве. Сборник 09. Кровельные работы. Минстрой СССР-М., Стройиздат 1986 -56с.
10. Рекомендации по эксплуатации и ремонту кровель из рулонных материалов . ЦНИИПромзданий –м., Стройиздат. 1986 -41с.

Рукопись поступила в редакцию 07.03.14

УДК 622.831

Р.И. МАНУЙЛЕНКО, канд. техн. наук, И.А. ТУРБОР, аспирант
Институт прикладной математики и механики НАН Украины
Институт физики горных процессов НАН Украины

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ МАССИВА ПРИ ВЫЕМКЕ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

Проведено исследование состояния породного массива с разрабатываемым угольным пластом. Назад пластическую задачу о напряженном состоянии краевой части угля и упругую задачу о состоянии окружающих пород. Предложена методика определения газонасыщенности пласта.

Актуальность проблемы. Метан угольных предприятий является важным энергоресурсом. Промышленное производство позволит снизить зависимость от импортируемых ресурсов и повысить безопасность работ в шахтах. Различные модели описывают содержание и движе-

ние метана в породном массиве. Однако, на данный момент многие ученые считают, что движение метана в угле и в породах связано с напряженным состоянием пород.

Шахты вырабатывают угольные пласты, расположенные на глубине более 1000 м. Высокие темпы движения лавы создают условия для динамических явлений.

Давление пород определяет формирование и процессы развития в массиве и динамические явления при добыче полезных ископаемых [1-3].

Термодинамическая гипотеза связана с тем, что в исходном состоянии есть исходные элементы, которые при определенных условиях трансформируются в молекулу метана.

Такое формирование происходит в гиперсреде при высоком давлении и выделении энергии. Эта гипотеза всесторонне исследована М.М. Андреевым [1-3].

Анализ исследований и публикаций. Натурные наблюдения исследователей позволили установить, что в окрестности выработанного пространства угленосного массива формируются свод разгрузки и зона техногенных трещин.

Свойства угленосного массива разнообразны и изменчивы в каждом месте ведения горных работ.

Это связано не только с изменчивостью в широком диапазоне мощности тех или иных пластов, разгружаемых горными работами от геостатического давления, но также с непостоянством их физико-химических и, прежде всего, прочностных свойств.

Постановка задачи. В данной работе исследуется напряженное состояние породного массива при разработке угольного пласта.

На основании полученных данных необходимо спрогнозировать количество метана в угольном пласте и породах.

Отношения между напряжениями и деформациями выражены в общем виде с помощью закона Гука.

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} = b_{11}\sigma_x + b_{12}\sigma_y + b_{16}\tau_{xy}; \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} = b_{21}\sigma_x + b_{22}\sigma_y + b_{26}\tau_{xy} \quad (1)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = b_{61}\sigma_x + b_{62}\sigma_y + b_{66}\tau_{xy}$$

где b_{ij} - матричные коэффициенты, $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{xy}$ - напряжения, $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_{xy}$ - деформации, u, v - смещения пород.

Система уравнений теории упругости также включает уравнения равновесия

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0; \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0, \quad (2)$$

и условия совместимости деформаций

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} \quad (3)$$

Система сводится к дифференциальному уравнению в частных производных четвертого порядка.

$$b_{22} \frac{\partial^4 U}{\partial x^4} - b_{26} \frac{\partial^4 U}{\partial x^3 \partial y} + (b_{12} + b_{21} + b_{66}) \frac{\partial^4 U}{\partial x^2 \partial y^2} - b_{16} \frac{\partial^4 U}{\partial x \partial y^3} + b_{11} \frac{\partial^4 U}{\partial y^4} = 0 \quad (4)$$

Характеристическое уравнение является алгебраическим уравнением четвертой степени с постоянными коэффициентами.

$$b_{22}\mu^4 - b_{26}\mu^3 + (b_{12} + b_{21} + b_{66})\mu^2 - b_{16}\mu + b_{11} = 0 \quad (5)$$

Корни комплексные; это доказывается на основании закона сохранения энергии [4].

Напряжения выражены как функции обобщенных комплексных переменных

$$z_j = x + \mu_j y, \quad \sigma_x = 2 \operatorname{Re}(\mu_1^2 \Phi_1'(z_1) + \mu_2^2 \Phi_2'(z_2)), \quad \sigma_y = 2 \operatorname{Re}(\Phi_1'(z_1) + \Phi_2'(z_2)),$$

$$\tau_{xy} = -2 \operatorname{Re}(\mu_1 \Phi_1'(z_1) + \mu_2 \Phi_2'(z_2)),$$

$$u = 2 \operatorname{Re}(p_1 \Phi_1(z_1) + p_2 \Phi_2(z_2)) + u_0, \quad v = 2 \operatorname{Re}(q_1 \Phi_1(z_1) + q_2 \Phi_2(z_2)) + v_0. \quad (6)$$

Для ортотропных пород уравнение является биквадратным, а его корни чисто мнимые.

Задача напряженного состояния массива вблизи производства решается следующим образом.

Естественное состояние пород обусловлено их собственным весом.

$$\sigma_y^{(0)} = -\rho(H-y); \sigma_x^{(0)} = -\rho\lambda(H-y); \tau_{xy}^{(0)} = 0 \quad (7)$$

где ρ - плотность пород, λ - коэффициент бокового распора.

При разработке угольного пласта к начальному напряжению добавляется дополнительное поле.

$$\sigma_x = \sigma_x^{(0)} + \sigma_x^{(1)}, \sigma_y = \sigma_y^{(0)} + \sigma_y^{(1)}, \tau_{xy} = \tau_{xy}^{(0)} + \tau_{xy}^{(1)} \quad (8)$$

Граничные условия, пластическое состояние угольного пласта вблизи забоя. Краевые условия таковы. Нормальные и касательные усилия отсутствуют в свободном состоянии горных пород

$$\sigma_y = \tau_{xy} = 0, \quad -x_1 < x < x_1 \quad (9)$$

Пласт несжимаем вне зоны опорного давления.

$$v^+ = h, v^- = -h, x_n < |x|, \quad y = 0 \quad (10)$$

Угольные пласты вблизи выработанного пространства переходят в пластическое состояние под действием окружающих пород. Чтобы сформулировать граничные условия в зоне опорного давления, необходимо решить пластическую задачу определения напряжений в краевой части угольного пласта. В случае пластической анизотропии критерий пластичности был введен Мизесом[5].

$$\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{4g^2} + \tau_{xy}^2 = k^2 \quad (11)$$

g - параметр пластической анизотропии.

Уравнение связи напряжения и смещения

$$g^2 \frac{\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}}{\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2\tau_{xy}} \quad (12)$$

уравнение жесткости

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (13)$$

и уравнения равновесия добавляются к этому условию, образуя систему уравнений пластичности.

Касательные напряжения на контакте пород удовлетворяют формуле

$$\tau_{xy} = \pm r(x) = \mp k \frac{c(x-x_0)}{\sqrt{c^2(x-x_0)^2 + g^2}} \quad (14)$$

Коэффициенты c определяются экспериментально.

Система дифференциальных уравнений пластичности имеет гиперболический тип.

В этом случае внутри угольного пласта существуют два типа характеристических линий. Значения функций определены в точках пересечения линий одного типа с линиями другого. Пластическая зона разделяется на ограниченные зоны.

Напряжения и направления линий скольжения определяются из решения начальной характеристической задачи и смешанной задачи.

Численный метод позволяет решить начальную характеристическую задачу. Зона ограничена четырьмя линиями, на двух из которых уже известны напряжения. Координаты в узловых точках определяются путем решения разностных уравнений.

Способ позволяет найти координаты точек и напряжения в них с любой точностью во всей зоне.

Смешанная задача формулируется так. Зона ограничена двумя характеристиками и линией контакта, которая не является характеристической линией. Разделим сегменты на равные части, и с них проводят характеристические линии. Координаты узлов сетки и значение параметров в узловых точках находят из разностных соотношений. На контакте параметры определяются из граничных условий. Таким образом, напряженное состояние определено в данной зоне.

Действуя аналогичным образом, во всех зонах пласта, двигаясь по линиям скольжения, можно полностью определить напряжения.

Таким образом, в неупругой зоне угольного пласта известны вертикальные напряжения и касательные напряжения. На основе найденного решения сформулируем граничные условия. Для упрощения вычислений считаем, что напряжения в каждой зоне распределены линейно по координате

$$\sigma_y = -\gamma H \left(a_k \frac{x}{h} + c_k \right), \quad x \in (x_k; x_{k+1}), y = 0; \quad \sigma_y = -\gamma H \left(-a_k \frac{x}{h} + c_k \right), \quad x \in (-x_{k+1}; -x_k), y = 0; \quad (15)$$

$$k = 1, 2, \dots, n-1$$

Влияние выработки имеет локальный характер, поэтому граничное условие

$$\Phi'_1(\infty) = \Phi'_2(\infty) = 0 \quad (16)$$

Решение. Решение краевой задачи дается формулой Келдыша - Седова

$$F(z) = \frac{1}{2} + \sum_{k=1}^{n-1} \frac{a_k z + c_k}{2\pi i} \ln \frac{i\sqrt{z^2 - x_{k+1}^2} \sqrt{x_{k+1}^2 - x_k^2} - zx_k + x_{k+1}^2}{x_{k+1}(x_k - z)} - \sum_{k=1}^{n-1} \frac{-a_k z - c_k}{2\pi i} \ln \frac{i\sqrt{z^2 - x_{k+1}^2} \sqrt{x_{k+1}^2 - x_k^2} - zx_k - x_{k+1}^2}{x_{k+1}(-x_k - z)}$$

$$\Phi'_1(z_1) = \frac{\mu_2}{\mu_2 - \mu_1} F(z_1); \quad \Phi'_2(z_2) = \frac{\mu_1}{\mu_1 - \mu_2} F(z_2)$$

На рис. 1 показаны изолинии вертикальных напряжений в породах песчанистого сланца.

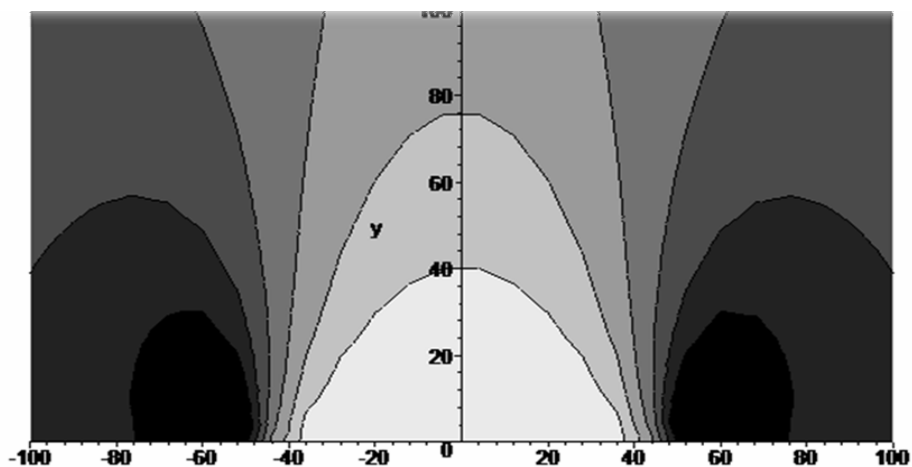


Рис. 1. Изолинии вертикальных напряжений в породах вблизи угольного пласта

Напряженное состояние напрямую влияет на распределение метана в угольном пласте и окружающих породах. Промышленный метаморфизм угольного пласта характеризуется тремя этапами:

повышение давления от геостатического давления до максимального значения;

снижение до значения исходного давления;

разгрузка угольного пласта, где напряжение является меньше по абсолютной величине, чем значение геостатического напряжения

Распределение метана. С увеличением напряжения сжатия в углеродных связях между атомами нарушаются, но потоки жидкости и газа отсутствуют.

Далее, давление в точке уменьшается. Атомы отделяются от макромолекулы.

Это приводит к фильтрации воды в угольный пласт.

Когда давление угольного пласта становится меньше по абсолютной величине, чем начальное напряжение, происходит частичное отслоение атомов углерода внутри угольного пласта.

Это приводит к увеличению газонасыщенности пласта.

Поскольку породы, согласно исследованиям М.М. Андреева [2], имеют большую проницаемость, чем уголь, большая часть метана из пласта поступает в породы.

Насыщение газа определяется по формуле

$$g(x, y, z, T) = \int_0^T (s(l_m) - s(l_0)) \frac{l_m - l_0}{l_m} \frac{H - l_0}{H} dt \quad (18)$$

$$s(H) = \sin\left(\frac{\pi H}{2 H_0}\right), l = \frac{\sigma}{\rho}$$

На рис. 2 показано прогнозируемое распределение метана на участке разгрузки угольного пласта (кривая 1), вычисленное по формуле (18), найденное по эмпирической формуле (кривая 2) и полученное экспериментально по данным метода магнитно-резонансной локализации недр (кривая 3).

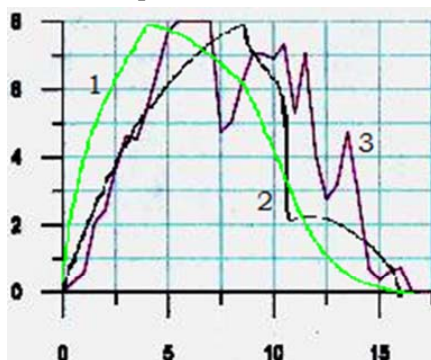


Рис. 2. Характер формирования метановых потоков

Сравнение результатов показывает, что формула (18) с высокой точностью описывает процессы формирования газовых потоков в угольном пласте.

В дальнейшем планируется исследовать фильтрацию метана в угле и породах, на основании исследований планируется предложить оптимальное расположение газодобывающих скважин

Список литературы

1. Андреев М.М. Критерии применения дегазации по способу и параметрам // Уголь Украины, 2000. - №8.
2. Андреев М.М. Технология управления термодинамикой угленосного массива // Уголь Украины, 2004. - №6.
3. Андреев М.М. Введение в термодинамику угленосного массива // Сб. докладов Международной науч.-техн. конференции «Форум горняков-2003». – Днепропетровск: НГАУ, 2003.
4. С.Г. Лехницкий Теория упругости анизотропного тела. – М.: Наука, 1977 – 416 с.
5. Левшин А.А., Мануйленко Р.И. Напряженно-деформированное состояние анизотропного массива горных пород // Теоретическая и прикладная механика, вып. 27.-1997.-С. 81-86.

Рукопись поступила в редакцию 07.03.14

УДК 621.313.2

В.А. ВЛАСЕНКО, ассистент, О.В. ІЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ВПЛИВ ВЗАЄМОІНДУКЦІЇ ФАЗ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНОГО ДВИГУНА НА ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

Здійснено якісний та кількісний аналіз впливу явища взаємоіндукції фаз вентильно-індукторного двигуна на його електромеханічні характеристики на основі математичного моделювання із застосуванням програмного пакету Matlab. Розроблено рекомендації щодо ефективної схеми ввімкнення фаз обмотки вентильного індукторного двигуна.

Ключові слова: взаємоіндукція, вентильно-індукторний двигун, схема ввімкнення

Актуальність роботи. За останній час вентильно-індукторні двигуни (ВІД) набувають активного розвитку, що передбачає здійснення поглиблених досліджень складних електромагнітних та механічних процесів при їх роботі. Отримані результати теоретичних досліджень мають прикладне значення, так як дозволяють підвищити енергетичні та експлуатаційні характеристики машин. Один із мало досліджених процесів роботи ВІД обумовлений явищем взаємоіндукції, яке проявляється як вплив магнітного потоку котушки однієї фази на потікозчеплення іншої фази.

