

Міністерство освіти і науки України  
*ДВНЗ «Криворізький національний університет»*

**Вісник**  
**Криворізького національного**  
**університету**

*Збірник наукових праць*

*Випуск 41*

**Кривий Ріг 2016**

Редакційна колегія: **Вілкул Ю.Г.**, д-р техн. наук, проф. (відповідальний редактор); **Ступнік М.І.**, д-р техн. наук, проф. (заступник відповідального редактора); **Азарян А.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Барашиков А.Я.**, д-р техн. наук, проф.; **Бережний М.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Гірін В.С.**, д-р техн. наук, проф.; **Голишев О.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Губін Г.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Гурін А.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Долгоруков Ю.О.**, д-р економ. наук, проф.; **Євтехов В.Д.**, д-р геол.-мінерал. наук, проф.; **Жуков С.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Pias Nicolae, Dr.h.c.**, Professor, University of Petrosani, Romani; **Кіяновський М.В.**, д-р техн. проф.; **Ковальчук В.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Лялюк В.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Моркун В.С.**, д-р техн. наук, проф.; **Несмашний Є.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Нусінов В.Я.**, д-р економ. наук, проф.; **Олійник Т.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Решетілова Т.Б.**, д-р економ. наук, проф.; **Рудь Ю.С.**, д-р техн. наук, проф.; **Сінчук О.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Сінолиций А.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Сапига С.Я.**, д-р економ. наук, проф.; **Самуся В.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Сидоренко В.Д.**, д-р техн. наук, проф.; **Стороженко Л.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Толмачов С.Т.**, д-р техн. наук, проф.; **Турило А.М.**, д-р економ. наук, проф.; **Учитель О.Д.**, д-р техн. наук, проф.; **Федоренко П.Й.**, д-р техн. наук, проф.; **Федоркін С.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Шискін О.О.**, д-р техн. наук, проф.

Науково-технічний збірник внесено 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 В.Л. Вернадського та провідних наукових бібліотек України. Збірник індексується у загальнодержавній реферативній базі даних «Україніка наукова» (реферативний журнал «Джерело»).

У збірнику викладено результати досліджень у галузі технічних та економічних наук. Розглянуто 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. 409 61 29.

**ТЕХНІЧНІ НАУКИ**

<i>Коваленко І.Л., Ступник Н.І., Короленко М.К., Полторащенко С.П., Карана І.А., Кияценко Д.В., Небогін В.З.</i> Особливості технології формування скважинних зарядів емульсійними ВВ Українит в підземних умовах	3
<i>Кондратець В.О., Мацуї А.М.</i> Математичне моделювання рівномірного руху пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора	6
<i>Роєнко А.Н., Харин С.А.</i> Аналіз застосування контурного взривання при організації проходчих робіт з використанням JAVA-програм	12
<i>Кипко А.Э., Чепига Д.А., Подкопаев Е.С.</i> О проявлении природных опасностей при поддержании выработок в сложных горно-геологических условиях	17
<i>R. Tereschuk, O.Hryhoriev, V. Tikhonenko</i> parameters of single anchor effect area in homogeneous border rock mass	22
<i>Маланчук Є.З., Христюк А.О.</i> Моделювання системи керування процесом свердловинного гідровидобутку корисних копалин шляхом візуального програмування	26
<i>Білецький В.С., Світлий Ю.Г.</i> Гідралічний транспорт відходів вугільної промисловості та теплоенергетики	33
<i>Ткаченко Н.В.</i> Увеличение мотто-ресурса винтовых забойных двигателей за счет упрочнения поверхностного слоя их роторов	37
<i>Григорьев И.Е., Кононенко В.В., Григорьев Ю.И.</i> Оценка влияния геометрической формы контура на характер напряжений и деформаций в обделке туннеля	40
<i>Мелешко О.О., Болотнікова О.С., Герасимова К.В.</i> Способи захисту інформації в мобільних пристроях в корпорації від витоку	45
<i>Моркун В.С., Моркун Н.В., Дворников В.А., Касаткина И.В.</i> Аналіз методів визначення гранулометричного складу твердої фази пульпи з використанням об'ємних ультразвукових хвиль	49
<i>Тимченко Р.А., Кришко Д.В., Савченко В.О.</i> Оптимізація конструктивного рішення підпорою стіни спеціального типу на основі лінійної моделі регресії	54
<i>Повзун О.І., Парфенюк О.С., Вірич С.О., Кононіхін С.В., Смоляга В.Г.</i> В'язуче для укріплення горілих порід шахтних териконів в основах дорожніх одягів	59
<i>Несмаиный Е.А., Ткаченко Г.И., Болотников А.В.</i> Расчет устойчивости участка Восточного борта карьера ПАО «ИнГОК» в песчано-глинистой толще	64
<i>Швагер Н.Ю., Заїкіна Д.П.</i> Аналіз систем управління охороною праці зарубіжних країн	69
<i>Маланчук Є.З., Корниєнко В.Я., Маланчук З.Р.</i> Перспективи впровадження нових технологій видобути янтарю в Ровенській області	74
<i>Яковичина Т.Ф.</i> Екологічна оцінка поліелементного забруднення важкими металами ґрунтів м. Дніпропетровська	78
<i>Малашевський М.А.</i> Оподаткування об'єктів підземного комерційного простору	83
<i>Андреев Б.М., Бровко Д.В., Хворост В.В.</i> Забезпечення надійності поверхневого комплексу методом прогнозування технічного стану елементів будівель і споруд	87
<i>Kovalenko I.L., Stupnik N.I., Nebogin V.Z., Korolenko M.K., Karapa I.A., Onopriyenko E.P., Rychko V.S.</i> Development of native equipment and technology of drillholes charging with emulsion explosives of mark Ukrainit	92
<i>Солодянкин А.В., Машиурка С.В.</i> Оценка интенсивности ремонтных работ и устойчивость протяженных горных выработок	97
<i>Солодянкин А.В., Дудка И.В.</i> Исследование влияния очистных работ на устойчивость участков выработок в условиях ОП «шахта «Партизанская» ГП «Антрацит»	102
<i>Сизоненко А.В.</i> Екологічні аспекти сжигания мазутных эмульсий	107
<i>Коновалюк В.А., Голишев А.О.</i> Розрахунок збірних повітропроводів вентиляційних мереж	111
<i>Купін А.І., Кузнецов Д.І.</i> Інформаційні моделі автоматичної діагностики побутової техніки у системах типу «Інтелектуальний дім»	116
<i>Моркун В.С., Лобов В.Й., Лобова К.В.</i> Використання ядерної енергії - майбутнє розвитку гірничо-металургійного комплексу України	120
<i>Федоренко С.А., Жуков С.А., Навитний Ю.М., Ткаличенко С.В.</i> Модифікація елементної бази системної оптимізації комплексно-сировинної конверсії ГОКА з вовлеченням ЦПТ	126
<i>Гурін А.О., Латишин О.О., Латишина Д.О.</i> Управління параметрами мікроклімату в підземних камерах шахт з джерелами тепла	132
<i>Клочко И.И., Федоренко П.И., Подойницын И.П., Швец Е.Н.</i> Работоспособность наружных зарядов различной конструкции в горных породах	138
<i>Ступнік М.І., Калініченко В.О., Тарасютін В.М., Хівренко О.Я., Косенко А.В.</i> Підвищення ефективності технологічного процесу випуску і доставки руди на базі використання самохідної навантажувально-доставочної техніки в складних геомеханічних умовах шахт Кривбасу	141

<i>Близнюков В.Г., Луценко С.А., Баранов И.В.</i> Определение перспективных контуров карьеров разрабатывающих крутопадающие железорудные месторождения .....	147
<i>Герасимчук О.В., Гонзуль В.П., Ковалець О.І., Наумова М.О.</i> Аналіз надійності при обґрунтуванні роботи систем теплопостачання .....	152
<i>Голішев О.М., Голішев А.О., Михалків Д.В.</i> Перспективи підвищення енергоефективності систем теплозабезпечення підприємств гірничо-металургійного комплексу в умовах дефіциту енергоресурсів .....	156
<i>Сахно С.І., Янова Л.О., Пищикова О.В.</i> Особливості безаварійної експлуатації металоконструкцій сучасних мостових кранів .....	159
<i>Федоренко П.П., Переметчик А.В., Подойницьна Т.А.</i> Геометризация качественных показателей месторождений и распределение пространственных переменных .....	165
<i>Азарян В.А.</i> Система контроля и управления качеством в рудопотоках железорудных карьеров .....	170
<i>Єфіменко Л.І., Тиханський М.П., Доценко І.О.</i> Аналіз навантажень, діючих на опорні конструкції конвеєра та методів їх проектування .....	174
<i>Валовой О.І., Попруга Д.В.</i> Дослідження способів улаштування контактного шва при підсиленні залізобетонних згинальних елементів у стиснутій зоні .....	178
<b>ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ</b>	
<i>Ковальчук В.А., Лысевич С.Г.</i> Пути усовершенствования хозяйственного механизма предприятия с учетом возросшей роли его персонала .....	182
<b>АНОТАЦІЇ</b>	
<i>А н о т а ц і ї</i> .....	186
<b>ІНФОРМАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ</b>	
<i>Майя Бурдзашвили</i> Человек, создавший эпоху. Исторический портрет Ильи Чавчавадзе .....	219
<i>Nana M. Berdzenishvili</i> Georgia .....	222

УДК 622.06: 662.2

И.Л. КОВАЛЕНКО, канд. техн. наук, доц.,  
ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет»  
Н.И. СТУПНИК, д-р техн. наук, проф.,  
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»  
М. К. КОРОЛЕНКО, С. П. ПОЛТОРАЩЕНКО, И.А. КАРАПА, ЧАО «ЗЖРК»  
Д.В. КИЯЩЕНКО, ООО «Укрвзрывтехнология»  
В.З. НЕБОГИН, ООО «НТО Технотрон»

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ ЭМУЛЬСИОННЫМИ ВВ УКРАИНИТ В ПОДЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ

В мировой практике подземной добычи отсутствует опыт формирования и удержания заряда наливных эмульсионных взрывчатых веществ в восходящих и крутонаклонных скважинах диаметром более 90 мм. В Украине при подземной добыче в забоях, недоступных для самоходной техники, осуществляется ручное бурение скважин с диаметром до 105 мм. Особенности разработки железорудных и урановых месторождений Украины определяют необходимость создания уникальной смесительно-зарядной техники, индивидуальной рецептуры компонентов эмульсионных систем и особую технологию формирования заряда в восходящих и крутонаклонных скважинах различного диаметра. Целью работы являлась разработка техники и технологии механизированного заряжения восходящих и крутонаклонных скважин эмульсионным взрывчатым веществом марки Украинит. Задачи работы: разработка рецептуры и оборудования, позволяющего получить высоковязкие эмульсионные композиции с очень высокой скоростью газогенерации, а также разработка устройства для формирования заряда в условиях высокой обводненности. Разработка статического смесителя оригинальной конструкции и применение специально созданной форсунки позволило получать высоковязкие высокодисперсные эмульсионные композиции, обеспечивать равномерное смешение компонентов и высокую скорость газогенерации с дополнительным увеличением дисперсности и вязкости конечного взрывчатого вещества. Конструкция форсунки позволяет размещать на ней патрон-боевик для обеспечения обратного инициирования заряда. Разработанные технические решения легли в основу принципиальной схемы смесительно-зарядной машины типа RTCh-23. Для заряжения кругового веера обводненных скважин на откаточных выработках разработана технология с использованием запорных устройств оригинальной конструкции. Создана самоходная и блочно-модульная техника, позволяющая с высокой производительностью, механизировано заряжать скважины любого диаметра и степени обводненности как с устья, так и с забоя. Промышленное освоение технологии показало ее эффективность, надежность и безопасность по сравнению с пневмозаряжением скважин тротилсодержащими гранулированными взрывчатыми веществами.

**Ключевые слова:** эмульсионные взрывчатые вещества, смесительно-зарядная техника, восходящие скважины

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** Взрывные работы являются важнейшей частью процесса добычи руд и занимают до 40 % затрат в себестоимости продукции. В то же время эти работы, особенно в подземных условиях, характеризуются повышенным уровнем опасности.

Анализ мировых тенденций в области взрывного дела показывает, что повышение уровня безопасности и эффективности взрывных работ в значительной мере обусловлено применением эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ), изготавливаемых непосредственно в процессе заряжения шпуров и скважин [1,2].

Опыт применения ЭВВ в карьерах Украины [3] показал, что эти взрывчатые вещества (ВВ) характеризуются низкой чувствительностью к механическим воздействиям, высокой водоустойчивостью, полной механизацией процесса изготовления и заряжения, более высокой экологической безопасностью по сравнению со штатными, тротилсодержащими ВВ, не уступая последним по детонационным параметрам. Однако использование эмульсионных ВВ при подземной добыче руд на шахтах Украины осложнено особенностями разработки железорудных и урановых месторождений, когда в зависимости от применяемой горной технологии необходимо создавать уникальную смесительно-зарядную технику, индивидуальную рецептуру невзрывчатых компонентов ЭВВ и особую технологию формирования заряда в восходящих и крутонаклонных скважинах различного диаметра.

**Анализ исследований и публикаций.** В марте 2009 г. впервые в истории горных работ Украины на шахте «Эксплуатационная» (ЧАО «Запорожский железорудный комбинат») была осуществлена механизированная зарядка шпуров ЭВВ Украинит-ПП-2Б и проведены экспериментальные взрывы, которые показали высокую степень дробления горной массы (КИШ до

0,95), а также значительно меньшую загазованность рудничной атмосферы по сравнению с граммонитом 79/21.

Зарядание ЭВВ осуществлялось опытным образцом смесительно-зарядного стенда СЗС, созданного специалистами ООО «НТО Технотрон», ООО «Укрвзрывтехнология» и ЧАО «ЗЖРК». Оработка технологии с помощью СЗС позволила создать серию переносных малогабаритных зарядчиков ЗЭП-15 и ЗЭП-10 4, 5.

Однако указанная техника не позволяла осуществить зарядание восходящих скважин. Опыт ведущих зарубежных компаний [6-8] и, прежде всего, «Орика Си Ай Эс» показал, что сформировать и удержать заряд эмульсионного ВВ в скважинах диаметром свыше 90 мм практически невозможно. В то же время, в забоях, недоступных, по ряду причин для самоходной техники, бурение осуществляется станками НКР (диаметр скважин до 105 мм).

**Постановка задачи.** Целью работы являлась разработка техники и технологии механизированного зарядания восходящих и крутонаклонных скважин эмульсионным взрывчатым веществом марки Украинит. Поставленная цель предполагала решение следующих задач: разработка рецептуры и оборудования, позволяющего получить высоковязкие эмульсионные композиции с очень высокой скоростью газогенерации, а также разработка устройства для формирования заряда в условиях высокой обводненности.

**Изложение материала и результаты.** Как известно, эмульсионным ВВ присущ смесевой механизм детонации, при котором химическая реакция происходит между окислителем и восстановителем, не находящимся в молекулярном контакте. Причем скорость реакции детонационного превращения напрямую зависит от размера глобул окислителя в эмульсии (дисперсности эмульсии), скорости окисления горючей фазы и размеров пор эмульсии, образованных пузырьками газогенерирующей добавки.

Для получения высоковязкой эмульсии максимальной дисперсности был разработан аппарат, принципиально отличающийся от известных статических смесителей [9].

Применение такого аппарата позволило получить эмульсионные композиции заданной вязкости и дисперсности, что в сочетании с научно-обоснованным подходом к выбору топливной фазы [9], обеспечило высокую энергонасыщенность основного компонента ЭВВ (композиция эмульсионная ЭК ТУУ 24.6-19436711-006:2006). В качестве сенсibilизатора было предложено использовать стабилизированный водный раствор пероксида водорода (Добавка газогенерирующая ГГД-У ТУ У 24.6-19436711-005:2006)[10].

Одной из проблем формирования заряда ЭВВ в восходящих скважинах является недостаточно быстрая газогенерация эмульсии. В связи с этим, в технологическую схему зарядных машин ведущих зарубежных фирм обязательно входит линия подачи катализатора разложения газогенерирующей добавки. Линия снабжена емкостным и насосным оборудованием.

В настоящей работе задача повышения скорости газогенерации была успешно решена с помощью форсунки оригинальной конструкции, работа которой исследовалась на специальном смесительно-зарядном стенде. Эта форсунка обеспечивает равномерное смешение эмульсии и ГГД с дополнительным увеличением дисперсности и вязкости конечного ЭВВ. Результат достигается за счет больших сдвиговых усилий, возникающих на выходе из сопла форсунки. Это позволило реализовать зарядание восходящих скважин любого диаметра от забоя. Конструкция форсунки позволяет размещать на ней патрон-боевик для обеспечения обратного инициирования заряда ВВ.

Проведенный комплекс опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ позволил разработать принципиальную технологическую схему смесительно-зарядной машины (СЗМ) для зарядания скважин в подземных условиях. Было разработано техническое задание, в соответствии с которым по заказу ЧАО «ЗЖРК» была изготовлена смесительно-зарядная машина RTCh-23 (рис. 1).



Рис. 1. Смесительно-зарядная машина RTCh-23

RTCh-23 в настоящее время успешно эксплуатируется в условиях шахты «Эксплуатационная» (ЧАО «ЗЖРК»), в том числе и для зарядания восходящих скважин диаметром 105 мм, что не имеет аналогов в мировой практике.

В табл. 1 приведены параметры зарядания одного из массовых взрывов 13.02.2016 г.

По результатам взрыва отмечено высокое качество дробления, отсутствие «негабаритов» и «kozyрьков», малое время проветривания забоя.

Таблица 1

Результаты зарядания эмульсионного ВВ Украинит-ПП-2  
с помощью смесительно-зарядной машины RTCh-23 (шахта «Эксплуатационная», ЧАО «ЗЖРК»)

Номер камеры	Горизонт, м	Диаметр скважины, мм	Количество эмульсии, кг	Количество ГГД, кг	Водоприток, м <sup>3</sup> /ч	Горно-геологическая характеристика заряжаемого блока
1/20 с	775	105	3000	32	1,5	$f=9,0$ руда г/м, тр. средняя
1/7 с	810	89 и 105	8450	88	1,0	$f=8,9$ руда г/м, м/г, трещ. средняя
	875	89	5300	56	1,0	$f=9,0$ руда г/м, м, трещию средняя
3/12 ю	665	89 и 105	2850	33	0,5	$f=7,0$ руда г/м, м, м/ж, трещ. слабая
	715	89	1190	15	0,5	$f=8,5$ руда г/м, м, м/ж, трещ. от слабой до средней

Однако самоходная зарядная техника не может быть использована в буровых выработках откаточных горизонтов.

Для зарядания эмульсионным ВВ Украинит-ПП-2Б кругового веера скважин на откаточных выработках была разработана технология, которая предусматривает использование запорных устройств оригинальной конструкции (ТУ У 22.2-36373037-004:2014). Запорные устройства оснащены напорной камерой подачи ЭВВ с шаровым клапаном и контейнером, в котором размещен изолирующий полимерный рукав (в гофрированном состоянии). Контейнер обеспечен трубкой подачи сжатого воздуха для разворачивания изолирующего полимерного рукава и его выворачиванием по высоте скважины.

В процессе зарядания, после установки запорного устройства на расчетном расстоянии от устья скважин и развертывания изолирующего рукава, через клапаны в скважину подается эмульсионное ВВ, которое изготавливается с помощью передвижной блочно-модульной установки модели УБМ-1 (рис. 2). Технические характеристики УБМ-1 и RTCh-23 приведены в табл. 2.

Рис. 2. Установка блочно-модульная УБМ-1



Доставка компонентов ЭВВ производится вагон-доставщиком ВДЭК-3 (ТУУ 29.2-23647075-017:2012), от которого до зарядной камеры прокладывается продуктопровод, по которому мембранным насосом перекачивается низковязкая эмульсия на расстояние до 100 м.

Таблица 2

Краткие технические характеристики смесительно-зарядного оборудования для зарядания кругового веера скважин наливным ЭВВ Украинит-ПП-2

Наименование	Установка блочно-модульная мод. УБМ-1	Смесительно-зарядная машина RTCh-23
Диаметр заряжаемых скважин, мм	89, 102, 105 (в основном 102, 105 мм)	89, 102, 105 (в основном 89 мм)
Приспособления, используемые для зарядания восходящих скважин	Запорные устройства	Пыж специальный, ерш специальный
Горизонты, на которых возможно зарядание блоков	Откаточные, подэтажные	Подэтажные
Производительность, кг/мин.	50-80 при вязкости ЭК до 50000 сП	до 80 при вязкости ЭК до 100000 сП
Достигнутая производительность зарядания (сменная / месячная), т	До 7,0/до 50,0	Свыше 8,0/до 110,0
Мощность двигателя, кВт	до 4,0	до 112,0
Объем емкости ЭК/ГГД, л	200,0/10,0 (пополняемые)	3000,0/50,0
Габариты модулей оборудования для размещения, макс., ДхШхВ, мм,	750×450×500 - маслостанция 800×650×500 - агрегат насосный, 960×840×1100 – емкость ЭК	9550×2000×2300
Масса, кг	60,0+90,0+65,0=215,0	21100,0

Применение разработанной технологии позволяет механизировано заряжать низковязкой эмульсией круговой веер скважин любого диаметра с устья скважин. Опыт применения в условиях шахты «Эксплуатационная» ЧАО «ЗЖРК» показал, что разработанная технология наиболее эффективна при высоком водопритоке и существенном разрушении стенок скважины.

**Выводы и направления дальнейших исследований:** Разработаны технологии зарядания кругового веера скважин любого диаметра и степени обводненности эмульсионным ВВ марки Украинит, создана самоходная и блочно-модульная техника, позволяющая с высокой производительностью механизировано заряжать скважины как с устья, так и с забоя. Промышленное освоение технологии показало ее эффективность, надежность и безопасность по сравнению с пневмозаряданием скважин тротилосодержащими гранулированными ВВ.

#### Список литературы

1. **Guang, Wang Xu** Emulsion explosives / **Wang Xu Guang**. – Beijing: Metallurgical Industry Press, 1994. - 388 p.
2. **Колганов, Е. В.** Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества. В 2 кн. Кн. 1. Составы и свойства. / **Е. В. Колганов, В. А. Соснин**. - Дзержинск.: ГосНИИ «Кристалл», 2009. - 592 с.
3. Розробка і впровадження емульсійних вибухових речовин на кар'єрах України / під ред. **В. П. Купріна, І. Л. Коваленка**. - Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2012. - 243 с.
4. Пат. 62192 Україна МПК F42D 1/10, C06B 21/00. Зарядник емульсійних вибухових речовин ЗЕП-15 / **Зубко, А. М., Карапа, І. А., Колсасєв М. Б., Небогин В. З.** (Україна). - № u201105501; заявл. 29.04.2011; опубл. 10.08.2011, Бюл. № 15.
5. Пат. 67340 Україна МПК F42D 1/10, C06B 21/00, F04B 9/00. Пневмонасос-зарядник емульсійних вибухових речовин ЗЕП-10/ **Колсасєв М.Б., Небогин В.З., Онопрієнко Є.П., Савченко М.В.** (Україна). - № u201111226; заявл. 21.09.2011; опубл. 10.02.2012, Бюл. № 3.
6. **Кутузов, Б. Н.** Методы ведения взрывных работ. Часть 2./ **Б. Н. Кутузов**. - М.: «Горная книга», 2008. - 512 с.
7. **Мельник, В. Б.**, Подземная добыча руды в ОАО «Апатит». Современное состояние и перспективы/ **В. Б. Мельник, А. Н. Сахаров, А. А. Браунштейн** // Глобус (Геология и бизнес). – 2013. – № 5 (29). - С.14-21. - ISSN 0351-0050/
8. **Соснин В. А.** Технологические особенности получения ЭВВ для зарядания и взрывания в подземных выработках/ **В. А. Соснин, К.Е. Морозов, В. Н. Корунев** // Взрывное дело. - 2014. - Вып. №111/68. - С. 267-273. - ISSN 0372-7009.
9. **Kovalenko, I. L.** Energycondensed packaged systems. Composition, production, properties./ **I. L. Kovalenko, V. P. Kuprin, D. V. Kiyaschenko** // Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi. - 2015. - Iss.1 (45). - P. 164-170. - ISSN 2076-2429
10. Пат. 82960 Україна МПК C01B 15/00, C06B 31/00. Газогенеруюча добавка до емульсійних вибухових речовин/ **Коваленко І. Л., Купрін В. П.** (Україна). - № u201301321; заявл. 04.02.2013; опубл. 27.08.2013, Бюл. №16.