Мета роботи. Метою даної роботи є виявлення характеру впливу взаємної індуктивності фаз на електромеханічні властивості індукторного двигуна, а також розробка відповідних рекомендацій для ефективного використання цього явища в процесі експлуатації машини.

Матеріали дослідження. В роботі [1] виконано дослідження явища взаємної індуктивності фаз вентильно-індукторної машини на основі польового підходу. Під час даного дослідження встановлено ряд положень: найбільше значення взаємної індуктивності мають суміжні фази; взаємоіндукція проявляється в більшій мірі при збільшенні числа полюсів статора; значення взаємної індуктивності складає 5-12% відносно власної індуктивності фази в залежності від конфігурації магнітної системи машини. Взаємоіндукція суміжних фаз може бути представлена аналітичною залежністю у вигляді ряду Фур'є

$$M_{kj} = \sum_{i=0}^N M_i \cos \left[ipz_2 \theta - \frac{\pi(2k-1)}{m} + (k-j) \frac{\pi(z_1 - z_2)}{z_1} \right] \quad (1)$$

де k, j – номери фаз, причому $j = k \pm 1$, так як розглядаються суміжні фази; N – кількість гармонік ряду Фур'є; i – номер гармоніки; p – кількість пар полюсів на фазу; θ – кут положення ротора; m – кількість фаз; z_1, z_2 – кількість полюсів статора і ротора відповідно; M_i – амплітуда i -тої гармоніки.

Система диференціальних рівнянь [2], що описують електромеханічні процеси індукторного двигуна, з урахуванням взаємоіндукції суміжних приймає наступний вигляд

$$\begin{cases} u_k = Ri_k + L_k(\theta, i_k) \frac{di_k}{dt} + \omega \frac{\partial L_k(\theta, i_k)}{\partial \theta} i_k \pm M_{kj}(\theta, i_j) \frac{di_j}{dt} \pm \omega \frac{\partial M_{kj}(\theta, i_j)}{\partial \theta} i_j \\ M_e = \frac{\partial L_k(\theta, i_k)}{\partial \theta} \cdot \frac{i_k^2}{2} \pm \frac{\partial M_{kj}(\theta, i_j)}{\partial \theta} \cdot \frac{i_j^2}{2} \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} \cdot (M_e - M_c) \\ \frac{d\theta}{dt} = \omega \end{cases} \quad (2)$$

де $k = 1 \dots m$ – номер фази; $j = k \pm 1$ – номери фаз, суміжних з k -ю фазою; u_k, i_k – відповідно напруга та струм k -ї фази; R – активний опір обмотки; L_k – власна індуктивність k -ї фази; M_{kj} – взаємоіндукція між фазами k та j ; M_e – електромагнітний момент двигуна; M_c – статичний момент навантаження; J – момент інерції; ω – кутова частота обертання ротора.

У наведеній системі рівнянь знак «+» перед останніми двома доданками першого рівняння та останнім доданком другого відповідає узгодженому з'єднанню суміжних фаз, тобто такому їх взаємному включенню при якому їх магнітні потоки направлені в одному напрямі.

Реалізувати такий режим роботи, при якому власний магнітний потік фази та створений суміжною фазою потік співпадають за напрямом в полюсі статора, можливо у випадку різноіменного ввімкнення суміжних фаз до джерела живлення. На рис. 1 схематично показано при такому з'єднанні фазних обмоток напрями власних потоків фаз (суцільні лінії) та потоків наведених суміжними фазами (штрихові лінії) на прикладі трифазної машини конструкції 6/4.

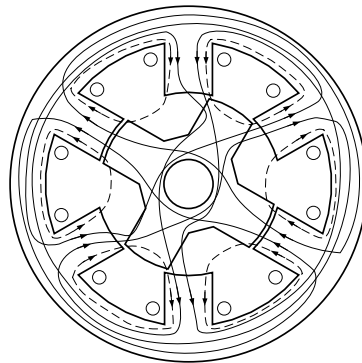


Рис. 1. Власні та наведені від суміжних фаз магнітні потоки

Відповідно до наведеної вище системи рівнянь розроблена та побудована імітаційна модель індукторного двигуна конфігурації 6/4 у віртуальному середовищі **Simulink** програмного пакету **Matlab**, зображення якої показано на рисунку 2. Параметри зразка двигуна відповідають представленим у джерелі [3]. На рис. 3 наведено структуру блоку, що виконує функцію однієї фази машини.

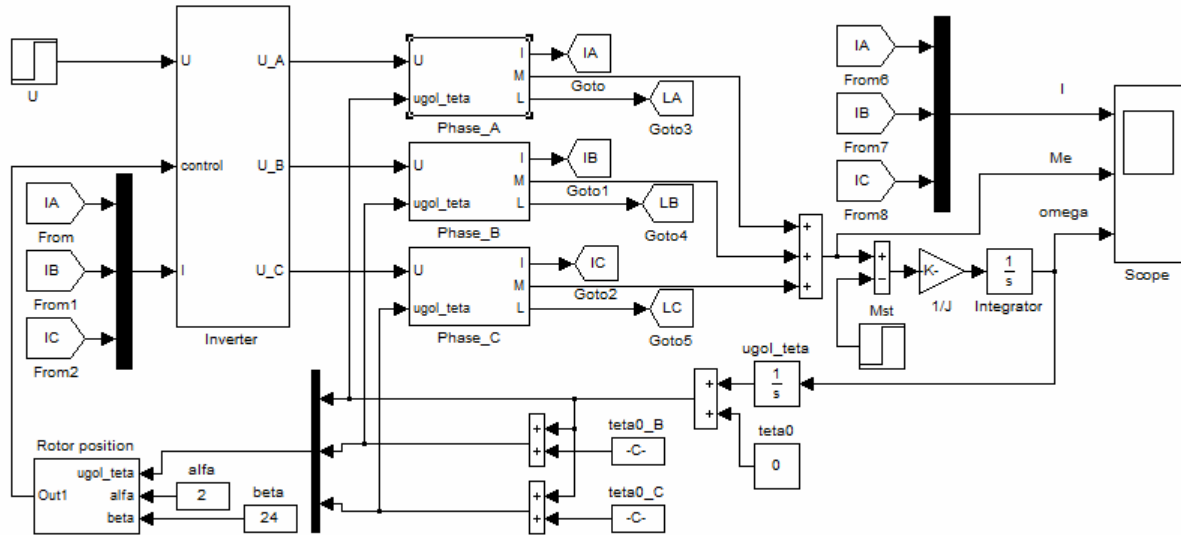


Рис. 2. Імітаційна модель ВІД з врахуванням взаєміндукції фаз

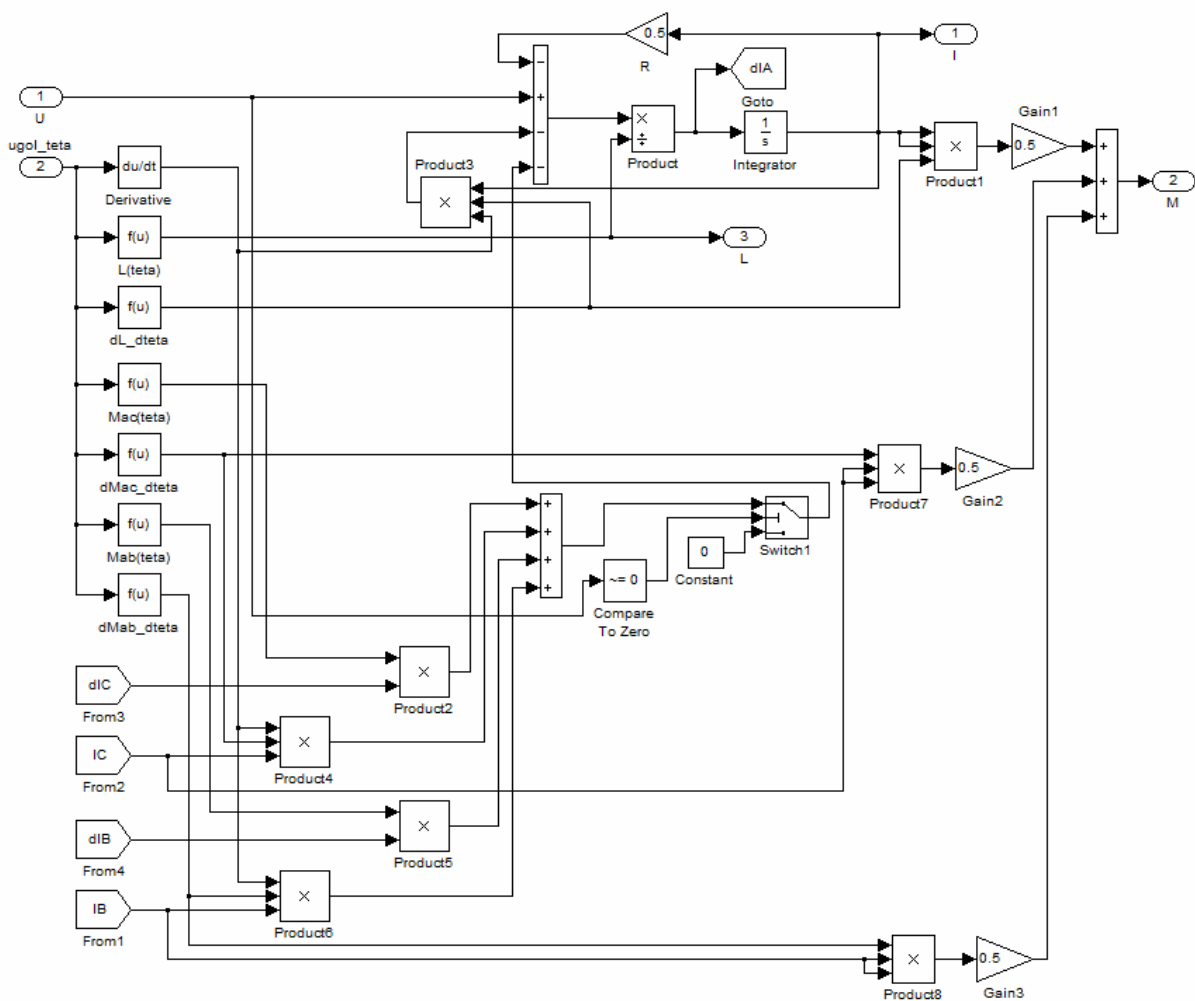


Рис. 3. Модель фази індукторного двигуна

У результаті обчислювального експерименту за допомогою розробленої моделі знято механічні характеристики індукторного двигуна для зустрічного та узгодженого ввімкнення суміжних фаз.

Отримані результати показані на рис. 4.

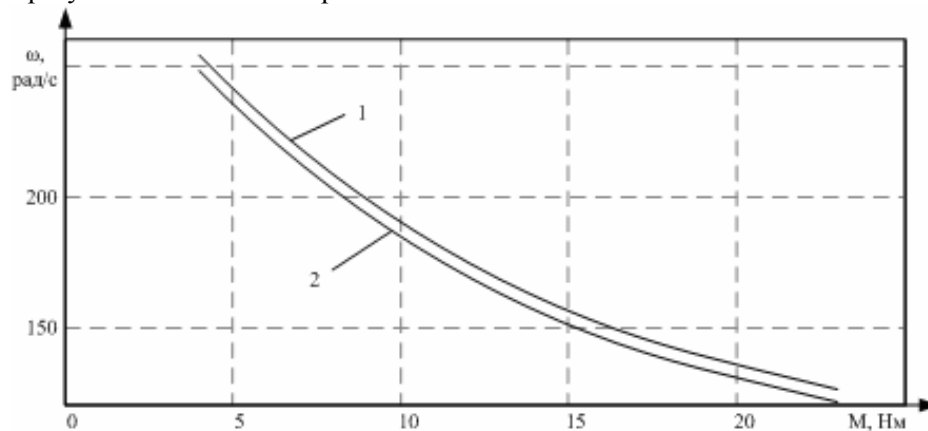


Рис. 4. Механічні характеристики ВІД

Крива 1 відповідає узгодженому ввімкненню суміжних фаз, тобто неодноразовому приєднанню обмоток до джерела, крива 2 – зустрічному, при якому обмотки ввімкнені одночасно.

У більшості джерел, наприклад [4], представлено схему ввімкнення фаз індукторного двигуна, за якої фази з'єднуються з джерелом живлення однойменно, тобто полярність обмоток усіх фаз однакова.

Аналізуючи вплив взаємодукції на характеристики двигуна, можна зробити висновок, що така схема являється менш ефективною, ніж різнойменне з'єднання фаз, при якому потужність на валу двигуна збільшується на 4-5 %.

Висновки. В даній роботі розроблено математичну модель вентильного індукторного двигуна з урахуванням взаємної індуктивності фаз.

За допомогою імітаційного моделювання доведено ефективність різнойменного вмикання до джерела живлення суміжних фаз з точки зору врахування явища взаємодукції.

Список літератури

1. **Власенко В.А.** Дослідження взаємодукції фаз вентильно-індукторного двигуна // Вісник НТУ ХП. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів, 2010 – №55, с. 3-8.
2. **Голландцев Ю.А.** Вентильные индукторно-реактивные двигатели. – СПб.: ГНЦ РФ – ЦНИИ «Электроприбор», 2003. – 148 с.
3. **Krishnan Ramu.** Switched reluctance motor drives: modeling, simulation, analysis, design, and applications. – Boca Raton London New York Washington, D.C., 2001. – 416 p.
4. **Кузнецов В.А., Кузьмичев В.А.** Вентильно-индукторные двигатели. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 70 с.

Рукопись поступила в редакцию 07.03.14

АНОТАЦІЇ

УДК 622.274.3

Письменный С.В.

Разработана классификация сложноструктурных залежей и методика расчета определения параметров целиков состоящих из безрудных включений при обработке блоков системами с открытым очистным пространством.

Письменный С. В. Відпрацювання складноструктурних покладів багатих руд камерними системами розробки

Розроблено класифікацію складноструктурних покладів і методика розрахунку визначення параметрів ціликів складаються з безрудних включень та відпрацюванні блоків системами з відкритим очисним простором.

Письменный С.В. Working off difficultly of structural beds of rich ores by the chamber systems of development

The classification of complex structure of deposits and calculation method of determining the parameters consist entirely of barren inclusions when mining blocks with open systems, wastewater treatment space.

УДК 622.235

Мец Ю.С., Антонов А.Ю. Эффективный комплекс буровзрывных работ при обработке уступов увеличенной высоты В статье показано, что с переходом к обработке глубоких горизонтов карьеров принятие мер по изменению параметров общепринятых элементов систем разработки приведет к ухудшению условий ведения горных работ. С увеличением глубины ведения горных работ производительность горнотранспортного оборудования существенно снижается. Решением проблемы может служить переход на обработку горизонтов уступами увеличенной высоты 30-60м.. В то же время было установлено, что применяемое буровое оборудование – станки СБШ-250 МН с диаметром скважин 250мм не позволяют эффективно обрабатывать высокие уступы. Анализ опыта ведения буровзрывных работ показал, что решение вопроса заключается в выборе оптимального диаметра скважинного заряда и специальных конструкций скважинных зарядов. Для конкретных горно-геологических условий взрывания выбор оптимального диаметра заряда всегда считался крайне важным и в научном, и, особенно, в практическом аспекте, так как с ним связаны задачи выбора оборудования при проектировании горных предприятий, направления конструкторских разработок новой буровой техники. В настоящей работе построена модель зависимости качества дробления пород от диаметра заряда и удельного расхода ВВ. Установлено, что с увеличением крепости пород и удельного расхода ВВ оптимальный диаметр заряда растет.