Рукопись поступила в редакцию 18.04.16

УДК 001.57: 681.5.015

В.О. КОНДРАТЕЦЬ, д-р техн. наук, проф., А.М. МАЦУЙ, канд. техн. наук, доц.  
Кіровоградський національний технічний університет

### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РІВНОМІРНОГО РУХУ ПУЛЬПИ У ПІСКОВОМУ ЖОЛОБІ ОДНОСПІРАЛЬНОГО КЛАСИФІКАТОРА

Подрібнення бідних залізних руд у перших стадіях відрізняється великими витратами, що в значній мірі викликано частковою або повною відсутністю інформації відносно деяких технологічних процесів, до яких можливо віднести і транспортування пульпи у пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора, де недостатньо вивчений рівномірний рух пульпи. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Її метою є математичне моделювання рівномірного руху пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора з пошуком залежностей між основними параметрами та встановленням меж їх зміни при експлуатації технологічного обладнання. Отримані аналітичні залежності об'ємної витрати пульпи та швидкості її руху від висоти потоку. Між об'ємною витратою пульпи і висотою потоку спостерігається практично лінійна залежність. Середня швидкість потоку пульпи нелінійно залежить від висоти при будь-якій ширині піскового жолоба. За певних похилах піскового жолоба, матеріалі футеровки та ширині дана залежність є функціональною. Висота потоку, об'ємна витрата пульпи, середня швидкість і час її руху змінюються в достатньо широких межах. Ширину піскового жолоба при проектуванні слід вибирати такою, що дорівнює 0,3 м. Такий канал володіє необхідною пропускнуною спроможністю і незначною нелінійністю статичної характеристики. Отримані результати являють собою основу для розробки засобів вимірювання об'ємної витрати пульпи у відкритих потоках, встановлення їх меж вимірювання, визначення факторів впливу на точність. Крім того, вони є базою для математичного моделювання хвильового руху пульпи у піскових жолобах механічних односпіральних класифікаторів.

**Ключові слова:** односпіральний класифікатор, пісковий жолоб, рівномірний рух, моделювання, об'ємна витрата, швидкість



**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Недостатня вивченість процесів рівномірного руху пульпи у пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора стримує розробку ефективних засобів контролю об'ємної витрати рідкої суміші у відкритих потоках і, як наслідок, - автоматизацію технологічних процесів подрібнення вихідної руди у перших стадіях, що приводить до значних економічних збитків. Тому дана стаття спрямована на реалізацію Державної науково-технічної програми «Ресурсозберігаючі технології нового покоління в гірничо-металургійному комплексі», затвердженої Законом України «Про основи державної політики у сфері науки і науково-технічної діяльності», за напрямком 5.3.1 «Розробка технологій видобутку та збагачення сировинних матеріалів для металургійного виробництва, в тому числі з використанням відходів виробництва» та планів наукової тематики Кіровоградського національного технічного університету за темою «Моделювання технологічних процесів у механічних спіральних класифікаторах з метою вдосконалення математичних моделей» (0115U003962). Оскільки ця стаття спрямована на розв'язання частини згаданої задачі, її тему слід визнати актуальною.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Автоматизації процесів подрібнення вихідної руди в перших стадіях присвячена значна кількість робіт як вітчизняних вчених, так і вчених з далекого зарубіжжя [1,2], однак не всі задачі тут розв'язані, що вимагає повернення до цих проблем ряду відомих вчених і в наш час. Так, в роботі [3] розглянуто робастне автоматизоване управління замкнутим циклом подрібнення на основі  $H_\infty$ -норми. Формуванню адаптивного керування процесом подрібнення залізородної сировини в умовах невизначеності характеристик об'єкта присвячена робота [4]. Керування в умовах процесів збагачувальної технології розглянуто в роботах [5,6]. У роботі [7] звертається увага на важливість перших стадій як подрібнення, так і збагачення. Поряд з цим акцентується увага на відсутності надійних засобів контролю необхідної точності або на значній їх вартості [5], на необхідності розробки інформаційних засобів [8], на важливості автоматичного вимірювання витрати продуктів [9], враховуючи і їх об'ємну масу [10]. Високою ефективністю відрізняються ультразвукові засоби контролю [11,12]. Все ширше починають застосовуватись алгоритмічні методи визначення параметрів у збагачувальних технологіях [13,14], які дозволяють підвищити точність отримуваної інформації при вимірюванні деяких параметрів навіть з великою похибкою. Для цього бажано підвищувати точність вимірювання інших параметрів. У замкнутому циклі подрібнення вихідної руди таким параметром є об'ємна витрата пульпи у пісковому жолобі класифікатора. Перша спроба такого вимірювання відмічена в роботі [15]. Згодом були розроблені теоретичні положення даного методу [16], однак для створення діючих вимірювальних пристроїв, визначення умов забезпечення їх найвищої точності, враховуючи і формування хвильового руху пульпи, необхідно мати повну уяву про її рівномірний рух. Рівномірний рух пульпи у пісковому жолобі двоспірального класифікатора досліджувався в роботі [17], однак тут умови відрізняються від односпірального класифікатора і результати не можуть бути використані. Отже, ніхто не досліджував особливостей рівномірного руху пульпи у пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора.

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є математичне моделювання рівномірного руху пульпи у пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора з пошуком залежностей між основними параметрами та встановленням меж їх зміни при експлуатації технологічного обладнання.

**Викладення матеріалу та результати.** Піски механічного односпірального класифікатора, що розвантажуються, змішуються з водою, яка подається у пісковий жолоб. Матеріал у пісковому жолобі рухається самопливом. Рахуючи рух пульпи рівномірним, знайдемо залежність об'ємної витрати пульпи в пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора від її рівня.

Середню швидкість руху пульпи у пісковому жолобі можливо визначити за формулою [18]

$$v = C\sqrt{R \cdot i}, \quad (1)$$

де  $R$  - гідравлічний радіус;  $C$  - коефіцієнт Шезі;  $i$  - похил дна піскового жолоба.

Гідравлічний радіус дорівнює [18]

$$R = \omega / \chi, \quad (2)$$

де  $\omega$  - площа живого перерізу потоку;  $\chi$  - змочений периметр потоку.

Пісковий жолоб механічного односпірального класифікатора виконують з прямокутним

перерізом. При цьому гідравлічний радіус для нього визначимо залежністю

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{B \cdot h}{2h + B}, \quad (3)$$

де  $B$  - ширина пісового жолоба;  $h$  - висота матеріалу в пісовому жолобі.

Пісовий жолоб механічного односпірального класифікатора працює при турбулентному режимі руху пульпи, що відноситься до квадратичної області гідравлічного опору. Зважаючи на те, що коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$  для квадратичної області гідравлічного опору залежить лише від відносної шорсткості стінок русла і не залежить від числа Рейнольдса, а як наслідок, і від роду рідини, що рухається в руслі, то відносно коефіцієнта Шезі  $C$  можливо стверджувати те ж саме. Коефіцієнт Шезі  $C$  залежить лише від відносної шорсткості стінок русла і не залежить від швидкості руху  $v$  і в'язкості пульпи.

Коефіцієнт Шезі  $C$  у практичних випадках прийнято визначати за спеціальними формулами [18]. Для даного руху пульпи у пісовому жолобі можливо скористатися скороченою формулою Гангіл'є-Куттера [18]

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n}}{1 + 23 \frac{n}{\sqrt{R}}}, \quad (4)$$

де  $n$  - коефіцієнт шорсткості стінок русла.

Рівняння (4) з врахуванням (3) можливо подати у наступному вигляді

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n}}{1 + \frac{23n}{\sqrt{\frac{B \cdot h}{2h + B}}}}. \quad (5)$$

Середня швидкість руху пульпи у пісовому жолобі з врахуванням (3) і (5) буде дорівнювати

$$v = \frac{23 + \frac{1}{n}}{1 + \frac{23n}{\sqrt{\frac{B \cdot h}{2h + B}}}} \sqrt{\frac{B \cdot h \cdot i}{2h + B}} \quad (6)$$

або

$$v = \frac{\left(23 + \frac{1}{n}\right) B \cdot h \cdot \sqrt{i}}{\left(\sqrt{\frac{B \cdot h}{2h + B}} + 23n\right) (2h + B)}. \quad (7)$$

Після перетворення виразу (7) отримаємо

$$Q = \frac{\left(23 + \frac{1}{n}\right) B^2 \cdot h^2 \cdot \sqrt{i}}{\left(\sqrt{\frac{B \cdot h}{2h + B}} + 23n\right) (2h + B)}, \quad (8)$$

де  $Q$  - об'ємна витрати пульпи в пісовому жолобі, отримана після підстановки  $v = Q/B \cdot h$ .

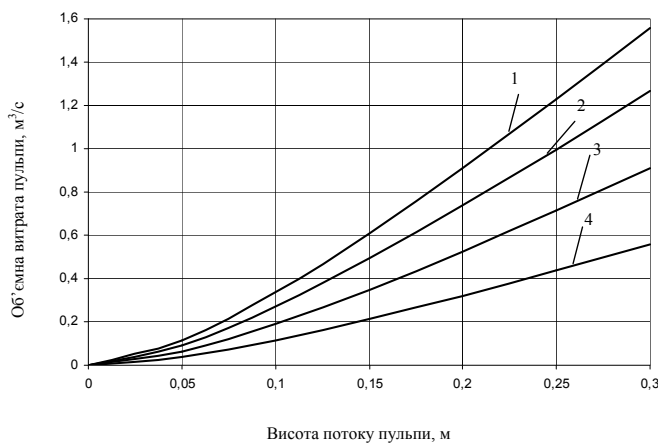
В залежності (8)  $i$  - конструктивна стала, яка характеризує надійний рух пісків у пісовому жолобі спірального класифікатора і визначається конструктивними розмірами технологічного вузла - шириною корпусу класифікатора, висотою пісового порога, відміткою встановлення кульового млина і його пісової завантажувальної системи. Тому похил дна пісового жолоба складає 34 % і практично змінюватися не може. У відповідності з визначенням похил  $i = \operatorname{tg} \alpha$ , тобто  $\operatorname{tg} \alpha = 0,34$ , що відповідає куту  $\alpha = 18^\circ 50'$ . Гідравлічний похил  $i = \sin \alpha$ , що відповідає

$i = \sin 18^\circ 50' = 0,3228$ . З врахуванням значення  $i$  залежність (8) можна подати у вигляді

$$Q = \frac{0,5682 \left( 23 + \frac{1}{n} \right) B^2 \cdot h^2}{\left( \sqrt{\frac{B \cdot h}{2h + B} + 23n} \right) (2h + B)} \quad (9)$$

Із залежності (9) видно, що при певних фіксованих значеннях  $n$  і  $B$  об'ємна витрата пульпи в піщовому жолобі механічного спірального класифікатора нелінійно залежить від висоти матеріалу  $h$ . Ширина піщового жолоба звичайно не перевищує 0,5 м. Для механічного односпірального класифікатора її можливо приймати  $B=0,4$  м. Конструктивна стала  $n$  залежить від типу каналу. Її значення можливо взяти з довідників для різних виконань піщових жолобів. Для відкритих облицьованих русел з різного матеріалу, який можливо використати при транспортуванні пісків механічного спірального класифікатора дана стала приймає наступні значення: чиста цементна поверхня –  $n=0,011$ ; асфальт гладкий –  $n=0,013$ ; бетон з необробленою поверхнею –  $n=0,017$ ; кам'яна кладка (бут на цементному розчині) –  $n=0,025$  [18].

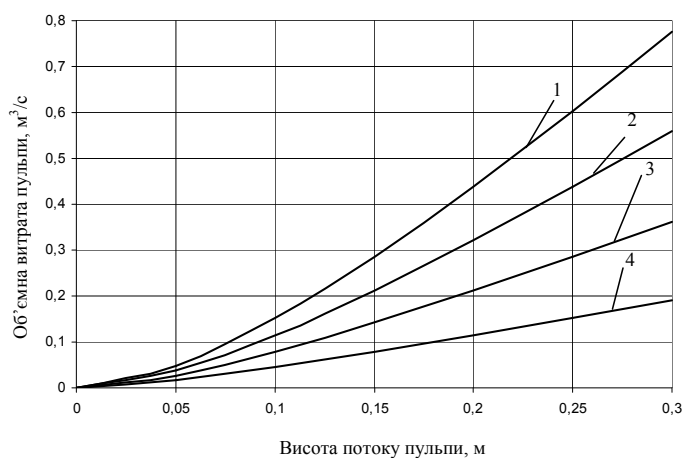
За допомогою персонального комп'ютера при  $B=0,4$  м промодельовано вираз (9) і отримано залежність об'ємної витрати пульпи в піщовому жолобі від її рівня для різних виконань русел (рис.1). З рис.1 видно, що об'ємна витрата пульпи у піщовому жолобі механічного односпірального класифікатора від її рівня залежить нелінійно. Графіки змінюють своє положення в залежності від матеріалу, яким футеровано канал. Здебільшого використовують кам'яну кладку, де  $n=0,025$ . Тобто, слід орієнтуватись на характеристику 4 (рис.1).



**Рис. 1.** Залежність об'ємної витрати пульпи у піщовому жолобі механічного односпірального класифікатора: 1 –  $n = 0,011$ ; 2 –  $n = 0,013$ ; 3 –  $n = 0,017$ ; 4 –  $n = 0,025$

Ширина піщового жолоба спірального класифікатора може бути змінним конструктивним параметром. Моделюванням на персональному комп'ютері при  $n=0,025$  при різній ширині піщового жолоба встановлені залежності об'ємної витрати пульпи від висоти потоку (рис. 2), звідки видно, що  $B$  сильно впливає на нелінійність характеристик. Найменшу нелінійність має характеристика 4, яка відповідає самому вузькому транспортному засобу.

тика 4, яка відповідає самому вузькому транспортному засобу.



**Рис. 2.** Залежність об'ємної витрати пульпи у піщовому жолобі механічного односпірального класифікатора при  $n=0,025$  від висоти потоку: 1 –  $B=0,5$ м; 2 –  $B=0,4$ м; 3 –  $B=0,3$ м; 4 –  $B=0,2$ м

Остаточню здійснити вибір робочої характеристики (параметра  $B$ ) можливо шляхом ув'язки даних залежностей з реальними витратами технологічного процесу. Моделювання об'ємної витрати пульпи в піщовому жолобі класифікатора також здійснено на персональному комп'ютері в широкому діапазоні зміни продуктивності вихідного живлення і циркуляційних

навантажень, які опирались на результати досліджень, отримані в роботі [19]. При моделюванні враховано, що на збагачувальних фабриках Криворізького басейну циркулююче навантаження першої стадії подрібнення змінюється в межах 50...150% [20]. Верхня межа циркулюючого на-

вантаження взята на рівні 200 %. Результати моделювання зведені в табл. 1. З даних табл.1 видно, що об'ємна витрата пульпи в пісковому жолобі класифікатора може змінюватися в межах від 0,016 до 0,063 м<sup>3</sup>/с. Тому здійснювалося моделювання процесів переміщення матеріалу в пісковому жолобі класифікатора в межах реальних витрат пульпи, згідно даним табл. 1. Результати комп'ютерного моделювання подані на рис.3, з якого видно, що найкращою є характеристика 3 з найменшою шириною піскового жолоба. По-перше, вона практично лінійна. По-друге, вона має найкращу початкову величину рівня - 0,052 м (порівняно з 0,037 і 0,028м для  $B=0,3$  м і відповідно  $B=0,4$  м). По-третє, їй характерний найбільш широкий діапазон зміни рівня пульпи 0,052-127 м. Однак орієнтуватись необхідно на характеристику 2, оскільки у неї нелінійність лише дещо гірша порівняно з характеристикою 3, але тут значно більші пропускні можливості каналу і він не може забитись випадково попавшим скрапом з механічного спірального класифікатора.

Таблиця 1

Об'ємна витрата пульпи у пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора при різних продуктивностях замкнутого циклу по вихідній руді  $Q_{вих}$  і коефіцієнтах, що характеризують значення циркулюючого навантаження у частці вихідного живлення, м<sup>3</sup>/с

Продуктивність вихідного живлення по руді $Q_{вих}$ , т/год	Коефіцієнт, що характеризує значення циркулюючого навантаження у частці вихідного живлення			
	0,5	1,0	1,5	2,0
160	0,016	0,026	0,035	0,044
180	0,017	0,028	0,038	0,049
200	0,018	0,030	0,042	0,054
220	0,020	0,033	0,046	0,058
240	0,021	0,035	0,049	0,063

Важливим параметром рівномірного руху пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора є осереднена швидкість переміщення матеріалу. Підставивши у вираз (7) прийняті конструктивні константи  $i=0,3228$  і  $n=0,025$ , для розглянутих ширин піскового жолоба  $B_1=0,4$  м,  $B_2=0,3$  м і  $B_3=0,2$  м відповідно отримаємо залежності для визначення середніх швидкостей руху пульпи, м/с

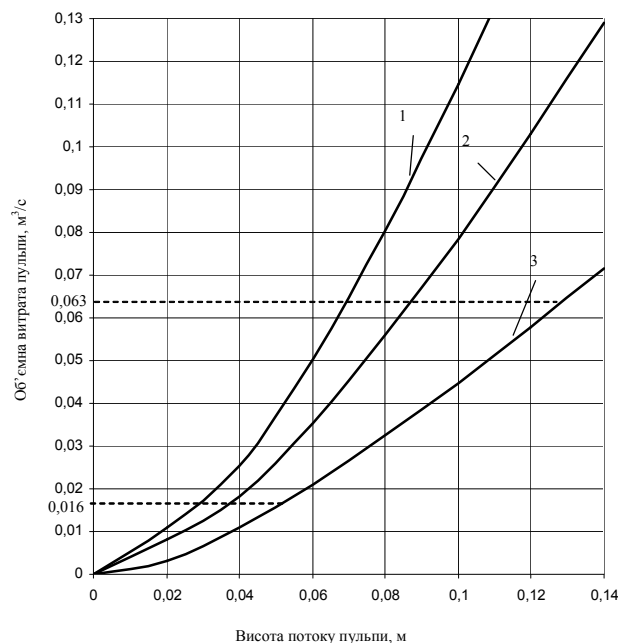


Рис. 3. Залежність об'ємної витрати пульпи у пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора від висоти потоку при  $n=0,025$  і малих значеннях висоти: 1 –  $B=0,4$  м; 2 –  $B=0,3$  м; 3 –  $B=0,2$  м

$$v_1 = \frac{14,3186h}{\left( \sqrt{\frac{0,4h}{2h+0,4}} + 0,575 \right) (2h+0,4)}, \quad (10)$$

$$v_2 = \frac{10,7390h}{\left( \sqrt{\frac{0,3h}{2h+0,3}} + 0,575 \right) (2h+0,3)}, \quad (11)$$

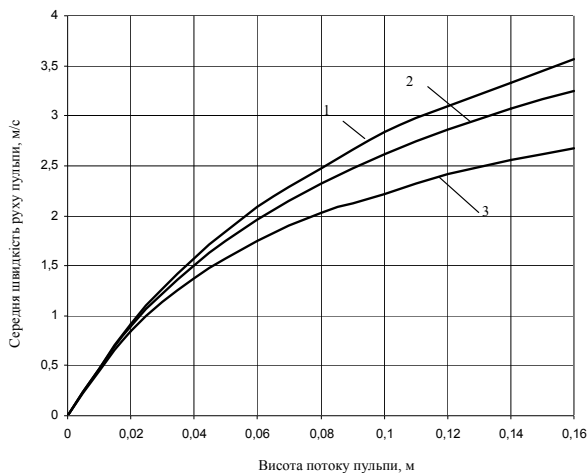
$$v_3 = \frac{7,1593h}{\left( \sqrt{\frac{0,2h}{2h+0,2}} + 0,575 \right) (2h+0,2)}, \quad (12)$$

де  $h$  - висота потоку виражена у метрах;  $v_1, v_2, v_3$  - середня швидкість руху пульпи.

Залежності середньої швидкості руху пульпи у пісковому жолобі механічного спірального класифікатора від висоти потоку

показані на рис.4. З нього видно, що середня швидкість пульпи нелінійно змінюється з висотою потоку. Ця залежність буде функціональною для конкретних умов роботи спірального класифікатора - певному значенні ширини піскового жолоба, його похилу та коефіцієнта шорсткості, оскільки режим руху пульпи не залежить від її в'язкості. Похил піскового жолоба і матеріал, з якого виконують його футеровку, звичайно є незмінними. Ширину піскового жолоба в проектній документації закладають з різними значеннями. Найчастіше вона дорівнює 0,4 або

0,3 м. Ширину 0,2 м звичайно не використовують, оскільки існує імовірність забивання комунікації у випадку попадання скрапу з класифікатора. Як видно з рис. 4, середня швидкість руху пульпи сильно залежить від ширини піскового жолоба. При збільшенні висоти потоку пульпи її середня швидкість спочатку стрімко зростає, потім цей процес уповільнюється. Якщо взяти середнє значення висоти потоку 0,1 м, то відхилення висоти на  $\pm 0,04$  м, тобто від 0,06 до 0,14 м, приводить до зміни середньої швидкості потоку наближено на  $\pm 0,5$  м/с. Це відчутна зміна швидкості і вона суттєво впливає на процеси, які відбуваються у пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора.



**Рис. 4.** Залежність середньої швидкості руху пульпи у пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора від висоти потоку при  $n=0,025$ : 1 –  $B=0,4$  м; 2 –  $B=0,3$  м; 3 –  $B=0,2$  м

Пісковий жолоб механічного односпірального класифікатора має довжину наближено 2,5 м і ширину здебільшого 0,3 м. З рис.3 (залежність 2) видно, що мінімальній витраті пульпи  $0,016$  м<sup>3</sup>/с і максимальній витраті  $0,063$  м<sup>3</sup>/с відповідають висоти потоку 0,037 і 0,085 м. При таких висотах потоку мінімальна середня швидкість дорівнює 1,4 м/с, а максимальна – 2,4 м/с. При цьому час руху пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора складає 1,04 і 1,79 с. З рис.4 слідує, що мало-

ймовірно, але можуть виникати режими роботи, коли час руху пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора буде дещо меншим – 0,96 с ( $h=0,1$  м), 0,89 с ( $h=0,12$  м), 0,82 с ( $h=0,14$  м).

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Отже, в процесі математичного моделювання рівномірного руху пульпи у пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора з врахуванням роботи технологічного агрегату в реальних умовах отримані аналітичні залежності об'ємної витрати пісків та їх швидкості руху від висоти потоку. Спостерігається практично лінійна залежність між об'ємною витратою пульпи і висотою потоку, зміна в достатньо широких межах висоти потоку, об'ємної витрати пульпи, середньої швидкості і часу переміщення матеріалу. Середня швидкість потоку пульпи нелінійно залежить від висоти при будь-якій ширині піскового жолоба. При певних похилах піскового жолоба, матеріалі футеровки та ширині дана залежність є функціональною. Встановлено, що ширину піскового жолоба при проектуванні слід вибирати такою, що дорівнює 0,3 м. Такий канал має необхідну пропускну спроможність і незначну нелінійність статичної характеристики. Отримані результати є достовірними, оскільки в дослідженнях використовувалися точні аналітичні методи і перевірені на практиці гідравлічні залежності.

Отримані результати слугують основою для розробки засобів вимірювання об'ємної витрати пульпи у відкритих потоках і математичного моделювання хвильового руху пульпи у піскових жолобах механічних односпіральних класифікаторів.

#### Список літератури

1. **Herbst J.A.** Model-based control of mineral processing operations / **J.A. Herbst, W.T. Pate, A.E. Oblad** // Powder Technology.- 1992.- Vol.69.- P. 21-32.-ISSN 0032-5910.
2. **Линч А. Дж.** Циклы дробления и измельчения / **Линч А. Дж.**: [пер. с англ.]- М.: Недра, 1981.- 342с.
3. **Моркун В.С.** Формирование робастного автоматизированного управления замкнутым циклом измельчения на основе  $H_\infty$ -нормы / **В.С. Моркун, Н.В.Моркун, В.В.Тронь** // Гірничий вісник: наук.-техн. зб. ДВНЗ «КНУ».- 2014.- Вип. 98.- С. 83-85.
4. **Тронь В.В.** Формування адаптивного керування процесом подрібнення залізородної сировини в умовах невизначеності характеристик об'єкта / **В.В. Тронь, К.В.Маєвський** // Гірничий вісник: наук.-техн. зб. ДВНЗ «КНУ».- 2015.- Вип. 99.- С. 27-32.
5. **Купін А.І.** Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології / **Купін А.І.** – Кривий Ріг: Видавництво КТУ, 2008.- 204с.
6. **Назаренко М.В.** Прогнозуюче адаптивне керування стохастичною системою для забезпечення раціональних техніко-економічних показників на прикладі залізородного гірничо-збагачувального комбінату / **Назаренко М.В.** – Кривий Ріг: Діоніс (ФОП Чернявський Д.О.). – 2010. – 309 с.