Использование предложенной конструкции забоечной части скважины позволит повысить КПД взрыва, снизить пылегазовые выбросы, улучшить качество дробления взорванной горной массы, т.е. повысить эффективность буровзрывного комплекса при обработке карьеров уступами увеличенной высоты.

Антонов А.Ю., Мец Ю.С. Эффективный комплекс буропідричних робіт при відпрацюванні уступів збільшеної висоти У статті показано, що з переходом до відробітку глибоких горизонтів кар'єрів неприйняття заходів по зміні параметрів загальноприйнятих елементів систем розробки приведе до погіршення умов ведення гірських робіт. Із збільшенням глибини ведення гірських робіт продуктивність гірничо-транспортного устаткування істотно знижується. Вирішення проблеми може служити перехід на відробіток горизонтів уступами збільшеної висоти 30-60 м. У той же час було встановлено, що вживане бурове устаткування - верстати СБШ- 250 МН з діаметром свердловин 250 мм не дозволяють ефективно відпрацьовувати високі уступи. Аналіз досвіду ведення буропідричних робіт показав, що вирішення питання полягає у виборі оптимального діаметру свердловинного заряду і спеціальних конструкцій свердловинних зарядів. Для конкретних гірничо-геологічних умов підривання вибір оптимального діаметру заряду завжди вважався украй важливим і в науковому, і, особливо, в практичному аспекті, оскільки з ним пов'язані завдання вибору устаткування при проектуванні гірських підприємств, напрямки конструкторських розробок нової бурової техніки. У даній роботі побудовано модель залежності якості дроблення порід від діаметру заряду і питомої витрати ВВ. Встановлено, що із збільшенням міцності порід і питомої витрати ВВ оптимальний діаметр заряду росте.

Використання запропонованої конструкції забієчної частини свердловини дозволить підвищити ККД вибуху, понизити пилогазові викиди, поліпшити якість дроблення підірваної гірської маси, тобто підвищити ефективність буропідривного комплексу при відробітку кар'єрів уступами збільшеної висоти.

Mets Ju.S., Antonov A.Ju. Effective complex of drillings and blasting at working off the ledges of megascopic height

It is shown in the article, that with passing to working off deep horizons of quarries non-acceptance of measures on the change of parameters of the generally accepted elements of the systems of development will result in worsening of terms of conduct of mountain works. With the increase of depth of conduct of mountain works the productivity of mine transport equipment goes down substantially. The decision of problem passing can serve as to working off horizons the ledges of megascopic height of 30-60 m. it was set At the same time, that the applied boring equipment is machine-tools of СБШ- 250 МН with the diameter of mining holes of 250 мм is not allowed effectively to work off high ledges. The analysis of experience of conduct of drillings and blasting showed that the decision of question consisted in the choice of optimal diameter of downhole charge and special constructions of downhole charges. For the concrete mining and geological conditions of exploding the choice of optimal diameter of charge always was considered extremely important and in scientific, and, especially, in a practical aspect, because to him the tasks of choice of equipment are related at planning of mountain enterprises, directions of designer developments of new boring technique. In the real work the model of dependence of quality of crushing of breeds is built from the diameter of charge and specific expense of ВВ. It is set that with the increase of fortress of breeds and specific expense of ВВ the optimal diameter of charge grows.

The use of the offered construction of забоечной part of mining hole will allow to promote КПД explosion, to reduce пылегазовые extrass, improve quality of crushing of gun-puffed mountain mass, i.e. to promote efficiency of drilling complex at working off quarries the ledges of megascopic height.

УДК 378.147

Швагер Н.Ю. Формы и методы организации самостоятельной работы студентов при преподавании технических дисциплин

В статье рассматривается проблема организации самостоятельной работы студентов, анализируются формы и методы самостоятельной работы, определена роль самостоятельной работы в профессиональном становлении будущего специалиста.

Швагер Н.Ю. Форми й методи організації самостійної роботи студентів при викладанні технічних дисциплін

У статті розглядається проблема організації самостійної роботи студентів, аналізуються форма й методи самостійної роботи, визначено роль самостійної роботи у професійному становленні майбутнього фахівця.

Shvager N.Ju. Forms and methods of organization of independent work of students at teaching of technical disciplines

The problem of organization of independent work of students is examined in the article, forms of and methods of independent work is analysed, the role of independent work is certain in the professional becoming of of the future of specialist.

УДК 622.235

Шапурін О.В., Швець Є.М., Скачков А.А. Диференційоване енергонасичення під час підривання уступів гірських порід

Диференційоване енергонасичення при підриванні уступів впроваджено на кар'єрі «Північний» ГЗК УкрМеханобр у 2011-2013 рр., яке передбачає змінення порядку виконання робіт на такий, що включає: буріння вибухового блоку парною кількістю рядів свердловин, формування у свердловинах парних рядів зарядів зменшеної маси на 30-50 %, а у непарних – повноцінних зарядів за паспортом, монтаж вибухової мережі виконується окремо для кожної пари рядів для забезпечення взаємопов'язаного спрацювання по два заряди у парі рядів, за рахунок першочергового підривання зменшеного заряду у другому ряду, і, через сповільнення, наступним підриванням повноцінного заряду у першому ряду, надалі, через сповільнення, відпрацьовують наступні пари зарядів, поки не закінчатся, тим часом, через сповільнення включаються в роботу заряди наступної пари рядів, розпочинаючи із зменшеного заряду у четвертому ряду, із розвитком процесу до повноцінного заряду у третьому ряду. За такого порядку підривання зарядів, основна взаємодія прямої хвилі напруг, що йтиме від зменшеного заряду у другому ряду, із відображеною від укусу уступу, відбудуватиметься перед першим рядом свердловин. В той же час, основну свою енергію ця пряма хвиля витратить в районі заряду, який її породив – у другому ряду, і до укусу уступу підійде значно знесилоною цим фактом, а також збільшенням площі розподілення її енергії у просторі, що матиме наслідком зменшену витрату ВР і збільшений ККД зарядів у всьому блоці.

УДК 624.31.2

Стриха В.А., Мороз О.С., Мороз А.О., Жуков С.О., Астахов В.І. Еколого-урбаністичне використання торфодернових килимів.

Виконано аналіз використання існуючих газонів для створення зелених зон міст і селищ. Аналіз типів і видів рослин, а також їхньої біології пояснює максимальну відповідність деяких з них міським умовам. Наведено переваги й недоліки газонів різних типів. Визначено сировинно-ресурсні передумови вирішення проблеми. Запропоновано для облаштування міських територій використовувати торфодернові килими. Обґрунтовано доцільність та ефективність запропонованих рішень.

Ключові слова: міське екологічне середовище; зелена зона; газон; торфодерновий килим.

Стриха В.А., Мороз А.С., Мороз А.А., Жуков С.А., Астахов В.И. Эколого-урбанистическое использования торфодерновых ковров.

Выполнен анализ использования существующих газонов для создания зеленых зон городов и поселков. Анализ типов и видов растений, а также их биологии объясняет максимальное соответствие некоторых из них городским условиям. Приведены преимущества и недостатки газонов различных типов. Определены сырьевые и ресурсные предпосылки решения проблемы. Предложено для обустройства городских территорий использовать торфодерновые ковры. Обоснована целесообразность и эффективность предлагаемых решений.

Ключевые слова: городская экологическая среда; зеленая зона; газон; торфодерновый ковер.

Strikha V.A., Moroz A.S., Moroz A.A., Zhukov S.A., Astakhov V.I. Ecological and urban use peat-turf carpets.

The analysis of the use of existing lawns to create green areas of cities and towns. Analysis of types and species plant and their biology explains the maximum matching some of these urban environments. The advantages and disadvantages of different types of lawns is defined. Definitely raw-resource preconditions solution. Proposed an arrangement for urban areas using peat-turf carpets. The appropriateness and effectiveness of the proposed solutions.

Keywords: urban ecological environment, green area, lawn, peat-turf carpet.

УДК 624.016

Харченко С.А., Жуков С.А., Паршин А.В., Паливода А.А. Графическая интерпретация результатов исследования упрочнения бетонного ядра трубобетонных элементов.

Приведены результаты экспериментов по упрочнению бетонного ядра в трубобетонных элементах и представлена их графическая интерпретация, которая упрощает визуализацию установленных исследованиями зависимостей.

Ключевые слова: трубобетонные элементы, бетонное ядро, упрочнение ядра, армирование, центрифугирование.

Харченко С.О., Жуков С.О., Паршин О.В., Паливода О.А. Графічна інтерпретація результатів дослідження зміцнення бетонного ядра трубобетонних елементів.

Наведено результати експериментів зі зміцнення бетонного ядра в трубобетонних елементах і представлено їх графічну інтерпретацію, що спрощує візуалізацію установлених дослідженнями залежностей.

Ключові слова: трубобетонні елементи, бетонне ядро, зміцнення ядра, армування, центрифугування.

Khartchenko S.A., Zhukov S.A., Parshyn A.V., Palivoda A.A. Graphical interpretation of the research results of hardening concrete pilled steel tubular elements.

The results of experiments on the hardening of concrete core in concrete pilled steel tubular structures and presented their graphic interpretation, which simplifies the visualization of the established research relationships

Keywords: Concrete pilled steel tubular elements, concrete core, core strengthening, reinforcement, centrifugation.

УДК 669.162.14: 65.011.14

Ревенко А.В., Ревенко О.А. Математическое моделирование влияния сырья на расход кокса и производительность в доменной плавке

Выявлены особенности формирования в объеме доменной печи смеси материалов из компонентов шихты и утрате ими свойства независимости как факторов процесса, вызывающее появление погрешности от взаимовлияния друг на друга всех компонентов смеси. Приведены адекватные стохастические математические модели в виде степенных функций, отражающих качественное влияние и количественные связи между удельным расходом сухого скипового кокса, удельной производительностью доменной печи объемом 5000 м³ с одной стороны и факторами производственного процесса выплавки передельного чугуна, включающими в свою совокупность смесевые компоненты, с другой стороны. Разработаны алгоритмы математического моделирования и пофакторного анализа влияния каждого компонента доменной шихты в общей совокупности факторов на основные параметры доменной плавки, позволяющие выполнять прогноз и оценку эффективности реализации технологических мероприятий.

Ревенко А.В., Ревенко О. А. Математичне моделювання впливу сировини на витрату коксу і продуктивність в доменній плавці

Виявлено особливості формування в об'ємі доменної печі суміші матеріалів з компонентів шихти і втраті ними властивості незалежності як чинників процесу, зухвала поява погрішності від взаємовпливу один на одного усіх компонентів суміші. Наведено адекватні стохастичні математичні моделі у вигляді степенних функцій, що відбивають якісний вплив і кількісні зв'язки між питомою витратою сухого скипового коксу, питомою продуктивністю доменної печі об'ємом 5000 м³ з одного боку і чинниками виробничого процесу виплавки передельного чавуну, що включають у свою сукупність сумішеві компоненти, з іншого боку. Розроблено алгоритми математичного моделювання і пофакторного аналізу впливу кожного компонента доменної шихти в загальній сукупності чинників на основні параметри доменної плавки, що дозволяють виконувати прогноз і оцінку ефективності реалізації технологічних заходів.

Revenko A.V., Revenko O.A. The mathematical design of influence of raw material on the expense of coke and productivity in the domain melting

Educed to the feature of forming in the volume of high furnace of mixture of materials from the components of charge and loss by them property of independence as factors of process, defiant appearance of error from взаимовлияния of on each other of all of the tools of mixture. Adequate stochastic mathematical models over are brought as sedate functions, reflecting high - quality influence and quantitative connections between the specific expense of dry скипового coke, by the specific productivity of high furnace by volume of 5000 m³ from one side and by the factors of productive process of smelting of передельного cast - iron, pluggings blenderized компоненты of in the aggregate, on the other hand. The algorithms of mathematical design and for factor analysis of influence of every component of domain charge are worked out in the general aggregate of factors on the basic parameters of the domain melting, allowing to execute a prognosis and estimation of efficiency of realization of technological measures.

УДК 621.771.01

Коренко М.Г., Присяжний А.Г., Сотсков В.С. Підвищення ступеня використання проектної потужності дресировальних станів цехів холодної прокатки

В статті обґрунтована можливість підвищення ступеня використання проектної потужності дресировального стану цеху холодної прокатки ПАТ «ММК ім. Ілліча» за рахунок розширення його функціонального призначення. При цьому запропоновано використовувати дресировальний стан як прокатно-дресировальний, що не вимагає значних фінансових витрат та створює сприятливі умови для розширення асортименту та підвищення точності геометричних розмірів холоднокатаних відносно тонких сталевих штаб.

Ключові слова: Холодна прокатка, математична модель, дресировальний стан, осередок деформації, енергосилові параметри, дрібність деформації, розширення асортименту, відносно тонкі сталеві штаби.

Коренко М.Г., Присяжний А.Г., Сотсков В.С. Повышение степени использования проектной мощности дрессировочных станов цехов холодной прокатки

В статье обоснована возможность повышения степени использования проектной мощности дрессировочного стана цеха холодной прокатки ПАО «ММК им. Ильича» за счет расширения его функционального назначения. При этом предложено использовать дрессировочный стан как прокатно-дресировочный, что не требует значительных финансовых затрат и создает благоприятные условия для расширения асортимента и повышения точности геометрических размеров холоднокатаных относительно тонких стальных листов.

Ключевые слова: Холодная прокатка, математическая модель, дрессировочный стан, очаг деформации, энергосиловые параметры, дробность деформации, расширение асортимента, относительно тонкие стальные листы.

Korenko M.G., Prisyazhnyi A.G., Sotskov V.S. Increased use of design capacity temper Mill department cold rolling
In the article the possibility of increased use of design capacity temper Mill department cold rolling PJSC "Ilyich Iron and Steel. Ilyich " through the expansion of its functional destination. Thus proposed to use temper Mill as rolled - temper Mill, that does not require significant financial costs and creates favorable conditions for expanding the gage and enhance precision geometrical dimensions cold rolled relatively thin steel sheet.

Key words: cold rolling, mathematical models, temper Mill, deformation zone, power parameters, fractional strain, expanding the gage, relatively thin steel sheets

УДК 669.162

Ткач В.В., Бабошко Д.Ю. Получение гранулированного чугуна и шлака из титаномагнетитового концентрата на кольцевой печи с вращающимся подом

Рассматривается возможность способа восстановления титаномагнетитового концентрата на кольцевой печи с вращающимся подом, с дальнейшим качественным механическим разделением на металлическую и шлаковую часть

Ткач В.В., Бабошко Д.Ю. Отримання гранульованого чавуну і шлаку з титаномагнетитового концентрату на кільцевій печі з обертовим подом

Розглядається можливість способу відновлення титаномагнетитового концентрату на кільцевій печі з обертовим подом, з подальшим якісним механічним розділенням на металеву і шлакову частину

Tkach V.V., Baboshko D.Yu. Receipt of granulated cast-iron and slag from titanomagnetite concentrate on a circular stove with revolved подом

Possibility of method of renewal of titanomagnetite concentrate is examined on a circular stove with revolved подом, with the further high-quality mechanical dividing into metallic and slag part

УДК 621.82:621.926.5

Малиновский Ю.А., Малиновская С.И., Малиновская А.Ю., Баранова О.И. К использованию двухкамерных мельниц для измельчения рудного сырья

Авторами выполнено обоснование эффективности использования двухкамерных шаровых мельниц для переработки железорудного сырья. Даны рекомендации по усовершенствованию конструкции барабана и приводных механизмов.