7. **Азарян А.А.** Автоматизация первой стадии измельчения, классификации и магнитной сепарации – реальный путь повышения эффективности обогащения железных руд / **А.А. Азарян, Ю.Ю. Кривенко, В.Г. Кучер** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць.- 2014.- Вип. 36.- С. 276-280.
8. Измельчение. Энергетика и технология / [Пивняк Г.Г., Вайсберг Л.А., Кириченко В.И. и др.]– М.: Изд. дом “Руда и Металлы”, 2007.– 296 с.
9. Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых / [Морозов В.В., Топчаев В.П., Улитенко К.Я. и др.]– М.: Изд. дом «Руда и Металлы», 2013.– 512 с.
10. **Луткин Н.И.** Приборы для контроля технологического процесса в потоке / **Н.И. Луткин, К.К. Морар.**- М.: Колос, 1978.- 160 с.
11. Ультразвуковой контроль характеристик измельченных материалов в АСУ ТП обогатительного производства / [Моркун В. С., Потапов В. Н., Моркун Н. В., Подгородецкий Н. С.]. – Кривой Рог : Изд. центр КТУ, 2007. – 283 с.
12. **Моркун В. С.** Ультразвуковые поверхностные волны Лэмба и Лява в измерительных системах / **В.С. Моркун, О.В. Поркуян** - Кривий Ріг: Изд. центр КТУ, 2006. – 261 с.
13. **Кондратець В.О.** Ідентифікація співвідношення руда/вода на вході кульового млина / **В.О. Кондратець, О.М. Сербул** // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ.- 2006.- Вип. 17.- С. 265-272.
14. **Кондратець В.О.** Ідентифікація співвідношення руда/вода в процесі подрібнення пісків класифікатора / **В.О. Кондратець, А.М. Мацуй** // Вісник Вінницького політехнічного інституту.- 2009.- №3.- С. 8-12.
15. А.с. 570398 СССР, МКИ В 03 В 13/04. Устройство для измерения циркулирующей нагрузки / **Ф.Н. Дегтярев, А.А. Мерзляков, В.А. Кондратец, Л.П. Байда, Н.В. Гончаров** (СССР). - № 1676560/03; заявл. 28.06.71; опубл. 30.08.77, Бюл. № 32.
16. **Кондратець В.О.** Теоретичне дослідження сканування поверхні відкритих матеріальних потоків променями незмінної довжини / **В.О. Кондратець** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць.- 2013.- Вип. 35.- С. 174-178.
17. **Кондратець В.О.** Дослідження впливу піскового потоку на стан пульпи у завитковому живильнику / **В.О. Кондратець, А.М. Мацуй** // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ.- 2007.- Вип. 19.- С. 107-114.
18. **Чугаев Р.Р.** Гидравлика (техническая механика жидкости) / **Чугаев Р.Р.**- Л.: Энергия, 1971.- 552с.
19. **Кондратець В.О.** Теоретичне дослідження розрідження пісків односпірального класифікатора джерелом з незмінною витратою води / **В.О. Кондратець, О.М. Сербул** // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ.- 2013.- Вип. 26.- С. 173-180.
20. Автоматический контроль и регулирование технологических процессов на железорудных обогатительных фабриках / [Гончаров Ю.Г., Давидкович А.С., Гейзенблазен Б.Е., Гуленко Г.В.].- М.: Недра, 1968.- 227с.

Рукопис подано до редакції 07.12.15

УДК 622.272: 624.191.5

А.Н. РОЕНКО, д-р техн. наук, проф., Национальный горный университет  
С.А. ХАРИН, д-р техн. наук, проф., Институт предпринимательства «Стратегия»

## АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КОНТУРНОГО ВЗРЫВАНИЯ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ JAVA-ПРОГРАММ

Указано, что сооружение протяженных горизонтальных горных выработок буровзрывным способом в крепких породах, в условиях Криворожского бассейна, приводит к тому, что фактическая площадь поперечного сечения может существенно превышать проектную, а величина отбитой породы на 15-19 % быть больше расчетной, что приводит к дополнительным работам и затратам времени и средств при уборке породы и креплении выработок. Отмечено, что в таких условиях для уменьшения переборов и трещинообразования в массиве целесообразно применение контурного взрывания. На основе разработки программного обеспечения на языке Java, которое выступило в качестве инструмента исследований вопросов организации строительства горных выработок, использованы возможности Swing - библиотеки для создания графического интерфейса, которая содержит ряд графических компонентов, таких как кнопки, поля ввода, таблицы и предоставляет более гибкие интерфейсные компоненты, чем более ранняя библиотека АWT. Получена зависимость параметров размещения шпуров при контурном взрывании от коэффициента крепости пород по шкале проф. М.М. Протодеяконова, при этом показано, что расстояние между шпурами контурного ряда и линия наименьшего сопротивления в зависимости от  $f$  соответственно описываются логарифмической и степенной функциями. Показаны результаты анализа воздействия контурного взрывания на скорость проходки выработок для разных случаев. Отмечено, что интенсивность строительства горизонтальных выработок при контурном взрывании при прочих равных условиях может снижаться в 1,1-1,24 раза, при этом более значительное уменьшение скорости работ при росте  $f$  объясняется уменьшением производительности средств бурения.

**Ключевые слова:** горное производство, горные выработки, отбитая порода, крепление выработок, горное давление.

**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, которые требуют соответствующей автоматизации для обеспечения достоверности результатов.

**Анализ исследований и публикаций.** Анализ опубликованных работ, освещающих различные аспекты научных исследований, показывает на значительное число публикаций, посвященных совершенствованию буровзрывных работ, в частности, действию взрыва удлиненного заряда взрывчатого вещества в шпурах и управлению удельной поверхностной энергией разрушения горных пород [1,2]. Учеными также получены научные результаты, связанные с использованием многоточечного инициирования скважинного заряда для улучшения проработки подошвы уступа и исследованием влияния формы заряда в донной части шпура на изменение прочностных свойств среды при взрыве [3,4]. Различным аспектам контурного взрывания посвящен труд чешских авторов [5], получивший широкое признание.

В целом изучение литературных источников и актуальных проектов проводящегося в настоящее время строительства железорудных предприятий показывает, что вопросы воздействия контурного взрывания на продолжительность проходческого цикла и соответственно скорость проведения протяженных выработок, независимо от их назначения, не являются сегодня детально проработанными.

**Постановка задачи.** Разработать эффективно работающее, отвечающее стандартам качества, программное обеспечение и исследовать влияние контурного взрывания на интенсивность проходческих работ, выполнить соответствующий анализ, установить закономерности и выработать рекомендации.

**Изложение материала и результаты.** Функционирование железорудной промышленности Украины характеризуется в настоящее время следующими чертами:

значительной отработанностью легкодоступных месторождений полезных ископаемых; большой глубиной ведения работ на карьерах, проблемами, связанными с масштабами и темпами вскрышных работ;

экологическим ущербом, связанным с деятельностью горнообогатительных комбинатов; значительной потребностью металлургических предприятий в железорудном сырье;

необходимостью обеспечения критически важных экспортных поставок металлургической и железорудной продукции;

близостью к исчерпанию запасов природно-богатых железных руд, разрабатываемых в настоящее время подземным способом и вскрытых с помощью одной ступени вскрытия.

В таких условиях эффективное развитие подземного горного производства возможно только при активной инновационной политике, экономии всех видов, а особенно ключевых затрат, концентрации усилий не только непосредственно на добыче полезного ископаемого, но и на вопросах шахтного строительства, своевременное введение в действие новых горизонтов, расположенных на значительных глубинах. Это придает особое значение вопросам совершенствования организации работ.

Проходка горных выработок, особенно большого поперечного сечения, сопровождается во многих случаях тем, что их фактические размеры отличаются от данных в проекте, контур выработки сильно изрезан. Стремление к тому, чтобы сооружаемая выработка в проходке имела размеры, которые позволяют в конечном итоге обеспечить соответствие проекту готовой выработки с учетом параметров ее крепи вынуждает размещать шпуры таким образом, что имеет место перебор породы, который исчисляется величиной 15-19 %, а в ряде случаев и большей, что негативно сказывается на объемах убираемой породы, затрудняет крепление выработки.

Например, при использовании в качестве крепи бетонной расход материала, особенно при значительной неровности контура, может существенно возрасти, что увеличивает стоимость строительства, повышает его сроки.

Кроме того, при обычном взрывании имеет место значительное разрушающее воздействие энергии взрыва на законтурный массив, что требует увеличения параметров крепи, и, соответственно, вызывает необходимость увеличения размеров выработки в проходке. Для снижения переборов породы и образования трещин в горном массиве целесообразно использование кон-

турного взрывания, характеристикой которого является снижение энергии при взрыве и специальном расположении шпуров предконтурного и контурного рядов.

Изучение имеющегося обширного опыта применения контурного взрывания, освещенного, в частности, проф. Н.М. Покровским и другими авторами показало следующее [6,7]. Снижение концентрации взрыва на 1 м шпура достигается за счет использования ВВ с высокой работоспособностью в патронах уменьшенного диаметра или использования ВВ в патронах обычного диаметра, но малой работоспособности, а также сочетания этих способов.

При применении контурного взрывания уменьшается глубина трещин в массиве, перебор породы, все это в конечном итоге позволяет существенно сократить расходование средств на крепление выработок, особенно в сложных условиях, например, при высоком горном давлении.

Весьма целесообразным представляется использование контурного взрывания на глубоких горизонтах шахт Криворожского бассейна, где проходческие работы выполняются на глубинах свыше 1300 м.

Насущной задачей выступает разработка программного обеспечения, которое позволяло бы служить в качестве инструмента оперативного изучения вопросов организации проходческого цикла при сооружении выработок, учитывая большое разнообразие условий и сложность обработки информации.

Как представляется, весьма целесообразным в данном случае может быть программное обеспечение, использующее принципы объектно-ориентированного программирования (ООП).

Важно указать, что главные достоинства такого вида программирования проявляются, когда в языке есть возможность использования полиморфизма, способности объектов с одинаковой спецификацией получать разную реализацию, что вполне применимо для наших задач.

С целью автоматизации исследований разработаны алгоритм (рис. 1) и компьютерная программа на языке Java.

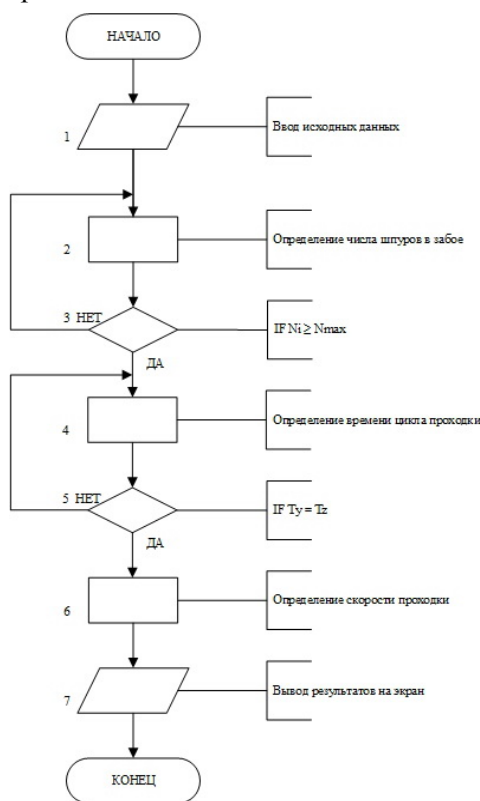
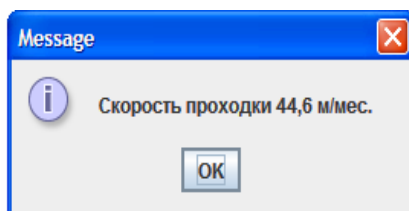


Рис. 1. Алгоритм программы исследований

Использованы возможности Swing - библиотеки для создания графического интерфейса, которая содержит ряд графических компонентов, таких как кнопки, поля ввода, таблицы и предоставляет более гибкие интерфейсные компоненты, чем более ранняя библиотека AWT (рис. 2).

Основные возможности этого языка весьма разнообразны. К ним относится, в частности, следующее [8,9]: возможность применения достаточно простых инструментов для построения сетевых приложений, способность к автоматическому управлению памятью, весьма обширный перечень средств для осуществления фильтрации ввода-вывода, богатый перечень стандартных коллекций, интегрированные в Java средства построения многопоточных приложений, существенно дополненные механизмы преобразования комплекса исключительных ситуаций, способность к параллельному выполнению различных программ. Все это дает возможность эффективно использовать язык Java для решения задач горного производства, особенно в тех случаях, когда необходима обработка большого потока данных.