Малиновський Ю.А., Малиновська С. И., Малиновська А.Ю., Баранова О.І. До використання двокамерних млинів для подрібнення рудної сировини

Авторами виконано обґрунтування ефективності використання двокамерних кульових млинів для переробки залізорудної сировини. Дані рекомендації по удосконаленню конструкції барабана і приводних механізмів.

Malinovskiy Ju.A., Malinovskaja S.I., Malinovskaja A.Ju., Baranova O.I. To the use of double-chamber mills for growing of ore raw material shallow

Authors are execute the ground of efficiency of the use of double-chamber ball mills for processing of iron-ore raw material. Given to recommendation on the improvement of construction of drum and drive mechanisms.

УДК 669.162.16

Кассим Д.А. Влияние качества агломерата на технико-экономические показатели доменной плавки

Проанализированы возможности достижения высокого уровня технико-экономических показателей работы доменной печи объемом 2700 м³ при загрузке в печь высококачественного агломерата и прочного, мало истираемого кокса, совместно с применением технологии загрузки кускового антрацита, а также обеспечении температуры дутья на уровне 1100 °С и давления газа под колошником до 200 кПа.

Ключевые слова: агломерат, качество, доменная плавка, производительность, расход кокса

Kassim D.O. Вплив якості агломерату на техніко-економічні показники доменної плавки

Проаналізовано можливості досягнення високого рівня техніко-економічних показників роботи доменної печі об'ємом 2700 м³ при завантаженні в піч високоякісного агломерату і міцного, нестираного коксу, спільно з застосуванням технології завантаження кускового антрациту, а також забезпеченні температури дуття на рівні 1000 °С і тиску газу під колошником до 200 кПа

Ключові слова: агломерат, якість, доменна плавка, продуктивність, витрата коксу

Kassim D.A. Influence sinter quality for of technical and economic performance blast furnace

The possibilities of achieving a high level of technical and economic performance of the blast furnaces of 2700 m³ for loading high-quality sinter furnace and durable, an abrasion-resistant coke, together with application of load lump anthracite coal, as well as ensuring the temperature of the blast at 1000 °C and a pressure a gas furnace throat to 200 kPa.

Keywords: agglomerate, quality, blast melting, performance, consumption of coke

УДК 622.785:669.162

Лялюк В.П., Журавлев Ф.М., Кассим Д.А., Соколова В.П., Оторвин П.И., Захарченко В.Н. Оценка колеблемости качества агломерата аглоцехов АМКР

Агломерационные цеха аглодоменного департамента ПАТ “АрселорМиттал Кривой Рог” нуждаются в глубокой реконструкции с использованием как новой технологии так и нового технологического оборудования, начиная с рудного двора и заканчивая обработкой готовой продукции, с целью производства высококачественного агломерата для современной доменной плавки.

Ключевые слова: агломерат, содержание железа, основность, прочность, оборудование.

Лялюк В.П., Журавлев Ф.М., Кассим Д.О., Соколова В.П., Оторвин П.І., Захарченко В.М. Оцінка коливання якості агломерату аглоцеху АМКР

Агломераційні цеху аглодоменного департаменту ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” потребують глибокої реконструкції з використанням як нової технології так і нового технологічного обладнання, починаючи з рудного двору і закінчуючи обробкою готової продукції, з метою виробництва високоякісного агломерату для сучасної доменної плавки.

Ключові слова: агломерат, вміст заліза, основність, міцність, обладнання.

Lyalyuk V. P., Zhuravlev F.M., Kassim D.A., Sokolova V.P., Otorvin P. I., Zaharchenko V.N. Evaluation oscillation of sinter quality sinter plants AMKR

Sinter plant blast furnace department “ArcelorMittal Krivoy Rog” in need of a deep reconstruction using a new technology and new equipment from the ore yard and finishing processing of finished products, with the aim of producing high-quality sinter for modern blast furnace.

Key words: sinter, iron content, basicity, strength, equipment.

УДК 332.6: 631.95

Паламар А.Ю., Маланчук М.С. Особливості визначення нормативної грошової оцінки в межах населених пунктів розташованих в зоні впливу гірничо-металургійних підприємств. Стан навколишнього природного середовища можна розглядати як один із найважливіших, а в деяких випадках — навіть як визначальний фактор, що впливає на ціну земельної ділянки в промислових районах. Цей фактор має визначитися, по-перше, на основі глибокого аналізу всієї багатоманітності екологічних впливів на землю та нерухоме майно і, по-друге, — із застосуванням чіткої класифікації цих впливів, яка б дала змогу уніфікувати процедури їхньої оцінки. Отже, застосування запропонованого значення коефіцієнта дасть можливість достовірніше обчислити вартість земель тих територій що є порушеними в різних відношеннях, але не використовуються як землі промисловості. Це свідчить про те, що нормативна грошова оцінка земель із особливими характеристиками залежить від зон комфортності проживання (що характеризується коефіцієнтом Клк), що дасть можливість оцінити їх об'єктивну вартість з урахуванням ступеня їхнього техногенного порушення. Такий підхід дасть можливість реально визначити орендну плату чи земельний податок для тих земельних ділянок які є забрудненими та порушеними, але не використовуються як землі досліджень та розробок, гірничої промисловості та гірничих розробок і як землі промисловості.

Паламар А.Ю., Маланчук М.С. Особенности определения нормативной денежной оценки в пределах населенных пунктов расположенных в зоне влияния горно-металлургических предприятий. Состояние окружающей природной среды можно рассматривать как один из важнейших, а в некоторых случаях - даже как определяющий фактор, влияющий на цену земельного участка в промышленных районах. Этот фактор должен определяться, во-первых, на основе глубокого анализа всей многообразия экологических воздействий на землю и недвижимое имущество и, во-вторых, - с применением четкой классификации этих воздействий, которая позволила унифицировать процедуры их оценки. Таким образом, применение предложенного значения коэффициента позволит достоверно вычислить стоимость земель тех территорий являющихся на рушеними в разных отношениях, но не используются как земли промышленности. Это свидетельствует о том, что нормативная денежная оценка земель с особыми характеристиками зависит от зон комфортности проживания (что характеризуется коэффициентом Клк), что даст возможность оценить их объективную стоимость с учетом степени их техногенного нарушения. Такой подход даст возможность реально определить арендную плату или земельный налог для тех земельных участках которые загрязнены и возмущенным, но не используются как земли исследований и разработок, горной промышленности и горных разработок и как земли промышленности.

Palamar A.Ju., Malanchuk M.S. Features determining normative monetary evaluation within settlements located in the zone of influence of mining and metals companies. State environmental se - redovyscha be regarded as one of the most important, and in some cases - even as a determining factor that influences the price of land in industrial areas. This factor should be determined first, based on a thorough analysis of the environmental impacts of diversity in land and immovable property and, secondly, - the use of a clear classification of these influences that would unify allowed the procedure for their evaluation. Thus, the application of the proposed coefficient will enable dostovir - girl before to calculate the value of the land areas that are affected in different ways, but not used as industrial land. This suggests that the normative monetary land valuation of the special characteristics depend on the comfort zone of residence (which is characterized by the coefficient Klk), which will enable them to evaluate the objective value, taking into account their degree of anthropogenic disturbances. This approach will enable the imple - flax determine the rent or land tax for those Land that is contaminated and disturbed, but not used as earth research and development, mining and mine development and as industrial land

УДК 622.271

Перегудов Ю.В. Расчет технологических параметров процесса заполнения пустот закладочным материалом

В статье изложено теоретическое обоснование параметров закладочных скважин, для погашения подземных пустот в карьере. При этом материалом закладки является дробленая сухая скальная масса. Закладка осуществляется с поверхности, то есть с рабочих уступов карьеров.

На основании анализа, а также использования принципов теоретической механики движения сыпучих сред, проведено исследование влияния крупности движущегося в скважине куска на возможную скорость движения материала в скважине. Получено эмпирическое выражение минимально допустимого размера породных частиц, для условия нормальной проходимости скважины.

Рассчитаны значения возможной теоретической пропускной способности скважины, в зависимости от ее диаметра и угла наклона относительно горизонта.

Полученные зависимости позволяют подобрать рациональное буровое оборудование для проходки скважин. В дальнейших исследованиях планируется разработка и исследования возможных технологических схем доставки и подачи закладочного материала в скважины.

Перегудов Ю.В. Розрахунок технологічних параметрів процесу заповнення порожнин закладним матеріалом

В статті виконане теоретичне обґрунтування параметрів закладних свердловин для погашення підземних порожнин в кар'єрі. При цьому, матеріалом закладки є мелена суха скальна маса. Закладка виконується з поверхні, тобто з робочих уступів кар'єрів.

На основі аналізу та використанні принципів теоретичної механіки руху сипучих середовищ, проведено дослідження впливу крупності матеріалу, що подається в свердловину на імовірну швидкість його руху. Отримане емпіричний вираз мінімально допустимого розміру породних часток, для умов нормальної проходимості свердловин.

Розраховані значення можливої теоретичної пропускної спроможності свердловини, в залежності від її діаметра та кута нахилу відносно горизонту.

Отримані залежності дозволяють підібрати раціональне бурове устаткування для проходки свердловин. В подальших дослідженнях планується розробка та дослідження можливих технологічних схем доставки та подачі закладки до свердловин.

Peregudov Y. Calculation technological parameters of process fill voids of stowing material

The article describes theoretical justification parameters of filling wells for repayment of underground cavities in open pit. Material is crushed dry rock mass. Filling is carried out from the surface that is with work benches of open pit.

Based on the analysis, and the use of the principles of theoretical mechanics of motion of granular media, studied the effect of particle size in the hole moving piece on the possible speed of the material in the well. An empirical expression of the minimum size of rock particles, the conditions for normal terrain well.

Calculated the values of possible theoretical capacity well, depending on its diameter and angle relative to the horizon.

The obtained dependences allow to pick up a rational drilling equipment for borehole. Further research is planned to develop and investigate possible technological schemes of delivery and supply the packing material in the well.

УДК 332.6: 631.95

Паламар А.Ю., Маланчук М.С. Особливості визначення нормативної грошової оцінки в межах населених пунктів розташованих в зоні впливу гірничо-металургійних підприємств. Стан навколишнього природного середовища можна розглядати як один із найважливіших, а в деяких випадках — навіть як визначальний фактор, що впливає на ціну земельної ділянки в промислових районах. Цей фактор має визначитися, по-перше, на основі глибокого аналізу всієї багатоманітності екологічних впливів на землю та нерухоме майно і, по-друге, — із застосуванням чіткої класифікації цих впливів, яка б дала змогу уніфікувати процедури їхньої оцінки. Отже, застосування запропонованого значення коефіцієнта дасть можливість достовірніше обчислити вартість земель тих територій що є порушеними в різних відношеннях, але не використовуються як землі промисловості. Це свідчить про те, що нормативна грошова оцінка земель із особливими характеристиками залежить від зон комфортності проживання (що характеризується коефіцієнтом Клк), що дасть можливість оцінити їх об'єктивну вартість з урахуванням ступеня їхнього техногенного порушення. Такий підхід дасть можливість реально визначити орендну плату чи земельний податок для тих земельних ділянок які є забрудненими та порушеними, але не використовуються як землі досліджень та розробок, гірничої промисловості та гірничих розробок і як землі промисловості.

Паламар А.Ю., Маланчук М.С. Особенности определения нормативной денежной оценки в пределах населенных пунктов расположенных в зоне влияния горно-металлургических предприятий. Состояние окружающей природной среды можно рассматривать как один из важнейших, а в некоторых случаях - даже как определяющий фактор, влияющий на цену земельного участка в промышленных районах. Этот фактор должен определяться, во-первых, на основе глубокого анализа всей многообразия экологических воздействий на землю и недвижимое имущество и, во-вторых, - с применением четкой классификации этих воздействий, которая позволила унифицировать процедуры их оценки. Таким образом, применение предложенного значения коэффициента позволит достоверной нише вычислить стоимость земель тех территорий являющихся на рушеними в разных отношениях, но не используются как земли промышленности. Это свидетельствует о том, что нормативная денежная оценка земель с особыми характеристиками зависит от зон комфортности проживания (что характеризуется коэффициентом Клк), что даст возможность оценить их объективную стоимость с учетом степени их техногенного нарушения. Такой подход даст возможность реально определить арендную плату или земельный налог для тех земельных участках которые загрязнены и возмущенным, но не используются как земли исследований и разработок, горной промышленности и горных разработок и как земли промышленности.

A. Y. Palamar, M. S. Malanchuk. Features determining normative monetary evaluation within settlements located in the zone of influence of mining and metals companies. State environmental se - redovyscha be regarded as one of the most important, and in some cases - even as a determining factor that influences the price of land in industrial areas. This factor should be determined first, based on a thorough analysis of the environmental impacts of diversity in land and immovable property and, secondly, - the use of a clear classification of these influences that would unify allowed the procedure for their evaluation. Thus, the application of the proposed coefficient will enable dostovir - girl before to calculate the value of the land areas that are affected in different ways, but not used as industrial land. This suggests that the normative monetary land valuation of the special characteristics depend on the comfort zone of residence (which is characterized by the coefficient Klk), which will enable them to evaluate the objective value, taking into account their degree of anthropogenic disturbances. This approach will enable the imple - flax determine the rent or land tax for those Land that is contaminated and disturbed, but not used as earth research and development, mining and mine development and as industrial land.

УДК 528.482.4

Куліковська О.Є., Стеценко В.В. Математична модель розвитку деформаційних процесів газорозподільного пункту №1 дп «Криворізька теплоцентраль»

Розглянуто особливості розвитку деформаційних процесів газорозподільного пункту №1, однієї із споруд технологічного комплексу ДП «Криворізька теплоцентраль», та обґрунтовано необхідність проведення систематичного геодезичного моніторингу. Отримані дані рекомендується використовувати при складанні графіків планово-попереджувальних ремонтів досліджуваної споруди.

Ключові слова: деформації, осідання, інженерні споруди, глибинні репери, осадові марки, геометричне нівелювання, інженерно-геологічні умови, гірничі роботи, висотна геодезична мережа.

Куликовская О.Е., Стеценко В.В. Математическая модель развития деформационных процессов газораспределительного пункта №1 ДП "Криворожская теплоцентраль"

Рассмотрены особенности развития деформационных процессов газораспределительного пункта №1, одного из сооружений технологического комплекса ГП «Криворожская теплоцентраль», и обоснована необходимость проведе-

ния систематического геодезического мониторинга. Полученные данные рекомендуется использовать при составлении графиков планово-предупредительных ремонтов исследуемого сооружения.

Ключевые слова: деформации, оседания, инженерные сооружения, глубинные реперы, осадочные марки, геометрическая нивелировка, инженерно-геологические условия, горные работы, высотная геодезическая сеть.

Kulikovskaya O. E., Stetsenko V.V. The mathematical model of development of deformation processes of gas-distributing point № of 1 ДП the "Kryvorozkaya heating plant"

Considered the features of deformation processes timing point №1, one of the structures of the technological complex of the SE «Krivorizska heating plant», and the necessity of systematic surveying monitoring. The obtained data it is recommended to use the charting of scheduled preventive maintenance of the investigated structures.

Keywords: deformations, settling, engineerings building, deep bench mark, lodging brands, geometrical leveling, engineer-geological terms, mountain works, height geodesic network.