Рис. 2. Использование библиотеки Swing



Проф. Н.М. Покровским и другими авторами [6,7] указывается закономерность изменения расстояния между оконтуривающими шпурами в протяженных выработках горизонта от коэффициента крепости пород по шкале проф. М.М. Протодяконова. Следует, однако, указать, что в упомяну-



тых работах не приводятся сведения о параметрах размещения таких шпуров в породах с  $f$ , не превышающим десяти. Используя параметры, приведенные ранее в [6,7], возможно найти выражения для определения расстояний между шпурами от  $f$ , экстраполировав их для диапазона крепости пород от 10 до 20 (табл. 1).

В результате полученные выражения для определения основных параметров размещения зарядов контурного и предконтурного рядов применим в дальнейшем для нахождения зависимости темпов проведения протяженных выработок горизонта при контурном взрывании в породах с высокой и очень высокой крепостью, которые, в частности, характерны для глубоких шахт Криворожского бассейна. Выполним исследование по нахождению зависимости темпов сооружения штрека и квершлага от  $f$  при разнообразных случаях (табл. 2) в выработках сечением соответственно 10 и 20 м<sup>2</sup>.

Применение вместо обычного взрывания контурного требует бурения некоторого (иногда весьма значительного) количества дополнительных предконтурных и непосредственно контурных шпуров, что способно негативным образом отражаться на скорости сооружения выработок. Часть из них может находиться на достаточно большой высоте, что способно затруднить процесс бурения.

Таблица 1

Зависимости параметров размещения шпуров от  $f$ 

Вид шпуров	Расстояние между шпурами в ряду, $a_k$ , см	ЛНС, $W_k$ , см
Оконтуривающие	Логарифмическая, $a_k = -24,1 \ln(f) + 99,7$	Степенная $W_k = 149,2 f^{-0,43}$
Предконтурные	Логарифмическая, $a_{pk} = -28,9 \ln(f) + 119,54$	Степенная $W_{pk} = 179,4 f^{-0,42}$

Таблица 2

Условия исследований

Условие исследований	Сечение выработки в проходке, м <sup>2</sup>	Вид взрывания	Производительность средств бурения
1	10	Обычное	Зависит от $f$
2		Контурное	Зависит от $f$
3		Контурное	Увеличена по сравнению с вариантом 2 в 2 раза
4	20	Обычное	Зависит от $f$
5		Контурное	Зависит от $f$
6		Контурное	Увеличена по сравнению с вариантом 5 в 2 раза

Анализ полученных данных о числе шпуров при обычном и контурном взрывании позволил сделать следующие выводы. Абсолютное (и достаточно заметное) увеличение числа шпуров при росте  $f$  будет приводить к более выраженному относительному росту количества шпуров при меньших величинах коэффициента крепости пород: к примеру, в штреке, имеющем площадь поперечного сечения в проходке 10 м<sup>2</sup>, относительный рост количества шпуровых зарядов при контурном взрывании при  $f=10$  будет достигать 1,28 раза, при крепости пород 14–1,24 раза. Вместе с тем такое увеличение числа шпуров при очень высоком  $f$ , например, 20, снизится до параметра 1,19.

Для квершлага, имеющего вдвое большее сечение, чем штрек, возрастание при контурном взрывании количества шпуров, обладая в целом аналогичным характером изменения, будет характеризоваться менее заметным уровнем. Так, например, установлено, что для коэффициента крепости пород 10 это увеличение будет достигать 1,24, для  $f=14$ –1,21, и, наконец, для  $f=20$  изменится до величины 1,17. Для условия исследований 1, при применении обычного взрывания, и росте  $f$  от 10 до 14 интенсивность строительства штрека сократится с 77 м/мес до 50,2 м/мес. (на 35 %). Возрастание значения крепости до 20 вызывает уменьшение интенсивности сооружения штрека до 29 м/мес (в 2,7 раза в сравнении со случаем  $f=10$ ).

Довольно заметные изменения в темпах строительства выработки будут наблюдаться при применении контурного взрывания (вариант 2). Потребность в бурении увеличенного числа шпуров вызывает сокращение в соответствующих случаях интенсивности сооружения штрека.

Так, например, при  $f=10$  темпы строительства выработки будут достигать 67,8 м/мес (что уступает обычному взрыванию в 1,14 раза). Для коэффициента крепости 20 темпы проходки сократятся до 24,6 м/мес (что в 2,8 раза меньше случая с крепостью 10 и в 1,2 раза - по сравнению с применением обычного способа взрывания забоя).

Целесообразно выполнить анализ изменения скоростей строительства ранее рассмотренных нами протяженных выработок горизонта при использовании контурного взрывания, но

двукратном (для соответствующих случаев ведения проходческих работ) повышении производительности буровых средств, поскольку буровые работы, особенно в крепких породах, производят сильно выраженное воздействие на интенсивность строительства выработок. В таком варианте (условие исследования 3) будут наблюдаться следующие скорости строительства штрека: 63,4 м/мес для крепости 10 (0,82 к сравниваемому уровню интенсивности проходки для обычного взрывания); 49,2 м/мес для  $f=14$  (изменится до 0,98); 41 м/мес.

Для случая с крепостью 16 наблюдается уравнивание темпов проходки - строительства штрека при обычном и контурном взрывании, но с увеличенной в 2 раза эксплуатационной производительностью бурового оборудования. При коэффициенте крепости пород 20 контурное взрывание с удвоенной производительностью оборудования для бурения дает возможность поддерживать темп проведения штрека в 1,4 превышающий таковой при обычном виде взрывания. Проанализируем далее аналогичным образом темпы проведения квершлага с  $S=20 \text{ м}^2$ . Для такого варианта исследования при обычном взрывании (условие 4) скорости работ изменятся от 51,2 м/мес при  $f=10$  и 36,4 м/мес при  $f=14$  до 22,3 м/мес при  $f=20$ . В то же время использование контурного взрывания (условие 5) вызывает уменьшение темпа проходки квершлага в таком диапазоне величин: при крепости 10 до 46,8 м/мес (в 1,1 раза), при крепости 14 до 32,4 м/мес (1,12), и при крепости 20 до 18 м/мес (1,24). Более заметное уменьшение интенсивности строительства квершлага при контурном взрывании при больших значениях  $f$  следует объяснять не столько возрастанием количества шпуров (интенсивность увеличения количества шпуров при больших значениях крепости пород напротив, снижается), но заметно более трудными условиями для ведения буровых работ.

Использование, по аналогии со штреком, контурного взрывания с увеличенной в двукратном размере производительностью бурового оборудования (условие исследований 6) существенно увеличивает темпы сооружения квершлага - до 54,9 м/мес при крепости 10 или 28,2 м/мес - крепости 20. Результаты анализа изменения темпов сооружения штрека и квершлага, на основании которых мы получили зависимости скорости сооружения рассмотренных горизонтальных выработок разного сечения от коэффициента крепости пород для весьма различных условий сведем в табл. 3.

Таблица 3

Зависимости  $v$  от  $f$ 

Условие исследований	Функция	Характер функции
1	$v=-4,63f+119,1$	линейный
2	$v=-4,09f+105,6$	
3	$v=-2,04f+80,01$	
4	$v=-2,82f+77,5$	
5	$v=-2,78f+72,5$	
6	$v=-2,58f+79,3$	

Полученные зависимости могут, с вполне удовлетворительной точностью, характеризоваться линейными выражениями.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Таким образом, в результате разработки программного обеспечения на языке Java, которое выступило в качестве инструмента исследований вопросов организации строительства горных выработок и изучения воздействия в различных условиях, которое оказывает контурное взрывание на скорость строительства протяженных выработок горизонта, стало возможным установить такие результаты:

применение контурного взрывания вызывает необходимость размещения в забое выработки дополнительных шпуров, количество которых может измеряться для различных случаев, величиной порядка 20-30 % - для штрека площадью поперечного сечения  $10 \text{ м}^2$  и величиной 18-25 % - для квершлага сечением  $20 \text{ м}^2$ .

Характерным является также то, что с увеличением значения  $f$  наблюдается относительное снижение прироста количества контурных шпуров.

Интенсивность сооружения штрека при контурном взрывании уменьшится примерно в 1,15 раза при крепости 10 и в 1,2 раза при крепости 20. Для квершлага с указанные величины будут составлять соответственно порядка 1,1 и 1,25.

Более существенное уменьшение скорости строительства выработок при росте  $f$  объясняется значительным уменьшением эксплуатационной производительности бурового оборудования.

Дальнейшие исследования в рамках данной проблемы целесообразно сосредоточить на изучении взаимодействия различных факторов организации горного производства.

### Список литературы

1. Калякин С.А., Шкуматов А.Н., Лабинский К.Н. Управление разрушающим действием взрыва уклонного шпурового заряда взрывчатого вещества // Вісник КрНУ. – Кременчук: КДПУ, 2013. – Вип. 2/2013 (79). – С. 78-82.
2. Терентьев О.М., Стрельцова І.М. Математична модель управління питомою поверхневою енергією руйнування гірських порід // Вісник КрНУ. – Кременчук: КДПУ, 2013. – Вип. 3/2013 (80). – С. 153–157.
3. Использование многоточечного инициирования скважинного заряда для улучшения проработки подошвы уступа / В.В. Воробьев, В.Т. Щетинин, А.М. Пеев // Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. Серія “Гірництво”: збірн. наук. праць. – Київ: НТУУ “КПІ”, 2003. – Вип. 9. – С. 63-65.
4. Исследование влияния формы заряда в донной части шпура на изменение прочностных свойств среды при взрыве / В.В. Воробьев, А.М. Пеев // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва: науково-виробничий збірник. – Кременчук: КДУ, 2009. – Вип. 2/2009(4). – С. 35–39.
5. Бротанек И., Вода Й. Контурное взрывание в горном деле и строительстве. Перев. с чешск. под ред. Б.Н. Кутузова. - М.: Недра, 1983. – 144 с.
6. Покровский Н.М. Технология строительства подземных сооружений и шахт. – М.: Недра, 1977. – 400 с.
7. Смирняков В.В., Вихарев В.И., Очкуров В.И. Технология строительства горных предприятий. – М.: Недра, 1989. – 573 с.
8. Лонг Ф., Мохиндра Д., Сикорд Р., Сазерленд Д., Свобода Д. Руководство для программиста на Java: 75 рекомендаций по написанию надежных и защищенных программ. Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2014. – 256 с.
9. Хорстман, С., Корнелл Г. Java 2. Библиотека профессионала. Основы. Пер. с англ. под ред. В.В. Вейтмана. - М.: Вильямс, 2007. – 896 с.

Рукопись поступила в редакцию 26.01.16

УДК 622.834: 622.862.3

А.Э. КИПКО, д-р техн.наук, проф., Д.А. ЧЕПИГА, аспирант  
Е.С. ПОДКОПАЕВ, студент, ГВУЗ «Донецкий национальный  
технический университет» МОН Украины, г. Красноармейск

## О ПРОЯВЛЕНИИ ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ ПРИ ПОДДЕРЖАНИИ ВЫРАБОТОК В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Применяемые в настоящее время способы управления кровлей в лаве и охраны подготовительных выработок в большинстве случаев не позволяют максимально эффективно использовать механизм разгрузки боковых пород от вредных проявлений горного давления. Все это является причиной обрушений пород кровли и почвы, завалов выработок и высокого уровня травматизма. В результате выполненных исследований было установлено, что наиболее неблагоприятная геомеханическая обстановка в угленосном массиве, с точки зрения проявления природных опасностей, имеет место при способе управления кровлей удержанием на кострах. Это можно объяснить неэффективным взаимодействием боковых пород с охранными сооружениями, оставляемыми в выработанном пространстве по всей длине лавы. Имея ограниченную податливость (до 10%) эти сооружения являются концентраторами напряжений и способствуют максимальному изгибу породных слоев. Такое положение является особо опасным, при наличии в их составе неустойчивых пород. Совершенно иная картина имеет место при наличии над штреком широкой податливой опоры, обеспечивающей плавный прогиб пород кровли. Правильное представление о характере распределения напряжений в массиве пород при разработке крутых угольных пластов способствует не только разработке эффективных мероприятий по сохранению устойчивости выработок, но и снижению уровня травматизма горнорабочих. При этом необходимо учитывать надежное взаимодействие применяемых охранных сооружений с расщелившимися породами кровли и почвы. Такой подход позволит минимизировать концентрацию напряжений в массиве. Это может быть обеспечено за счет определения оптимальных параметров широкой податливой опоры, расположенной над штреком и разработки специальных способов по повышению устойчивости боковых пород.

**Ключевые слова:** Угольный пласт, боковые породы, способ управления кровлей, моделирование, охранные сооружения, подготовительная выработка.