УДК 624.05; 629.014.7

Валовой О.І., Валовой М.О., Єрьоменко О.Ю. Нове обладнання і технології для виготовлення, транспортування і подачі бетону

Зростає попит на якісні будівельні матеріали, у тому числі й на товарний бетон. Головна проблема в питаннях обладнання для виробництва, транспортування й подання товарного бетону - наявність великої кількості морально й фізично застарілої бетонної техніки, на якій неможливо стабільно випускати необхідні марки бетону, через пріоритет людського фактора в технологічних процесах.

Виготовити якісний бетон можна лише на сучасному обладнанні. Виготовити якісний бетон - це півсправи, важливо своєчасно доставити й укласти його в конструкцію.

Описано проблеми виробництва, транспортування і подачі бетонної суміші. Відзначено важливість вірного вибору обладнання. Виконано моніторинг виробників представлених на Українському ринку.

Своєчасна доставка товарного бетону на будівельний об'єкт важлива, але не єдина складова його якості. Обов'язкове дотримання правил збагачення з бетоном під час подання й укладання його в будівельну конструкцію - відповідальний етап, що впливає на якість об'єкта.

Зроблено висновки щодо подальших напрямків роботи розробникам і зазначені основні завдання конструкторам.

Незважаючи на значні успіхи з виготовлення й використання сучасного обладнання для виробництва та доставки товарного бетону розробникам надалі потрібно працювати над тим, щоб: збільшити довговічність бетонної техніки за рахунок підвищення захисту конструкції вузлів і агрегатів від зносу й корозії; збільшити рівень надійності головних вузлів і агрегатів; знизити металоємність конструкцій заводів за рахунок оптимізації конструкторських розрахунків без зниження його якісних даних. Розглядаючи обладнання для подання бетону, а також розвиток будівельної галузі, можна з упевненістю говорити про те, що основним завданням, яке стоїть перед конструкторами при розробці нових моделей бетононасосів, залишається збільшення висоти подання бетону. При цьому актуальним питанням залишається підвищення надійності конструкції, зниження або збереження на колишньому рівні маси й габаритної довжини установки в транспортному положенні, її стійкості при роботі та безпеки.

Також слід звернути увагу на систему моніторингу руху автотранспорту.

Ключові слова: виробництво, транспортування, подача, бетонна суміш, обладнання.

Валовой О.І., Валовой М.О., Еременко О.Ю. Новое оборудование и технологи для изготовления, транспортировки и подачи бетона

Растет спрос на качественные строительные материалы, в том числе и на товарный бетон. Главная проблема в вопросах оборудования для производства, транспортировки и подачи товарного бетона - наличие большого количества морально и физически устаревшей бетонной техники, на которой невозможно стабильно выпускать требуемые марки бетона, из-за приоритета человеческого фактора в технологических процессах. Изготовить качественный бетон можно лишь на современном оборудовании. Изготовить качественный бетон - это полдела, важно своевременно доставить и уложить его в конструкцию. Важно верно выбрать новое оборудование и технологии для изготовления, транспортирования и подачи бетона. Описаны проблемы производства, транспортировки и подачи бетонной смеси. Отмечена важность правильного выбора оборудования. Выполнен мониторинг производителей представленных на Украинском рынке. Своевременная доставка товарного бетона на строительный объект важная, но не единственная составляющая его качества. Обязательное соблюдение правил обогащения с бетоном во время подачи и укладки его в строительную конструкцию - ответственный этап, влияющий на качество объекта. Сделаны выводы о дальнейших направлениях работы разработчикам и указаны основные задачи конструкторам. Рассматривая оборудование для подачи бетона, а также развитие строительной отрасли, можно с уверенностью говорить о том, что основной задачей, которая стоит перед конструкторами при разработке новых моделей бетононасосов, остается увеличение высоты подачи бетона. При этом актуальным вопросом, остается повышение надежности конструкции, снижение или сохранение на прежнем уровне массы и габаритной длины установки в транспортном положении, ее устойчивости при работе и безопасности. Следует обратить внимание на систему мониторинга движения автотранспорта.

Ключевые слова: производство, транспортировка, подача, бетонная смесь, оборудование.

The demand on the building material of high quality including salable concrete has been growing. The main problem of equipment for salable concrete production, transportation and conveying is in large number of obsolete and worn-out facilities. These concrete facilities make impossible the stable production of required concrete grades because of priority of the human factor in technological processes.

The qualitative concrete can be produced using modern equipment only. To produce qualitative concrete is half done. It is important to deliver it and pour it into structure in due time.

The problems of the concrete mixture production, transporting and conveying are described. The importance of the right equipment choice is noted. The monitoring of the manufacturers on the Ukrainian market is made.

In-time concrete delivery is very important but not the only component of its quality. Strict following the rules during its delivery and filling into construction is a very important stage influencing on the project's quality.

The conclusions concerning the subsequent working directions for developers are made. The main tasks for designers are pointed out.

Taking into consideration, the equipment for concrete conveying and also concrete industry development, we can say for sure that the main task for designers, who deal with the new models of the concrete pumps still remains the increasing of the conveying height. At the same time, the urgent issue is also the safety increasing, lowering or keeping mass on the same level and overall length of the processing unit in transport position, its stability during the operation process and safety.

The attention should be also paid at the monitoring system of motor transport movement.

Key words: manufacturing, transporting, conveying, concrete mixture, equipment.

УДК 528.44

Тімченко Р.О., Попов С.О., Крішко Д.А., Богатинський А.В., Шевчук О.В., Петрова Л.В. Використання цифрової моделі рельєфу для раціонального застосування території

У даній статті розглядається питання використання цифрової моделі рельєфу для раціонального застосування території.

Цифрова модель рельєфу – засіб цифрового представлення тривимірних просторових об'єктів (поверхонь, рельєфів) як сукупності висотних відміток або відміток глибин і інших значень аплікату (координати Z) у вузлах регулярної мережі з використанням матриці висот, нерегулярної трикутної мережі, або як сукупність ізоліній.

Інформація, покладена в основу цифрової моделі рельєфу надалі може використовуватися фахівцями при рішенні наступних завдань: прогнозування розвитку, планування і забудови; розміщення, проектування, будівництво і реконструкція об'єктів житлово-цивільного, виробничого, комунального і іншого призначення; охорона пам'яток архітектури, регенерація історичних поселень; створення соціальної, інженерної і транспортної інфраструктури; регулювання земельних стосунків на відповідних територіях; облік власників і користувачів будівель і споруд; контроль за раціональним використанням територіальних ресурсів; аналіз реалізації затвердженої містобудівної документації та ін.

Великою перевагою використання цифрової моделі є те, що користувач працює не в системі координат паперового листа, а в реальній тривимірній системі. В цьому випадку проектувальник може оцінювати свій проект комплексно, без відриву від міського середовища, з урахуванням існуючих і спроектованих інженерних комунікацій, транспортної доступності. Подібні тривимірні моделі, інтегруючи в собі різномірні векторні і растрові дані, дозволяють краще оцінити тенденції забудови території, допомагають дизайнерам при плануванні. Їх корисно використовувати в різних областях діяльності при усебічній оцінці поточної ситуації в районі міста, що розглядається, або при його переплануванні.

Ключові слова: цифрова модель рельєфу, геоінформаційні системи, карти.

Тімченко Р.А., Попов С.А., Крішко Д.А., Богатинський А.В., Шевчук А.В., Петрова Л.В. Использование цифровой модели рельефа для рационального применения территории

В данной статье рассматривается вопрос использования цифровой модели рельефа для рационального применения территории.

Цифровая модель рельефа – средство цифрового представления трехмерных пространственных объектов (поверхностей, рельефов) как совокупности высотных отметок или отметок глубин и других значений аппликату (координаты Z) в узлах регулярной сети с использованием матрицы высот, нерегулярной треугольной сети, или как совокупность изолиний. Информация, положенная в основу цифровой модели рельефа в дальнейшем может использоваться специалистами при решении следующих задач: Прогнозирование развития и планирования застройки; Размещение, проектирование, строительство и реконструкция объектов жилищно-гражданского, производственного, коммунального и другого назначения; Охрана памятников архитектуры, регенерация исторических поселений; Создание социальной, инженерной и транспортной инфраструктуры; Регулирование земельных отношений на соответствующих территориях; Учет собственников и пользователей зданий и сооружений; Контроль над рациональным использованием территориальных ресурсов; Анализ реализации утвержденной градостроительной документации и др.

Большим преимуществом использования цифровой модели является то, что пользователь работает не в системе координат бумажного листа, а в реальной трехмерной системе. В этом случае проектировщик может оценивать свой проект комплексно, без отрыва от городской среды, с учетом существующих и проектируемых инженерных коммуникаций, транспортной доступности. Подобные трехмерные модели, интегрирующие в себе разнородные векторные и растровые данные, позволяющие лучше оценить тенденции застройки территории, помогают дизайнерам при планировании. Их полезно использовать в различных областях деятельности при всесторонней оценке текущей ситуации в рассматриваемом районе города, или при его перепланировке.

Ключевые слова: цифровая модель рельефа, геоинформационные системы, карты.

Timchenko R.O., Popov S.O., Krishko D.A., Bogatynsky A.V., Shevchuk A.V., Petrova L.V. The use of digital model of the relief for the rational use of the territory

This article addresses the question of the use of the digital terrain model for the rational use of the territory.

A digital model of relief is a mean of digital presentation of three-dimensional spatial objects (surfaces, reliefs) as aggregates of pitch marks or marks of depths and other values of applicat (co-ordinates of Z) in the knots of regular network with the use of matrix of heights, irregular three-cornered network, or as an aggregate of isolines.

Information, fixed in basis of digital model of relief in future can be used by specialists at the decision of the next tasks: prognostication of development, planning and building; placing, planning, building and reconstruction of objects of the dwelling-civil, productive, communal and other setting; guard of monuments of architecture, regeneration of historical settlements; creation of social, engineering and transport infrastructure; adjusting of the landed relations on corresponding terri-

tories; account of proprietors and users of building and building; control after the rational use of territorial resources; analysis of realization of the ratified town-planning documentation and other.

Large advantage of the use of digital model is that the user works not in the system of co-ordinates of paper sheet, but in the real of three-dimensional system. In this case a designer can estimate the project complex, without tearing away from a municipal environment, taking into account existent and designed engineering communications, transport availability. Similar three-dimensional models, integrating in itself heterogeneous vector and raster data, allow better to estimate the tendencies of land development, help designers at planning. It is useful to use them in the different areas of activity at the comprehensive estimation of current situation in a district, that is examined, or at its resiting.

Keywords: digital elevation model, geographic information systems maps.

УДК 680.3

Тімченко Р.О., Попов С.О., Крішко Д.А., Кравченко М.О., Чугай Ю.В., Шевчук О.В., Петрова Л.В. ГІС у системі територіального планування та управління територією

У даній статті розглядається питання використання ГІС у системі територіального планування та управління територією.

Ключові слова: геоінформаційні системи, система територіального планування та управління територією, містобудівна діяльність.

Тимченко Р.А., Попов С.А., Крішко Д.А., Кравченко М.О., Чугай Ю.В., Шевчук А.В., Петрова Л.В. ГИС в системе территориального планирования и управления территорией

В данной статье рассматривается вопрос использования ГИС в системе территориального планирования и управления территорией.

Ключевые слова: геоинформационные системы, система территориального планирования и управления территорией, градостроительная деятельность.

Timchenko R.O., Popov S.O., Krishko D.A., Kravchenko M.O., Chugai J.V., Shevchuk A.V., Petrova L.V. The GIS in the system of spatial planning and management of the territory

This article addresses the question of the use of GIS in the system of spatial planning and management of the territory.

Keywords: geoinformation systems, system of territorial planning and management of the territory, town-planning activity.

УДК 504.6: 622.73: 534.83

Арутюнян А.Р., Афанасьев В.Д. Ударный шум при гравитационном транспортировании и средства его снижения.

Приведены данные о профессиональной тугоухости, уровнях звукового давления и уровнях звука при гравитационном транспортировании руды и дана оценка эффективности снижения ударного шума различными типами футеровок. Показана возможность снижения передачи и излучения ударного шума на 10÷15 дБ в широком диапазоне частот при использовании резиновых и резино-металлических футеровок.

Ключевые слова: шум, тугоухость, транспортирование, руда, удар, футеровка, снижение шума.

УДК 504.6: 622.73: 534.83

Арутюнян А.Р., Афанасьев В.Д. Ударний шум при гравітаційному транспортуванні та засоби його зниження.

Наведено дані про професійну приглухуватість, рівнях звукового тиску і рівнях звуку при гравітаційному транспортуванні руди та дана оцінка ефективності зниження ударного шуму різними типами футерівок. Наведена імовірність зниження передачі та випромінювання ударного шуму на 10÷15 дБ у широкому діапазоні частот під час використання гумових та гумово-металевих футерівок.

Ключові слова: шум, туговухість, транспортування, руда, удар, футерівка, зниження шуму.

Arutunyan A.R., Afanasiev V.D., Kosur L.I. Impact noise in the gravitational transportation and means of its reduction.

The data on occupational hearing loss, sound pressure levels and sound levels in the gravitational transportation ore and assessed the effectiveness of reducing impact noise various types of linings. The possibility of reducing the transmission and impact noise emission 10 ÷ 15 dB over a wide frequency range using rubber and rubber-metal linings.

Keywords: noise, hearing loss, transportation, ore, kick, lining, noise reduction.

УДК 504.6: 534.83

Афанасьев В.Д., Раченко Н.А., Страсбургер А.М. О формировании звукового поля вокруг вентиляторной установки главного проветривания шахт

Приведены результаты исследований шумовых характеристик центробежной вентиляторной установки типа ВЦД-32М, используемой для проветривания шахт. Установлено, что изменение угла установки направляющего аппарата приводит к изменению звуковой мощности вентилятора в пределах 2÷3 дБ. Более существенное влияние оказывает направленность излучения звуковых волн. Коэффициент направленности изменяется от -8 дБ до +4 дБ, что может быть использовано для ориентации диффузора вентилятора по отношению к территории жилой застройки.

Ключевые слова: шахта, вентиляторная установка, звуковая мощность, показатель направленности

Афанасьев В.Д., Раченко Н.О., Страсбургер А.М. Про формування звукового поля біля вентиляторної установки головного провітрювання шахт.

Наведені результати досліджень шумових характеристик центробіжної вентиляторної установки типу ВЦД-32М, яка використовується для провітрювання шахт. Встановлено, що змінення кута установки направляючого апарата приводить до змінення звукової потужності вентилятора в границях 2÷3 дБ. Більш суттєвий вплив робить направленість випромінювання звукових хвиль. Коефіцієнт направленості змінюється від -8 дБ до +4 дБ, що може бути використано для орієнтації дифузора вентилятора по відношенню до території житлової забудови.

Ключові слова: шахта, вентиляторна установка, звукова потужність, показник направленості.

Afanasyev V.D., Rachenko N.A., Strasburger A.M. On the formation of the sound field around the main ventilation fan installation mines

The results of studies of noise characteristics of a centrifugal fan unit type WDC -32M used for mine ventilation . Found that changing the angle of installation guide apparatus leads to a change in fan sound power within 2 ± 3 dB. More significantly affected by the radiation directivity of the sound waves . Directivity factor varies from -8 dB to +4 dB, which can be used for orientation of the diffuser fan towards residential areas .

Keywords: mine , fan installation , sound power , directivity index

УДК 621.311

Синчук І.О., Антоненко А.О. Особливості організації заходів щодо підвищення якості електроенергії на залізрудних шахтах

У статті проведено аналіз організаційних заходів та технічних рішень, спрямованих на поліпшення показників якості електроенергії при живленні споживачів залізрудних шахт. Мета роботи полягає у доведенні наступної думки : для досягнення необхідного рівня якості електроенергії недостатньо лише наявності необхідного вимірювального обладнання. Визначальним фактором у цьому питанні є розробка та впровадження комплексу технічно-організаційних заходів, спрямованих на реальне підвищення якості електроенергії, що передається споживачам.

У статті наведено структуру і місця проведення заходів щодо підвищення якості електроенергії. У ході аналізу вищевказаних заходів показано, що в першу чергу необхідно визначити причини неприпустимого зниження якості електроенергії. І тільки після цього слід окреслити можливі шляхи поліпшення якості енергії і провести їх техніко-економічний аналіз, за результатами якого і вживати необхідних заходів.

Ключові слова: показники якості електроенергії, електропостачання, контроль, регулювання.

Синчук И.О., Антоненко А.О. Особенности организации мероприятий по повышению качества электроэнергии на железорудных шахтах

В статье проведен анализ организационных мероприятий и технических решений, направленных на улучшение показателей качества электроэнергии при питании потребителей железорудных шахт. Задача работы заключается в доказательстве следующей мысли: для достижения необходимого уровня качества электроэнергии недостаточно лишь наличия необходимого измерительного оборудования. Определяющим фактором в этом вопросе является разработка и внедрение комплекса технико-организационных мероприятий, направленных на реальное повышение качества электроэнергии, передаваемой потребителям.

В статье приведена структура и места проведения мероприятий по повышению качества электроэнергии. В ходе анализа вышеуказанных мероприятий показано, что в первую очередь необходимо определить причины недопустимого снижения качества электроэнергии. И только после этого следует наметить возможные пути улучшения качества энергии и провести их технико-экономический анализ, по результатам которого и принимать необходимые меры.

Ключевые слова: показатели качества электроэнергии, электроснабжение, контроль, регулирование.

Sinchuk O., Antonenko A. Features of the measures to improve the quality of electricity in iron mines

The article analyzes the organizational measures and technical solutions aimed at improving the quality of electricity at power consumers of iron ore mines. The task of the work lies in the proof of the following idea : in order to achieve the required level of power quality is not enough to ensure that the necessary test equipment. Determining factor in this regard is the development and implementation of complex technical and organizational measures aimed at improving the quality of the real power transmitted to consumers.

The article describes the structure and event venues to improve the quality of electricity. During the analysis of the above activities is shown that it is first necessary to determine the causes of unacceptable decline in the quality of electricity. And only after that should identify ways to improve power quality and conduct of their technical and economic analysis, the results of which take the necessary measures .

Keywords: power quality indices, electric power supply, monitoring, regulation.

УДК 621.316

Сінчук О.М., Пересунько І.І. Показники якості електроенергії в розподільчих мережах шахт і вплив відхилень напруги на техніко - економічні показники електропостачання

У статті наведено огляд існуючих основних показників електроенергії на гірничопромисловому підприємстві. Мета роботи показати, що існує проблема якості електроенергії на шахтах що веде до зниження енергоозброєності підприємства. І запропоновано вирішення проблеми здійснити перехід на більш високий рівень напруги розподільних мереж. Підвищення напруги, як правило, покращує техніко-економічні показники системи електропостачання підприємства, одночасно поліпшується і якість електроенергії у споживачів.

Ключові слова: відхилення напруги , коливання напруги , якість електричної енергій.

Синчук О.Н., Пересунько И.И. Показатели качества электроэнергии в распределительных сетях шахт и влияние отклонений напряжения на технико-экономические показатели электроснабжения

В статье приведен обзор существующих основных показателей электроэнергии на горнопромышленном предприятии. Цель работы показать, что существует проблема качества электроэнергии на шахтах что ведёт к снижению энерговооружённости предприятия. И предложено решение проблемы осуществить переход на более высокий уровень напряжения распределительных сетей. Повышение напряжения, как правило, улучшает технико-экономические показатели системы электроснабжения предприятия, одновременно улучшается и качество электроэнергии у потребителей.

Ключевые слова: отклонение напряжения, колебание напряжения, качество электрической энергий.

Sinchuk O., Peresunko I. Power quality in distribution networks mines and effect on voltage deviation techno - economic indicators power

The article gives an overview of the existing main indicators electricity mining enterprise. Objective show that there is a problem of power quality in the mines which leads to lower power per enterprise. And the proposed solution to make the

transition to a higher level voltage distribution networks. Increasing the voltage, usually improves the technical and economic indicators of the electricity company, and at the same time improving the quality of electricity consumers.

Keywords: voltage deviation , voltage fluctuation , quality of electrical energy .

УДК 658.8:622.8:331.453.

Моркун В.С., Синчук И.О., Харитонов А.А. К вопросу анализа и оценки причин электротравматизма в условиях железорудных производств.

В статье проведен анализ и оценка причин электротравматизма электротехнического и неэлектротехнического персонала в условиях железорудных производств. Приведены такие данные исследований, как динамика колебаний уровней электротравматизма на отечественных железорудных шахтах; тенденции электротравматизма по виду работ, связанных и не связанных с обслуживанием электроустановок на железорудных предприятиях; гистограмма распределения вероятностей травмирования электрическим током электротехнического и неэлектротехнического персонала железорудных производств; пример диаграммы причинно-следственных связей. Представлена структура возникновения травмоопасных факторов в системе «человек - горнорудное производство - электротехнические комплексы». Для рассматриваемого несчастного случая и построенных причинных диаграмм получены структурные уравнения, анализ которых позволил сделать вывод о выходных величинах на основании информации о входных, оценку состояния электротравматизма позволяющую, наряду с оценкой динамики, условий, очагов, обстоятельств несчастных случаев, получить причинно-следственную модель процесса электротравмирования, необходимую для принятия управляющих решений по обеспечению безопасности процесса электропотребления при ведении работ в подземных горных выработках.

Моркун В.С., Синчук И.О., Харитонов О.О. До питання аналізу й оцінки причин електротравматизму в умовах залізрудних виробництв.

У статті наведено аналіз та оцінювання причин електротравматизму електротехнічного й неелектротехнічного персоналу в умовах залізрудних виробництв. Наведені такі дані досліджень, як динаміка коливань рівнів електротравматизму на вітчизняних залізрудних шахтах; тенденції електротравматизму по видам робіт, пов'язаних і не пов'язаних з обслуговуванням електроустановок на залізрудних підприємствах; гістограма розподілу ймовірностей травмування електричним струмом електротехнічного й неелектротехнічного персоналу залізрудних виробництв; приклад діаграми причинно-наслідкових зв'язків. Представлена структура виникнення травмобезпечних факторів у системі «людина - гірничорудне виробництво - електротехнічні комплекси». Для розглянутого нещасного випадку й побудованих причинних діаграм отримані структурні рівняння, аналіз яких дозволив зробити висновок про вихідні величини на підставі інформації про вхідні, оцінку стану електротравматизму, що дозволяє, поряд з оцінкою динаміки, умов, осередків, обставин нещасних випадків, одержати причинно-наслідкову модель процесу електротравмування, необхідну для прийняття керуючих рішень по забезпеченню безпеки процесу електроспоживання при веденні робіт у підземних гірничих виробках.

Morkun V.S., Sinchuk I.O., Kharytonov A.A. To the question of analysis and estimation of reasons electro- traumatism in the conditions of iron-ore productions.

In the article an analysis and evaluation of reasons is conducted electro - traumatism of electrical engineering and electrical unengineering personnel in the conditions of iron - ore productions. Such data over of researches, as dynamics of vibrations of levels of electro - traumatism, are brought on domestic iron - ore mines; tendencies electro - traumatism by appearance works, електроустановок of constrained and unconnected with service on iron - ore enterprises; histogram of probability of injuring of electrical engineering and electrical unengineering personnel of iron - ore productions an electric current distribution; example of diagram of fishbones. The structure of origin of травмоопасных factors is presented in the system "A man is a mining production are electrical engineerings complexes". For the examined accident and built causal diagrams structural equalizations the analysis of which allowed to draw conclusion about output sizes on the basis of information about an entrance are got, estimation of the state of electro - traumatism of allowing, along with the estimation of dynamics, terms, hearths, circumstances of accidents, to get the causally investigation model of process of electro - injuring, necessary for the acceptance of managing decisions on providing of safety of process of electro - consumption at the conduct of works in the underground mountain making.

УДК 004.93+57.087.1

Купин А. И., Кумченко Ю. А. Перспективы применения мультимодальных информационных технологий в задачах биометрического распознавания объектов

Приведена мультимодальная информационная технология для распознавания объектов, которая объединила две биометрические характеристики: голос и лицо. Предложен жёсткий порог фильтрации для снижения шума в спектрограмме голоса и алгоритм расширения динамического диапазона, чтобы оптимально отобразить максимальное количество деталей изображения лица.

Ключевые слова: распознавание, идентификация, объект, биометрия, мультимодальный, голос, лицо.

Купін А. І., Кумченко Ю. О. Перспективи застосування мультимодальних інформаційних технологій у задачах біометричного розпізнавання об'єктів

Наведено мультимодальну інформаційну технологію для розпізнавання об'єктів, яка об'єднала дві біометричні характеристики: голос і обличчя. Запропоновано жорсткий поріг фільтрації для зниження шуму в спектрограмі голосу і алгоритм розширення динамічного діапазону, щоб оптимально відобразити максимальну кількість деталей зображення обличчя.

Ключові слова: розпізнавання, ідентифікація, об'єкт, біометрія, мультимодальний, голос, обличчя.

Kupin A. I., Kumchenko Y. O. The perspectives of multimodal information technologies application in tasks of biometric objects recognition

The multimodal information technology for object recognition that united two biometric characteristics: voice and face. The rigid threshold of filtering for noise lowering in the spectrogram of a voice and dynamic range expansion algorithm to optimally display the maximum number of details of the face image.

Keywords: recognition, identification, objects, biometrics, multimodal, voice, face, identification, objects, biometrics, multimodal, voice, face.

УДК 621.315.052.7 – 621.395.14

Розен В.П., Гузов Э.С., Пархоменко Р.А. Моделирование энергетических режимов энергоёмких потребителей железорудных шахт

В работе выполнена кластеризация значений электрических нагрузок для электроприемников с неоднородными режимами работы: компрессоров и подъемных машин. В результате были получены значения устойчивых уровней электрических нагрузок (максимального и минимального) и времени их действия.

Розен В.П., Гузов Э.С., Пархоменко Р.А. Моделивання енергетичних режимів енергоємних споживачів залізорудних шахт

У роботі виконана кластеризація значень електричних навантажень для електроприймачів з неоднорідними режимами роботи: компресорів і підйомних машин. В результаті були отримані значення стійких рівнів електричних навантажень (максимального і мінімального) і часу їх дії.

Rozen V.P., Guzov E.S., Parhomenko R.A. Modeling of energy-intensive consumers of energy regimes iron ore mines

The work performed clustering values of electrical loads for power consumers with heterogeneous operating modes: compressors and lifting machines. As a result, the values of sustainable levels of electrical loads (maximum and minimum) and the period of their validity.

УДК 621.926: 34.16

Радионов В.М. Система управления гидроциклоном с идентификацией параметров и выбором оптимальной модели
Рассмотрены общие вопросы формирования системы управления динамическими объектами. Определены критерии управления гидроциклоном-классификатором. Проведен краткий анализ существующих и перспективных моделей процесса. Гидроциклон, в предложенной системе управления, рассматривается как сложный динамический объект, в условиях неопределенности параметров и неполной информации о состоянии. Предложено пополнение и использование базы стандартных моделей с выбором лучшей, по определенным критериям, модели. Представлены результаты моделирования и зависимости изменений давления и гранулометрического состава от колебания свойств пульпы при выборе различных критериев.

Система управления гидроциклоном; ультразвуковые и априорные модели;

Радионов В. М. Система управління гідроциклоном з ідентифікацією параметрів і вибором оптимальної моделі
Розглянуті загальні питання формування системи управління динамічними об'єктами. Визначені критерії управління гідроциклоном-класифікатором. Проведений короткий аналіз існуючих і перспективних моделей процесу. Гідроциклон, в запропонованій системі управління, розглядається як складний динамічний об'єкт, в умовах невизначеності параметрів і неповної інформації про стан. Запропоновано поповнення і використання бази стандартних моделей з вибором кращої, по певних критеріях, моделі. Представлені результати моделювання і залежності змін тиску і гранулометричного складу від коливання властивостей пульпи при виборі різних критеріїв.

Система управління гідроциклоном; ультразвукові і априорні моделі

Radionov V.M. Control system hydrocyclone parameters identification and selection of optimum model

The general issues of formation control of dynamic objects . Defined management criteria hydrocyclone classifier . The brief analysis of existing and future models of the process . Hydrocyclone in the proposed control system , viewed as a complex dynamic object under uncertainty parameters and incomplete information about the state . Proposed completion and use of the database of standard models with a choice of the best , according to certain criteria , models. The simulation results and changes depending on pressure and particle size distribution of the fluctuation of pulp properties when selecting different criteria.

Hydrocyclone control system; ultrasound and a priori models.

УДК [620.92.002.2: 621.31]: 339.977

Четверик М.С. Смена во времени энергетических систем мира и ее влияние на экономику и экологию

Рассмотрены виды энергетического обеспечения мирового сообщества от древнейших времен до современности. Приведена теория смены во времени энергетических систем мира, которая на основании установленной закономерности уменьшения их продолжительности эффективного применения позволяет определить время перехода к последующей.

Четверик М. С. Зміна в часі енергетичних систем світу і її вплив на економіку й екологію

Розглянуті види енергетичного забезпечення світової спільноти від давніх часів до сучасності. Приведена теорія зміни в часі енергетичних систем світу, яка на підставі встановленої закономірності зменшення терміну їх ефективного застосування дозволяє визначити час переходу до слідуєчої.

Chetverik M.S. Is time-history power systems of the world and his influence on an economy and ecology

The types of energy supply of the world community from the earliest times till the present are considered. The theory of change in time of world energy systems is given that on the basis of the fixed law of reducing of their effective application duration makes it possible to determine time for the transition to the subsequent.

УДК 622

Білецький В.С., Сергеев П.В. Дослідження спалювання вугілля та вуглемазутних комплексів

Виконано лабораторні і стендові дослідження спалювання вугілля і вугільно-мазутних комплексів. Показано переваги вугільно-мазутних комплексів над вугіллям з точки зору інтенсифікації процесу спалювання. Знайдені аналітичні вирази, які характеризують динаміку вигорання паливних частинок.

Ключові слова: енергетика, вугілля, вугільно-мазутні комплекси, спалювання.

Белецкий В.С., Сергеев П.В. Исследование сжигания угля и углемазутных комплексов

Выполнены лабораторные и стендовые исследования сжигания угля и угольно-мазутных комплексов. Показаны преимущества угольно-мазутных комплексов над углем с точки зрения интенсификации процесса сжигания. Найденны аналитические выражения, характеризующие динамику выгорания топливных частиц.

Ключевые слова: энергетика, уголь, угольно-мазутные комплексы, сжигание.

Biletsky V.S., Sergeev P.V. Investigation of burning coal and coal-oil systems

Performed laboratory and bench studies of coal combustion and coal-oil systems. The advantages of coal-oil systems over coal in terms of the intensification of the combustion process. Obtained analytic expressions characterizing the dynamics of burning fuel particles.

Keywords: energy, coal, coal-fuel oil complexes, burning.

УДК 621.314

Момот В.Е., Ткачук О.Р. Повышение энергетической эффективности центробежных механизмов котельных установок

В статье рассматривается анализ электропотребления и пути повышения энергетической эффективности эксплуатации наиболее энергоемких центробежных механизмов типовой районной котельни с использованием частотно регулируемых приводов.