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** Общеизвестно, что эффективность отработки угольных пластов и безопасность ведения горных работ на шахтах Донбасса, в значительной степени зависит от состояния горных выработок. В настоящее время, на современных глубинах разработка крутых угольных пластов осложняется ухудшающимися с глубиной горно-геологическими условиями, наличием неустойчивых вмещающих пород, изменением интенсивности смещений и формы их проявлений. На достигнутых глубинах подготовительные выработки проводятся и поддерживаются в боковых породах, представленных глинистыми и песчано-глинистыми сланцами (49 %, в том числе ниже средней устойчивости 27%), песчаными сланцами (28 %) и песчаниками (23 %). Как показало изучение процесса сдвижений и деформаций горных пород [1,3,4,5], при выемке пластов в нарушенной толще происходит образование характерных зон сдвижения, на динамику и параметры которых в значительной степени влияют способ управления кровлей и охраны горных выработок. Опыт работы шахт показывает, что в результате ведения горных работ, в зонах разгрузки, в углепородном массиве начинает проявляться такой природный фактор, как расслоение боковых пород, их интенсивная трещиноватость и, как правило, обрушения. Анализ состояния штреков на шахтах, разрабатывающих крутые пласты свидетельствует о том, что наибольшее число их неудовлетворительного состояния (около 54 %) приходится на участок сопряжения штрека с лавой, когда проведение выработок осуществляется с подрывкой пород кровли или почвы, а для их охраны используют всевозможные искусственные сооружения из дерева. В этих случаях, применяемая в очистном забое крепь не способна противостоять движению нарушенной толщи пород, что способствует не только их обрушению, но и сползанию в выработку. Приведенные причины приводят к деформированию крепи горных выработок, потере регламентированного ПБ сечения штреков, что в свою очередь способствует увеличению уровня травматизма на протяжении горных выработок. Достигнутый уровень травматизма по исследуемому фактору (за последние 10 лет удельный вес смертельного травматизма при проведении и перекреплении выработок составляет около 34 %, на сопряжении выработок - 12%) позволяет считать, что действующие меры по предотвращению обвалов и обрушений в угольной отрасли, являются недостаточными. Следует отметить, что значительное число завалов лав и подготовительных выработок связано с созданием аварийных ситуаций, которые происходили в результате нарушения горнорабочими требований ПБ при ведении горных работ по добыче угля, проведению и ремонту выработок. Так, по мнению авторов [17] наиболее часто повторяющимися причинами аварий и несчастных случаев в результате обвалов и обрушений горных пород являются нарушения паспортов крепления (62 %), несоответствие паспортов крепления горно-геологическим условиям (8%) и отсутствие или неисправность крепи (23 %). Однако детальный анализ аварий позволяет сделать вывод о том, что во многих случаях не организационные причины, а недостаточная изученность природы обрушений и, в связи с этим, принятие ошибочных технических решений обуславливает травматизм по рассматриваемому опасному производственному фактору. Поэтому разработка эффективных мероприятий, направленных на повышение устойчивости боковых пород при разработке крутых угольных пластов, в сложных горно-геологических условиях, будет способствовать не только рациональной отработке запасов, но и повышению труда горнорабочих, обеспечивающих проведение и поддержание горных выработок.

**Анализ исследований и публикаций.** Традиционно считается, что проявления горного давления в горных выработках зависят от совокупного влияния многих горно-геологических факторов, к которым первостепенно следует относить напряженное состояние пород и их физико-механические свойства. Изучение особенностей проявления горного давления в выработках на большой глубине [1-4] позволило установить, что характер его опасных проявлений определяется не только напряженным состоянием массива горных пород и их физико-механическими свойствами, но и спецификой формирования последнего, обусловившей неупругое деформирование при трехосном сжатии, а также способность деформироваться и разрушаться при разгрузке.

Известно [5], что наличие зон разгрузки способствует расслоению боковых пород, их проксальзванию на контактах надработанных и подработанных слоев, проявлению и раскрытию трещин, нормальных к напластованию и зачастую не совпадающих с природными трещинами.

В реальных условиях разработки крутых пластов породы междупластья представляют собой чередующиеся слои как угольных пластов и прослоев, так и самых различных пород. От-

личительная особенность такого массива заключается в том, что во всех случаях контакт между слоями представлен глинистыми разностями. В зонах разгрузки, глинистые породы, увеличиваясь в объеме во времени, отрывают слои более прочных пород и формируют условия их обрушений [6]. Обрушениям и обвалам, как показывает практика, связанным с отрывом некоторого объема пород от остального массива, всегда предшествует их расслоение. В зависимости от горно-геологических условий зона расслоения пород составляет в кровле по нормали к напластованию 4-8 м, а в почве - 2-5 м. В формировании условий расслоения важную роль составляют такие факторы, как наличие прослойков и плоскостей скольжения на контакте слоев. Исследования смещений пород с помощью реперов показали, что процесс расслоения начинается впереди лавы [1,4,6]. Очевидно, что для предотвращения таких случаев необходима комплексная механизация очистных и подготовительных работ, а так же широкое внедрение анкерного крепления горных выработок. Снижение травматизма на шахтах развитых угледобывающих стран, как показывает опыт, обеспечивается за счет применения анкерной крепи в качестве основной для крепления подготовительных выработок. В отличие от рамных крепей и бутовых полос, предназначенных для сопротивления нагрузки со стороны массива горных пород, основным назначением анкерной крепи является упрочнение массива и за счет этого повышение устойчивости боковых пород [7-10]. Так, для применения в неустойчивых слоистых породах была разработана крепь КАУ с анкерами, изготовленными из гладкостенного металлического стержня, позволяющая улучшить состояние горных выработок и существенно уменьшить смещения боковых пород в выработку [11]. Эта крепь была испытана в одном из откаточных штреков шахты им. А.И. Гаевого ГП «Артемуголь» и предотвратила расслоение трехметровой толщи глинистых и песчано-глинистых сланцев, залегающих в кровле. Однако, как установлено на практике, в слабых слоистых породах, особенно в обводненных, в наибольшей степени склонных к пучению и последующему отрыву, известные способы анкерования являются недостаточно эффективными, в связи со слабым закреплением анкеров.

При традиционных способах управления кровлей полным обрушением или удержанием на кострах (на практике их выполнение не имеет принципиальных различий), в силу специфических особенностей разработки крутых пластов, связанных с углами падения, превышающих углы внутреннего трения пород, под действием сил гравитации расслоившиеся боковые породы верхней части лавы смещаются вниз. Такое положение способствует сокращению площади обрушения непосредственной кровли в нижней части очистного забоя на величину подбученной части выработанного пространства [4,12]. В этом месте расслоившаяся кровля и почва опирается на обрушенные породы. Причем, боковые породы испытывают действие изгибающих напряжений и максимальную их концентрацию в окрестности поддерживаемой выработки [13]. В таких условиях традиционные способы охраны подготовительных выработок (кусты из стоек, костры из шпал) не способны обеспечить удовлетворительное состояние поддерживаемых штреков (в зоне влияния очистных работ), что может способствовать их завалу. Опыт работы шахт Донбасса показывает, что с ростом глубины горных работ в горных выработках начинает проявляться такой негативный фактор, как сползание пород почвы. Ранее проведенными исследованиями было установлено, что для формирования условий сползания пород почвы угольных пластов обязательным является наличие слабого слоя внутри пород непосредственной почвы. Мощность сползающего слоя может изменяться от 0,5м до 2,5м [1]. Последнее также способствует завалу горных выработок и травматизму горнорабочих. Внезапность возникновения таких опасных ситуаций является одной из особенностей разработки пластов с неустойчивыми и сползающими породами. Это обуславливается не только горно-геологическими, но и горно-техническими факторами. К последним следует относить несоответствие применяемых средств и способов крепления и управления кровлей горно-геологическим условиям.

Известно [12], что наиболее благоприятно на охрану откаточных выработок, пройденным по пластам со сложными горно-геологическими условиями, влияет способ управления кровлей закладкой выработанного пространства, особенно в зоне над откаточным штреком. Однако в силу различных причин, этот способ в настоящее время не применяется, хотя при его использовании исключались обрушения пород непосредственной и внезапные посадки пород основной кровли, а с течением времени, уменьшалась вероятность сползаний пород почвы.

Исследованиями ДонУГИ и ДонНТУ ранее было установлено, что закладочный массив предотвращает развитие интенсивного трещинообразования в окрестности выработок и создает

зоны устойчивых пород впереди и позади очистного очистного забоя. Очевидно, повышение устойчивости боковых пород призабойного пространства впереди и позади лавы, является одним из главных направлений повышения устойчивости горных выработок в сложных горно-геологических условиях больших глубин разработки угольных месторождений.

**Постановка задачи.** Для изучения проявлений природных опасностей в углепородном массиве крутого угольного пласта были приведены исследования на моделях из оптических материалов. Цель этих исследований заключалась в определении исходной качественной картины распределения касательных напряжений, при которой следует ожидать сравнительно меньших отрицательных проявлений горного давления в поддерживаемых штреках при различных способах их охраны и управления горным давлением в очистном забое.

Для решения поставленной задачи применялась экспериментальная установка ППУ-4, при моделировании на которой использовали известный способ сопоставления цветов и полос распределения касательных напряжений [14]. Распределение напряжений изучалось в массиве крутого угольного пласта, угол падения  $\alpha=60^\circ$ , мощностью  $m=1,0$  м, с подготовительной выработкой арочной формы. Мощность пород непосредственной кровли соответствовала 5 м, а непосредственной почвы - 2 м.

Длина исследуемого участка (по длине лавы) соответствовала 70 м. Всего было отработано 8 моделей. Толщина моделей составляла 40 мм, а напряженное состояние создавалось пригрузом, позволяющим моделировать глубину разработки 1200 м. Упругие и оптические константы моделей, критерии подобия выполнены по рекомендациям [14].

Оптический метод, в данном случае, позволяет установить исходную картину распределения напряжений в среде, которая формируется во вмещающих породах в первый период времени после выемки угля. Для определения главных напряжений в модели использовали поле изоклин, представляющие собой геометрическое место точек, в которых направления главных напряжений одинаковы [14].

**Изложение материала и результаты.** На рис.1 изображены изолинии главных касательных напряжений в массиве крутого угольного пласта с подготовительной выработкой при ее охране накатными кострами из шпал и способе управления кровлей в лаве удержанием на кострах (а) и охране штрека широкой податливой опорой (б). Как видно из рис.1а при способе управления кровлей удержанием на кострах, над штреком максимальная концентрация напряжений приурочена к области изгиба породных слоев.

Такое положение имеет место и, в средней части лавы, когда в выработанном пространстве для удержания кровли оставляют накатные костры из шпал. Породы кровли и почвы, изгибаются, обыгрывают эти охранные сооружения.

Очевидно, имея ограниченную податливость (до 10 %) и малые размеры (в натуре  $2,0 \times 2,0$  м) накатные костры выполняют роль опоры, в окрестности которой концентрируются напряжения. Причем, расстояния между опорами (по линии падения пласта) и их податливость (сжимаемость), определяют величину касательных напряжений в боковых породах, из-за изгиба породных слоев.

Совершенно иная исходная картина распределения напряжений в изучаемой среде, имеет место при наличии над штреком широкой податливой опоры (рис.1б).

Степень ее податливости определяет величину плавного изгиба вышележащих породных слоев и концентрации напряжений в них. При податливости 30-40 % имеем концентрацию напряжений в массиве, не способствующую дальнейшему возможному разрушению боковых пород.

Однако, при этом, следует отметить незначительное (до 5-10 %) уменьшение сечения поддерживаемого штрека, произошедшее в результате оседания пород кровли, из-за податливости широкой опоры.

При использовании оптического метода, применительно к решаемой задаче, считается [15], что концентрация напряжений приводит к пластическим деформациям, а с течением времени, в местах концентрации сжимающих и растягивающих напряжений имеет место разгрузка (разрушение) осадочного массива.

Подтверждением этому является анализ механических процессов, имеющих место в углепородном массиве с горной выработкой [16], когда напряженное состояние горных пород по мере удаления от контура выработки изменяется от состояния близкого к обобщенному растяжению и сдвигу, до состояния сжатия в глубине массива.

Исходя из этих представлений и результатов выполненных исследований можно заключить, что наиболее неблагоприятная геомеханическая обстановка в углепородном массиве, с точки зрения проявлений природных опасностей, имеет место при охране выработок накатными кострами и управлении горным давлением - удержание кровли на кострах.

При охране выработок широкими податливыми опорами с размещением их по всей длине лавы крутого пласта имеем минимальную концентрацию напряжений в массиве.