Момот В.Е., Ткачук О.Р. Підвищення енергетичної ефективності відцентрових механізмів котельних установок

У статті розглядається аналіз електроспоживання та шляхи підвищення енергетичної ефективності експлуатації найбільш енергоємних відцентрових механізмів типовий районної котельні з використанням частотно регулюваних приводів.

Momot V.E., Tkachuk O.R. Energy efficiency centrifugal mechanisms boiler installations

The article deals with the analysis of energy consumption and ways to improve energy exploitation efektivnosti most energy centrifugal mechanisms typical district heating plants using the frequency-regulated drive actuated.

УДК 621.791.92

Бережная Е.В., Чепель Ю.А., Цивинда Н.И. Математическое моделирование энергосиловых параметров процесса восстановления деталей землеройных машин методом электроконтактной наплавки

Разработана численная одномерная математическая модель распределения локальных и интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния металла при электроконтактной наплавке металлической лентой, учитывающая реальный характер распределения геометрических параметров наплавляемого слоя в зоне очага деформации.

Бережна Е.В., Чепель Ю.А., Цивинда Н.И. Математичне моделювання енергосилових параметрів процесу відновлення деталей землерійних машин методом електроконтактного наплавлення

Розроблено чисельну одномірну математична модель розподілу локальних і інтегральних характеристик напружено-деформованого стану металу при електроконтактній наплавленні металевою стрічкою, враховувати-вающая реальный характер розподілу геометричних параметрів наплавляемого шару в зоні осередку деформації.

Berezhnaya E.V., Chepel Y.A., Civinda N.I. Mathematical modeling of the power parameters of the recovery process earthmoving machinery parts by the electric-welding

A numerical one-dimensional mathematical model of the distribution of local and integral characteristics of the stress-strain state of the metal in electric resistance surfacing metal band, which takes into account the real nature of the distribution of the geometric parameters of the deposited layer in the zone of deformation zone

УДК 621.316.1

Плешков П.Г., Зинзура В.В. Математичне моделювання роботи системи автоматичного управління пристроєм рпн силового трансформатора зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зірка з нулем»

Розроблено структурну схему САУ пристроєм РПН силового трансформатора зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зірка з нулем», в основу якої покладено математичний апарат багатокритеріальної оптимізації. Застосування запропонованої САУ забезпечує одночасне зниження рівнів усталеного відхилення напруги та коефіцієнтів несиметрії напруг по зворотній та нульовій послідовностях в електричних мережах. Проведено дослідження якості роботи запропонованої САУ шляхом математичного моделювання.

Плешков П.Г., Зинзура В.В. Математическое моделирование работы системы автоматического управления устройством РПН силового трансформатора со схемой соединения обмоток "треугольник/звезда с нулем"

Разработана структурная схема САУ устройством РПН силового трансформатора со схемой соединения обмоток "треугольник/звезда с нулем", в основу которой положен математический аппарат многокритериальной оптимизации. Применение предложенной САУ обеспечивает одновременное снижение уровней постоянного отклонения напряжения и коэффициентов несимметрии напруг по обратной и нулевой последовательностям в электрических сетях. Проведено исследование качества работы предложенной САУ путем математического моделирования.

Pleshkov P.G., Zinzura V.V. Mathematical design of work of the system of automatic control the device of ППН of power transformer with the chart of connection of обмоток "triangle/star with a zero"

The flow diagram of CAУ is worked out by the device of ППН of power transformer with the chart of connection of обмоток "triangle/star with a zero", the mathematical vehicle of multicriterion optimization is fixed in basis of which. Application of offered CAУ provides the simultaneous decline of levels of permanent rejection of tension and coefficients of unsymmetry of напруг on reverse and zero to the sequences in electric networks. Research of quality of work of offered CAУ is conducted by a mathematical design.

УДК 528.482.4

Куліковська О.Є., Стеценко В.В. Математична модель розвитку деформаційних процесів газорозподільного пункту №1 дп «Криворізька теплоцентраль»

Розглянуто особливості розвитку деформаційних процесів газорозподільного пункту №1, однієї із споруд технологічного комплексу ДП «Криворізька теплоцентраль», та обґрунтовано необхідність проведення систематичного геодезичного моніторингу. Отримані дані рекомендується використовувати при складанні графіків планово-попереджувальних ремонтів досліджуваної споруди.

Ключові слова: деформації, осідання, інженерні споруди, глибинні реperi, осадкові марки, геометричне нівелювання, інженерно-геологічні умови, гірничі роботи, висотна геодезична мережа.

Куликовская О.Е., Стеценко В.В. Математическая модель развития деформационных процессов газораспределительного пункта №1 ДП "Криворожская теплоцентраль"

Рассмотрены особенности развития деформационных процессов газораспределительного пункта №1, одного из сооружений технологического комплекса ГП «Криворожская теплоцентраль», и обоснована необходимость проведения систематического геодезического мониторинга. Полученные данные рекомендуется использовать при составлении графиков планово-предупредительных ремонтов исследуемого сооружения.

Ключевые слова: деформации, оседания, инженерные сооружения, глубинные реperi, осадочные марки, геометрическая нивелировка, инженерно-геологические условия, горные работы, высотная геодезическая сеть.

Kulikovskaya O. E., Stetsenko V.V. The mathematical model of development of deformation processes of gas-distributing point № of 1 ДП the "Kryvorozkaya heating plant"

Considered the features of deformation processes timing point №1, one of the structures of the technological complex of the SE «Krivorizska heating plant», and the necessity of systematic surveying monitoring. The obtained data it is recommended to use the charting of scheduled preventive maintenance of the investigated structures.

Keywords: deformations, settling, engineerings building, deep bench mark, lodging brands, geometrical leveling, engineer-geological terms, mountain works, height geodesic network.

УДК 622.7:622.765.06

Олійник М.О., Макачова А.І. Удосконалення технології збагачення графітової сировини Заваллівського родовища
Стаття присвячена проблемі переробки бідних графітових руд Заваллівського родовища. В статті проведено аналіз розроблених та впроваджених технологій збагачення графітової сировини, за якими виявлені переваги і недоліки розглянутих технологій збагачення графітових руд. В результаті дослідження обрана оптимальна схема збагачення графітових руд. Досліджено мінералогічний та хімічний склад досліджуваної проби графітового гнейсу Заваллівського родовища. Відмічено вплив ступеню подрібнення графітової руди на її флотуємість в умовах реагентного режиму Заваллівського комбінату. Приведено результати досліджень закономірностей зміни показників флотації при зміні витрат реагентів (соди, рідкого скла, керосину та Т-66). Встановлено оптимальний реагентний режим, за яким значно підвищується якість концентрату. Надано результати збагачення графітової руди за обраною схемою та при встановленому реагентному режимі.

Олейник М.О., Макачова А.И. Совершенствование технологии обогащения графитовой сырья Завальевского месторождения

Статья посвящена проблеме переработки бедных графитовых руд Завальевского месторождения. В статье проведен анализ разработанных и внедренных технологий обогащения графитовой сырья, по которым выявлены преимущества и недостатки рассмотренных технологий обогащения графитовых руд. В результате исследования выбрана оптимальная схема обогащения графитовых руд. Исследованы минералогический и химический состав исследуемой пробы графитового гнейса Завальевского месторождения. Отмечено влияние степени измельчения графитовой руды на ее флотуемость в условиях реагентного режима Завальевского комбината. Приведены результаты исследований закономерностей изменения показателей флотации при изменении расхода реагентов (сода, жидкого стекла, керосина и Т-66). Установлен оптимальный реагентный режим, по которому значительно повышается качество концентрата. Представлены результаты обогащения графитовой руды по выбранной схеме и при установленном реагентном режиме.

Oliynik M.O., Makacheva A.I. Improving the technology of enrichment of raw graphite deposits Zavallivska

The article deals with the problem of poor processing ores Zavallivska graphite deposit. This paper analyzes the technologies developed and implemented enrichment graphite materials, which identified the advantages and disadvantages of the considered technologies enrichment of graphite ore. The study selected the optimal scheme enrichment of graphite ore. Investigated the mineralogical and chemical composition of the investigated samples of graphite gneiss Zavallivska field. Marked influence of the degree of graphite ore grinding on her flotyemist in terms of reagent Zavallivska treatment plant. The results of studies patterns of changes in flotation costs when changing agents (baking soda, sodium silicate, kerosene

and T- 66). The optimum reagent mode, which greatly improves the quality of the concentrate. The results of the graphite ore enrichment in the chosen scheme and , with the reagent mode.

УДК 622.23

Кушнерев И.П., Кривенко Ю.Ю. Обоснование технологии отработки месторождений строительных материалов с учетом дальнейшего использования выработанных пространств

Выполнен анализ горнотехнических условий залегания и опыта отработки месторождений строительных материалов. Установлено, что при дальнейшем использовании выработанного пространства в хозяйственных целях, конструктивные элементы горных выработок должны быть рассчитаны на длительную устойчивость, особенно для месторождений пыльных известняков, характеризующихся рядом специфических особенностей: слоистой текстурой и наличием ослабленных межслоевых контактов, трещиноватостью. Выполнен выбор методики расчета конструктивных параметров системы разработки с определением размеров опорных междукамерных целиков и камер, обеспечивающих безопасное ведение горных работ, а также возможность вторичного использования выработанного пространства. Установлены технологические режимы эксплуатации технологического оборудования, обеспечивающего высокий уровень механизации процесса и технико-экономические показатели отработки залежей строительных материалов.

Кушнерев І.П., Кривенко Ю.Ю. Обґрунтування технології відпрацювання родовищ будматеріалів з урахуванням подальшого використання вироблених просторів

Виконано аналіз гірничотехнічних умов залягання й досвіду розробки родовищ будівельних матеріалів. Встановлено, що при подальшому використанні виробленого простору в господарських цілях, конструктивні елементи гірських виробок повинні бути розраховані на довготривалу стійкість, особливо для родовищ пыльных вапняків, що мають ряд специфічних особливостей: шарувату текстуру й наявність ослаблених міжшарових контактів, а також тріщинуватість. Виконано вибір методики розрахунку конструктивних параметрів системи розробки з визначенням розмірів опорних міжкамерних ціликів і камер, що забезпечує безпечне ведення гірських робіт, а також можливість вторинного використання виробленого простору. Установлені технологічні режими експлуатації технологічного устаткування, що забезпечує високий рівень механізації процесу й техніко-економічні показники відпрацьовування покладів будівельних матеріалів.

Kushnerev I.P., Kryvenko Ju.Ju. Ground of technology of working off the deposits of building materials taking into account the further use of mine-out spaces

The analysis of the conditions of occurrence of mining experience and mine production of construction materials. Found that when using the goaf for commercial purposes, the structural elements of mining must be designed for a long resistance, especially for deposits saw limestone, backfilled with some specific features: layered texture and the presence of weak - represented interlayer contacts fracture. Made the choice of methodology of calculating the design parameters of the system design with sizing interchamber supporting pillars and cameras that provide security - ing mining operations, and the ability to reuse the developed space. Established technological modes of operation of technological equipment ensures a high level of mechanization of the process and technical- economic indicators mining of construction materials.

УДК 622.233.6

Громадский Вик.А., Серебrenиков Э.В. Теоретическое определение амплитуд вынужденных поперечных колебаний буровых штанг станков шарошечного бурения

Интенсификация добычи полезных ископаемых открытым способом потребовала роста производительности горной техники, в том числе, буровых станков, как основного звена в подготовке буровзрывных работ. Увеличение производительности буровых станков приводит к росту нагрузок на буровые штанги и повышению скорости их оборотов. Это создает условия для активизации вынужденных поперечных колебаний буровых штанг, что может привести к недопустимым амплитудам колебаний, и даже к флаттеру бурового инструмента. Появление резонансных амплитуд не только нарушает технологический процесс бурения скважин, но и создает аварийные ситуации, вызывая выход со строя буровых станков. Наличие многочисленных причин, вызывающих неустойчивость работы буровых станков, указывает на необходимость применения методов математического моделирования. Эти методы позволяют построить не только адекватную математическую модель процесса поперечных колебаний буровой штанги, но и, благодаря наличию компьютеров с развитым программным обеспечением, организовать вычислительные эксперименты для нахождения рациональных режимов работы буровых станков. На основе учета физических закономерностей построена математическая модель вынужденных поперечных колебаний буровой штанги. Эта модель позволила установить функциональную зависимость вынужденных поперечных колебаний штанги от ее параметров. Путем организации вычислительных экспериментов на полученной модели были найдены условия, при которых происходила активизация амплитуд вынужденных поперечных колебаний, вплоть до появления резонансов, что было подтверждено экспериментами.

Громадський Вік.А., Серебrenіков Е.В. Теоретичне визначення амплітуд вимушених поперечних коливань бурових штанг верстатів шарошкового буріння

Інтенсифікація видобутку корисних копалин відкритим способом зажадала зростання продуктивності гірської техніки, у тому числі, бурових верстатів, як основної ланки в підготовці буропідричних робіт. Збільшення продуктивності бурових верстатів призводить до зростання навантажень на бурові штанги і підвищення швидкості їх оборотів. Це створює умови для активізації вимушених поперечних коливань бурових штанг, що може привести до неприпустимих амплітуд коливань, і навіть до флаттеру бурового інструменту. Поява резонансних амплітуд не ли-

ше порушує технологічний процес буріння свердловин, але і створює аварійні ситуації, викликаючи вихід з ладу бурових верстатів. Наявність численних причин, що викликають нестійкість роботи бурових верстатів, вказує на необхідність застосування методів математичного моделювання. Ці методи дозволяють побудувати не лише адекватну математичну модель процесу поперечних коливань бурової штанги, але і, завдяки наявності комп'ютерів з розвиненим програмним забезпеченням, організувати обчислювальні експерименти для знаходження раціональних режимів роботи бурових верстатів. На основі обліку фізичних закономірностей побудована математична модель вимушених поперечних коливань бурової штанги. Ця модель дозволила встановити функціональну залежність вимушених поперечних коливань штанги від її параметрів. Шляхом організації обчислювальних експериментів на отриманій моделі були знайдені умови, при яких відбувалася активізація амплітуд вимушених поперечних коливань, аж до появи резонансів, що було підтверджено експериментами.

Gromadskiy Vik.A., Serebhenikov T.V. Theoretical determination of amplitudes forced transversal vibrations jackrods of machine - tools of шарошкорого of boring drilling

Intensification of mining by an open method demanded the height of the productivity of mountain technique, including, borings machine-tools, as basic link in preparation of drillings and blasting. The increase of the productivity of borings machine-tools results in the height of loading on jackrods and rev-up of their turns. It creates terms for activation of the forced transversal vibrations of jackrods, that can result in impermissible amplitudes of vibrations, and even to флаттеру of boring instrument. Appearance of resonance amplitudes not only violates the technological process of well-drilling but also creates emergency situations, causing an output from the line-up of borings machine-tools. Presence of numerous reasons, defiant instability of work of borings machine-tools, specifies on the necessity of application of methods of mathematical design. These methods allow to build not only the adequate mathematical model of process of transversal vibrations of jackrod but also, due to the presence of computers with the developed software, to organize calculable experiments for being of the rational modes of operations of borings machine-tools. On the basis of account of physical conformities to law the mathematical model of the forced transversal vibrations of jackrod is built. This model allowed to set functional dependence of the forced transversal vibrations of barbell from her parameters. By organization of calculable experiments on the got model terms which activation of amplitudes of the forced transversal vibrations was at were found, up to appearance of resonances, that it was confirmed by experiments.

УДК 504(075.8)

Часова Э.В., Ивчук В.В. Применение и перспективы биосенсоров в химическом и биохимическом анализе

Рассмотрены механизмы действия и возможности применения биосенсоров в химическом и биохимическом анализе, как новых аналитических устройств, которые используют биологические материалы для детекции молекул вещества в виде электрического сигнала.

Ключевые слова: биосенсоры, электроды, электрохимическая детекция, ферменты

Часова Е.В., Івчук В.В. Застосування та перспективи біосенсорів у хімічному та біохімічному аналізі

Розглянуті механізми дії та можливості застосування біосенсорів у хімічному та біохімічному аналізі, як нових аналітичних пристроїв, що використовують біологічні матеріали для детекції молекул речовини у вигляді електричного сигналу.

Ключові слова: біосенсори, електроди, електрохімічна детекція, ферменти

Chasova E.V., Ivchuk V.V. Application and prospects of biosensors in chemical and biochemical analysis

The mechanisms of action and possibilities of biosensors application in chemical and biochemical analysis as new analytical devices which use biological materials for detecting molecules of the substance in the form of electrical signal are considered.

Key words: biosensors, electrodes, electrochemical detection, enzymes

УДК 658.011.56

Кондратец В.А., Мацуї А.Н. Исследование динамики пульпы в улитковом питателе при измельчении песков механического двухспирального классификатора

Установлено, что изменение уровня пульпы в приемном устройстве улиткового питателя представляет собой стационарный случайный процесс, интенсивность которого различна по его ширине и возрастает с уменьшением уровня. Длительность участков с неизменным значением уровня пульпы сокращается с его уменьшением. Они не являются строго фиксированными по длине реализации, которая равна 1,56 с.

Кондратець В.О., Мацуї А.М. Дослідження динаміки пульпи в завитковому живильнику при подрібненні пісків механічного двоспирального класифікатора

Встановлено, що зміна рівня пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника являє собою стаціонарний випадковий процес, інтенсивність якого різна по його ширині і зростає зі зменшенням рівня. Тривалість ділянок з незмінним значенням рівня пульпи скорочується з його зменшенням. Вони не являються строго фіксованими по довжині реалізації, яка дорівнює 1,56 с.

Kondratets V., Matsuy A. Dynamics research pulp by cochlear feeders in mechanical double-ground sand classifier

Found that changes in the level of the pulp in the receiving device cochlear feeder is a stationary random process, the intensity of which varies over its width and increases with decreasing level. Duration of sites with the same value pulp level is reduced to its reduction. They are not strictly fixed along the length of implementation, which is equal to 1.56s.

УДК 662.749

Лялюк В.П., Соколова В.П., Шмельцер Е.О., Тимофеева Д.Ю., Береза В.В. Разработка модели прогноза качества доменного кокса на основе химического состава золы угольной шихты

Проанализированы различные математические модели прогноза реакционной способности (CRI) и послереакционной прочностной кокса (CSR), в том числе с использованием генетических особенностей углей, химического состава их минеральной части. Предложены уравнения для расчёта прогнозных показателей CSR и CRI на основе индекса основности золы шихты.

Ключевые слова: математическая модель, кокс, реакционная способность, послереакционная прочность, индекс основности, зола, угольная шихта

Лялюк В.П., Соколова В.П., Шмельцер Е.О., Тимофеева Д.Ю., Береза В.В. Розробка моделі прогнозу якості доменного коксу на основі хімічного складу золи вугільної шихти

Проаналізовані різні математичні моделі прогнозу реакційної здатності (CRI) та післяреакційної міцності коксу (CSR), у тому числі з використанням генетичних особливостей вугілля, хімічного складу його мінеральної частини. Запропоновані рівняння для розрахунку прогнозних показників CSR та CRI на основі індекса основності золи шихти.

Ключові слова: математична модель, кокс, реакційна здатність, післяреакційна міцність, індекс основності, зола вугільна шихта

Lyalyuk V. P., Sokolova V. P., Shmeltser E. O., Timofeeva D. Ju., Bereza V. V.

Development of prognosis model of domain coke quality on basis of chemical composition of coal batch ash

The different mathematical models of prognosis of coke reactivity index (CRI) and coke strength after reaction (CSR) are analysed, including with the use of genetic features of coals, chemical composition of their mineral part. Equations are offered for the calculation of prognosis indexes of CSR and CRI on the basis of ash basicity index of coal batch.

Keywords: mathematical model, coke, coke reactivity index, coke strength after reaction, index of basicity, ash, coal batch.

УДК 628.12: 621.65

Жураковский П.Н., Бурлаченко Т.И., Горон Н.Н., Стебельская О.В. Обустройство насосных станций оборотного водоснабжения

декоративных фонтанов

На сегодня день строительство новых декоративных фонтанов и реконструкция старых основывается на принципах оборотного водоснабжения. Обратное водоснабжение фонтанов заключается в повторном использовании отработанной воды путем ее рециркуляции насосным оборудованием. Насосные станции оборотного водоснабжения открывают большие возможности в удешевлении системы водоснабжения фонтанов, сокращения потребления воды питьевого качества.

До настоящего времени в насосных станциях применялись насосы без автоматического регулирования, водоподготовка и фильтрация не предусматривались. В связи с наличием нового оборудования сейчас эти вопросы решаются по-другому.

В последние годы находят применение циркуляционные насосы Grundfos (Дания) серии NB «сухой» установки. Гидравлические характеристики насосов оптимально подходят для создания больших водных форм и водопадов. Насосы имеют длительный срок службы и отличаются высокой надежностью. В комплекте с частотными преобразователями такие насосы позволяют создавать динамические водные картины и способны работать по заданной программе в автоматическом режиме.

Для обеспечения чистоты водной среды фонтана необходимо предусмотреть систему фильтрации с установкой необходимого оборудования, как правило, в помещении насосной станции. Для устройства системы фильтрации фонтана возможно применение двух способов очистки: механической (с использованием песчаных фильтров) и биологической (с применением напорных фильтров с губчатым наполнителем и ультрафиолетовой лампой).

При проектировании насосной станции оборотного водоснабжения для фонтана использовали новые технологии очистки воды и современное оборудование, позволяющее обеспечить высокое качество оборотной воды.

Жураківський П.Н., Бурлаченко Т.І., Горон Н.Н., Стебельська О.В. Облаштування насосних станцій оборотного водопостачання декоративних фонтанів

На сьогодні будівництво нових декоративних фонтанів і реконструкція старих ґрунтується на принципах оборотного водопостачання. Оборотно водопостачання фонтанів полягає в повторному використанні відпрацьованої води шляхом її рециркуляції насосним устаткуванням. Насосні станції оборотного водопостачання відкривають великі можливості в здешевленні системи водопостачання фонтанів, скорочення споживання води питної якості.

До теперішнього часу в насосних станціях застосовувалися насоси без автоматичного регулювання, водопідготовка і фільтрація не передбачалися. У зв'язку з наявністю нового устаткування зараз ці питання вирішуються по-іншому.

Останніми роками знаходять застосування циркуляційні насоси Grundfos (Данія) серії NB "сухої" установки. Гідрравлічні характеристики насосів оптимально підходять для створення великих водних форм і водоспадів. Насоси мають тривалий термін служби і відрізняються високою надійністю. У комплекті з частотними перетворювачами такі насоси дозволяють створювати динамічні водні картини і здатні працювати за заданою програмою в автоматичному режимі.

Для забезпечення чистоти водного середовища фонтану необхідно передбачити систему фільтрації з установкою необхідного устаткування, як правило, в приміщенні насосної станції. Для пристрою системи фільтрації фонтану можливе застосування двох способів очищення: механічною (з використанням піщаних фільтрів) і біологічною (із застосуванням напірних фільтрів з губчастим наповнювачем і ультрафіолетовою лампою).

При проектуванні насосної станції оборотного водопостачання для фонтану використовували нові технології очищення води і сучасне устаткування, що дозволяє забезпечити високу якість оборотної води.

Zhurakovskiy P.N., Burlachenko T.I., Goron N.N., Stebelskaya O.V.

Arrangement of pump stations of water recycling of decorative fountains

Today, building of new decorative fountains and reconstruction of old is based on principles of water recycling. The water recycling of fountains consists in the repeated use of exhaust water by its recirculation by pumping equipment. The pumping stations of water recycling open large possibilities in reduction of prices of the system of water supply fountains, reductions of water consumption of drinkable quality.

By this time in the pumping stations pumps were used without automatic control, water conditioning and filtration were not foreseen. In connection with the presence of new equipment now these questions are decided in another way.

Last years the circulation pumps of Grundfos (Denmark) of series NB«dry» of setting find application. Hydraulic descriptions of pumps optimally befit for creation of large aquatic forms and waterfalls. Pumps have the protracted tenure of employment and differ high reliability. In a complete set with frequency transformers such pumps allow to create dynamic aquatic pictures and able to work on the set program in automatic mode.

For providing of cleanness of aquatic environment of fountain it is necessary to foresee the system of filtration with setting of necessary equipment, as a rule, in the apartment of the pumping station. For arrangement of the system of filtration of fountain application of two methods of cleaning is possible: mechanical (with the use of sandy filters) and biological (with the use of pressure filters with a spongy filler and ultraviolet lamp).

At planning of the pumping station of water recycling for a fountain were used new technologies of water treatment and modern equipment, allowing to provide high quality of circulating water.

УДК 692.4

Бондарь В.А., Рощупкина З.П. Анализ долговечности и надежности покрытия зданий и сооружений

Выполнен анализ видов покрытий с точки зрения эксплуатационной долговечности, их архитектурного облика, влияния на энергосбережение, приведены технико-экономические показатели видов покрытий.

Рассмотрены эксплуатационные качества с технико-экономическими выкладками двух видов покрытия –крутонаклонных (угол наклона к горизонту более 14°) и плоских (практически горизонтальных с уклоном от 0 до 3°).

При всем разнообразии форм и видов покрытий существует их разделение в соответствии нормативным документам на совмещенные (в основном плоские) и чердачные.

На примерах материалов обследований покрытий приведены преимущества и недостатки этих двух видов покрытий.

Проведенный анализ позволяет рекомендовать проектировщикам и застройщикам к применению более эффективный вид покрытия – крутонаклонный (чердачный).

В дальнейших исследованиях планируется произвести анализ эксплуатационных качеств различных материалов кровель, применяемых для крутонаклонных покрытий зданий и сооружений

Бондар В.О., Рощупкина З.П. Аналіз довговічності і надійності покриття будівель і споруд

Виконаний аналіз видів покриттів з точки зору експлуатаційної довговічності, їх архітектурного вигляду, впливу на енергозбереження, приведені техніко-економічні показники видів покриттів.

Розглянуті експлуатаційні якості з техніко-економічними викладеннями двох видів покриття -крутонаклонных (кут нахилу до горизонту більше 14°) і плоскими (практично горизонтальних з ухилом від 0 до 3°).

При усій різноманітності форм і видів покриттів існує їх розподіл у відповідності нормативним документам на поєднаних (в основному плоскі) і горищних.

На прикладах матеріалів обстежень покриттів приведені переваги і недоліки цих двох видів покриттів.

Проведений аналіз дозволяє рекомендувати проектувальникам і забудовникам до застосування ефективніший вид покриття - крутонахилений (горищний).

У подальших дослідженнях планується виробити аналіз експлуатаційних якостей різних матеріалів кровель, вживаних для крутонахилених покриттів будівель і споруд

Bondar V.A., Roschupkina Z.P. Analysis of longevity and reliability of coverage of buildings and erections

In the article the analysis of types of coverages is executed from the point of view of operating longevity, their architectural look, influence on an energy-savings, feasibility indexes over of types of coverages are brought.

Operating capacities are considered with the feasibility letups of two types of coverage of steeply inclined (angle of slope to horizon more than 14°) and flat (practically horizontal with a slope from 0° to 3°)

At all variety of forms and types of coverages there is their division in accordance to the normative documents on combined (mainly flat) and garret.

On the examples of materials of inspections of coverages advantages over and lacks of these two types of coverages are brought.

The conducted analysis allows to recommend to the designers and person building to application more effective type of coverage is semi-steep (garret).

In further researches it is planned to produce the analysis of operating capacities of different materials of roofs, applied for steeply inclined coverages of buildings and erections.

УДК 622.831

Мануйленко Р.И., Турбор И.А. Расчет напряженно-деформированного состояния и газонасыщенности массива при выемке угольного пласта

Проведено исследование состояния породного массива с разрабатываемым угольным пластом. Назад пластическую задачу о напряженном состоянии краевой части угля и упругую задачу о состоянии окружающих пород. Предложена методика определения газонасыщенности пласта.

Мануйленко Р.И., Турбор И.А. Розрахунок напружено-деформованого стану і газонасиченості масиву при вийманні вугільних пластів

Проведено дослідження стану гірничого масиву з розробленим вугільним пластом. Розв'язано пластичну задачу про напружений стан крайової частини вугілля та пружну задачу про стан навколишніх порід. Запропоновано методику визначення газонасиченості пласта.

Manuylenko R.I., Turbor I.A. The calculation of the stress-strain state of rock mass and gas saturation when removing coal seams

Research of the rock mass of developed with coal seam made. Plastic problem of the stressed state of the boundary of the coal and the elastic problem on the state of the species resolved. Method for determining gas saturation layer proposed.

УДК 621.313.2

Власенко В.А., Ильченко О.В. Вплив взаємодукції фаз вентиляно-індукторного двигуна на його характеристики
Здійснено якісний та кількісний аналіз впливу явища взаємодукції фаз вентиляно-індукторного двигуна на його електромеханічні характеристики на основі математичного моделювання із застосуванням програмного пакету Matlab. Розроблено рекомендації щодо ефективної схеми ввімкнення фаз обмотки вентиляного індукторного двигуна.

Ключові слова: взаємодукція, вентиляно-індукторний двигун, схема ввімкнення

Власенко В.А., Ильченко О.В. Влияние взаимодукции фаз вентиляно-индукторного двигателя на его характеристики

Осуществлен качественный и количественный анализ влияния явления взаимодукции фаз вентиляно-индукторного двигателя на его электромеханические характеристики на основе математического моделирования с применением программного пакета Matlab. Разработаны рекомендации по эффективной схеме включения фаз обмотки вентиляного индукторного двигателя.

Ключевые слова: взаимодукция, вентиляно-индукторный двигатель, схема включения

Vlasenko V.A., Ilchenko O.V. Influence of the phase mutual inductance of switched-reluctance motor at its characteristics
Carried out a qualitative and quantitative analysis of the influence of the phase mutual inductance effect of switched-reluctance motor at its electromechanical characteristics, based on mathematical modeling using the software package Matlab. The recommendations for the effective connection circuit winding phases of switched-reluctance motor are developed.

Keywords: mutual inductance, switched-reluctance motor, connection circuit

Гірничий вісник

Науково-технічний збірник

Випуск 97

Редактор, коректор

Кривенко Т.А., Тумасова О.Г.

Комп'ютерний набір, верстка

Самойлюк О.Г.

*Здано в набір 21.02. 14. Підписано до друку 27.05.14 за рекомендацією Вченої Ради
Криворізького національного університету, протокол № 9.
Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 39,0 Тираж 120 прим.
Замовл. № 3 . Укр., рос.*

Надруковано:
ФОП Бурова Оксана Анатоліївна
Свідоцтво ДП № 159-р від 26.03.13.
50084 м. Кривий Ріг, мкр. Ювілейний, 10/104
Тел. 401-04-29

*Адреса видавництва та виготівника: 50002, Кривий Ріг, вул. Пушкіна, 44
ДВНЗ «Криворізький національний університет», науково-дослідна частина*