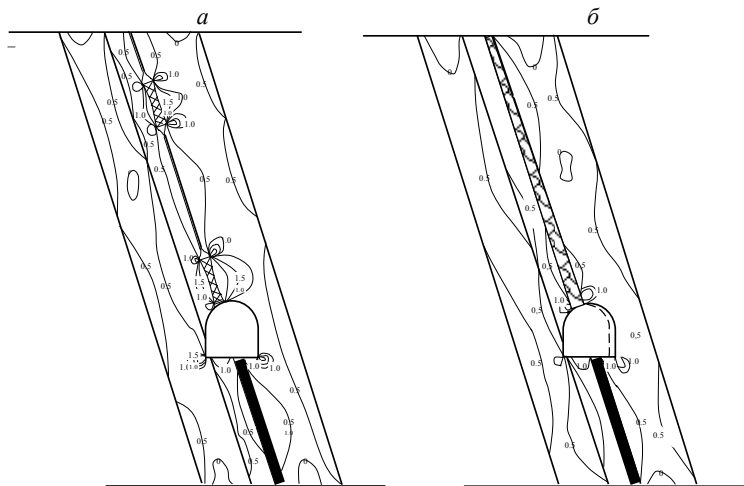


Рис. 1. Распределение касательных напряжений в углепородном массиве при охране подготовительной выработки накатными кострами из шпал (а) и широкой податливой опорой (б)

нию состояния пород кровли и почвы.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Таким образом, проведенный комплекс исследований позволяет считать, что при прочих равных условиях, вероятность опасных проявлений природных опасностей в массиве и в выработках глубоких шахт всегда будет большей при отсутствии в выработанном пространстве широких податливых опорных сооружений. Последние должны обеспечивать эффективное удержание боковых пород и минимальную концентрацию напряжений в них. При этом необходимо учитывать надежное взаимодействие с охранными сооружениями не только пород кровли пласта по всей длине лавы, но и его почвы. Такой подход позволит уменьшить эксплуатационную трещиноватость боковых пород, сохранить выработки в соответствии с требованиями ПБ, а так же повысить безопасность труда горнорабочих. Все это может быть обеспечено в результате установления оптимальных параметров широкой податливой опоры, способствующей сохранению сплошности пород кровли и почвы впереди и позади лавы (а также по всей ее длине) и за счет разработки новых специальных способов охраны горных выработок.

#### Список литературы

1. Селезень А.Л. Поддержание подготовительных выработок при разработке крутых пластов / А.Л. Селезень, А.Г. Томасов, В.Ф. Андрушко - М.: Недра, 1977. - 205 с.
2. Шкуратник В.Л. Эффекты памяти в горных породах. Физические закономерности, теоретические модели / Шкуратник В.Л., Лавров А.В. - М.: Изд-во АГН, 1997. - 159 с.
3. Черняев В.И. Расчет напряжений и смещений пород при разработке свиты пластов / Черняев В.И. - К.: Техника, 1987. - 150 с.
4. Снижение травматизма от проявлений горного давления / Николин В.И., Подкопаев С.В., Агафонов А.В., Малеев Н.В. - Донецк: Норд-Пресс, 2005. - 332 с.
5. Петухов И.М. Механика горных ударов и выбросов / Петухов И.М., Линьков А.М. - М.: Недра, 1983. - 280 с.
6. Подкопаев С.В. Розвиток теорії захисних пластів на основі встановлених природних закономірностей деформацій генетичного повернення: автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.26.01 / Сергій Вікторович Подкопаєв; ДВНЗ «ДонНТУ». - Донецьк, 2004. - 34 с.

7. **Медведев Э.Н.** Снижение травматизма в очистных выработках угольных шахты // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: Сб. научн. тр. // Э.Н. Медведев, В.Д. Мартовский, Н.С. Кузьменко / МакНИИ. – Макеевка – Донбасс, 2005. – С. 210-229.
8. **Якоби О.** Система управления горным давлением – итоги и задачи / **О.Якоби.** – Глюкауф, 1972. - №14. – С.16-19
9. **Андрушко В.Ф.** Управление кровлей в сложных горно-геологических условиях / **В.Ф. Андрушко, С.А. Саратикянц, Ю.Г. Спицын.** – К.: Техника, 1985. – 128 с.
10. **Радченко В.В.** Предотвращение травматизма от обвалов и обрушений на угольных шахтах / **В.В. Радченко, Э.Н. Медведев, Н.С. Кузьменко.** – К.:, 2010 – 372 с.
11. **Техническое перевооружение угольных шахт / С.А.Саратикянц, Ю.К.Батманов, Е.Н.Братков, Ю.Г.Спицын.** – К.: Техника, 1984. - 184с.
12. **Жуков В.Е.** Об одной стратегической ошибке в разрешении проблемы разработки крутых пластов / **В.Е. Жуков** // Уголь Украины. – 2001. - №7. - С.6-10.
13. **Александров С.С.** Обґрунтування та розробка способів забезпечення безпеки праці при підтримці виробок крутих вугільних пластів: автореф.дис. ... канд.техн.наук : 05.26.01 / **Сергій Сергійович Александров;** ДВНЗ «ДонНТУ. – Красноармійськ, 2015. - 24 с.
14. **Методические указания по изготовлению моделей из оптически чувствительных материалов для исследования проявлений горного давления.** – Л.: ВНИМИ, 1970. - 180 с.
15. **Баклашов И.В.** Деформируемость и разрушение породных массивов / **И.В. Баклашов** – М.:Недра, 1988. - 271 с.
16. **Норель Б.К.** Изменение механической прочности угольного пласта в массиве / **Б.К. Норель** – М.:Наука, 1983. - 201 с.
17. **Левкин Н.Б.** Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины // **Н.Б. Левкин** / Монография. – Донецк: Донбасс, 2002. – 393 с.

Рукопис подано до редакції 14.04.16

UDC 622.281.74

R. TERESCHUK, Candidate of Science (Engineering), O.HRYHORIEV, Candidate of Science (Engineering), V. TIKHONENKO State Higher Educational Institution “National Mining University”

## PARAMETERS OF SINGLE ANCHOR EFFECT AREA IN HOMOGENEOUS BORDER ROCK MASS

Analysis of basic methods to increase stability of mine workings is carried out. Objective of the paper is to study and determine area of single anchor effect on border mass at different anchor length, mining depth and physical and mechanical characteristics of enclosing rocks. Results of mathematical simulation of mine working located in homogeneous rock mass and fixed by single anchor are given. The research was based on the data of surveying regularities in changes of border mass strain-stress behaviour and amounted to the determining of expected displacement of natural mine working contour. Dependences of changes in single anchor effecting border rock mass upon anchor length, the working depth, and physical and mathematical characteristics of rock are obtained. Rational dimensions of single anchor effect area on border mass upon the anchor length, the mine working depth and physical and mathematical characteristics of rock are determined. Efficient anchor length for the mining and geological conditions is defined. Further research will be focused on studying effect of single anchor in heterogeneous border rock mass.

**Keywords:** anchor, mathematical simulation, border rock mass, mine working.

**Introduction.** Year by year the problem of stable underground mine workings becomes more and more important. This component of mining enterprise effects considerably cost-performance ratio of mines due to rapid deepening of mining operations, deteriorating of mining and geological conditions as well as increasing in general length of mine workings.

In practice measures to improve mine working stability are rejected because they require additional costs but the resulting losses turn to be unjustifiably high. It depends on collateral losses due to deterioration of mine working conditions foremost as a result of poor transportation and ventilation.

Reliable support is possible only in case when its structural parameters are selected taking into account size and features of rock pressure. If some factors are underestimated then support is inefficient even under relatively favourable mining and geological conditions.

While analyzing the results of scientific observations, most researchers have made conclusions that no technologically possible and economically efficient frame support of mine workings within



deep rocks can resist rock pressure to the full. Consequently, it is not efficient to deal with developing breaking zones by means of increasing load-bearing capacity of support [1,2].

Main tendency of ensuring mine working stability, reducing materials consumption, working capacity, and cost of support is to use load-bearing capacity of rock mass (together with support) that can be achieved by timely filling the gaps of the behind support area by solidifying materials of the required strength as well as mass hardening by cementation and anchoring.

Mine working anchoring is the advanced and efficient method to support its stability. However, substantiation of rock anchor parameters is still the problem to be solved [3,4].

Anchoring is used both independently and in combination with other support types: shotcreting (with possible reinforcement with metal elements or meshwork), solid concrete (reinforced concrete), metal and concrete, tubbing, and blocking to ensure stability of mine workings. Anchors can be used independently or in combination with metal mesh as temporary bordering support as well [5, 6].

Anchoring is the system of roof bolts fixed in holes arranged in the specified order in the rocks enclosing mine working. Along with the supporting elements they are meant to consolidate rock mass and increase stability of its exposure.

Principle feature of such a support is as follows: roof bolts reinforce rock mass making it possible to use its own load-bearing capacity; in most cases that helps to prevent using standard supporting types or its required load-bearing capacity decreases considerably. Being used correctly, anchoring allows to secure mine workings safety and their proper maintaining under various mining and geological conditions; that concerns both stratified and unstratified fissured rocks beyond stoping area and in it; mine workings with different sectional shapes (as constant or temporary support), independently or in combination with other support types at minimum material and labour consumptions.

Other important advantage of anchoring is the reduction of cases of mine workings being out of order, increased safety level of their maintaining operations, rundown of timbermen.

Rated depth of mine workings, rated rock mass resistance to pressure, and category of rock stability are used as the basic estimated data to select anchoring type and parameters.

Main parameters of anchoring include its load-bearing capacity, roof bolt length, anchoring density, i.e. distance between anchor rows and between anchors in a row.

Analyzing single anchor-anchor system interaction with rock mass in particular applying analytical methods is quite a complicated problem that can be solved only by means of numerical simulation to have correct results.

Objective of the paper is to study and determine area of single anchor effect on border mass at different anchor length, mining depth and physical and mechanical characteristics of enclosing rocks.

Materials and results of research. The research was based on the data of surveying regularities in changes of border mass strain-stress behaviour and amounted to the determining of expected displacement of natural mine working contour.

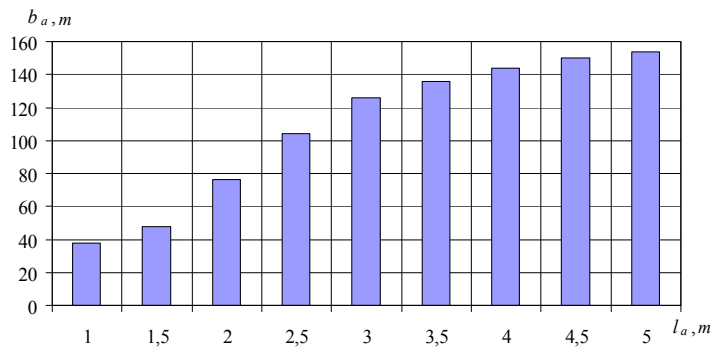
Finite element method was used to simulate single rectangular section mine working with such linear dimensions as: 6 m width, 3 m height. The mine working was located in the center of homogeneous mass (with the dimensions of 50×50 m). Simulation had three stages.

Papers [7, 8] contain schemes to determine affected areas  $b_a$  of single anchor and calculation model to study its influence upon border rock mass.

Stage I. Ten variants were offered. Variant 1 is a mine working without support. Variants 2 to 10 are: mine workings have supports in the form of single anchor set in the roof center.

Following physical and mechanical parameters of rock mass were involved: elastic modulus  $E=7950$  MPa, Poisson's constant  $\mu=0.23$ , ultimate compressive strength  $R_c=30$  MPa, tensile strength  $R_p=3.0$  MPa, and rock density  $\gamma=2.5$  t/m<sup>3</sup>. Linear elements were used to simulate polymer glass anchoring. Anchor parameters are as follows: length is 3 m, elastic modulus is  $2 \cdot 10^6$  MPa, and Poisson's constant is 0.35. Mine working depth is 400 m that corresponds to rock pressure of 10 MPa. While simulating, there were some changes in variants 2-10 when anchor length changes within the ranges of  $l_a=1-5$  m.

Fig. 1 demonstrates a curve of dependence of changes in single anchor affected areas  $b_a$  values on border rock mass upon its length  $l_a$ .



**Fig. 1.** Diagram of dependence of rational value of effect area changes on border rock mass of single anchor upon its length

Comparison of the results helps to make following conclusions:

When anchor is set, an area of mine working roof rock related to it;

Area of rock displacement maximum is divided into two parts shifting from the center to the working wall;

Displacements within anchor area are by 6-30% less than maximum ones on the contour;

Dimensions of 2.5 m single anchor effect area were 1.25 m while its rational length is 1.04 m.

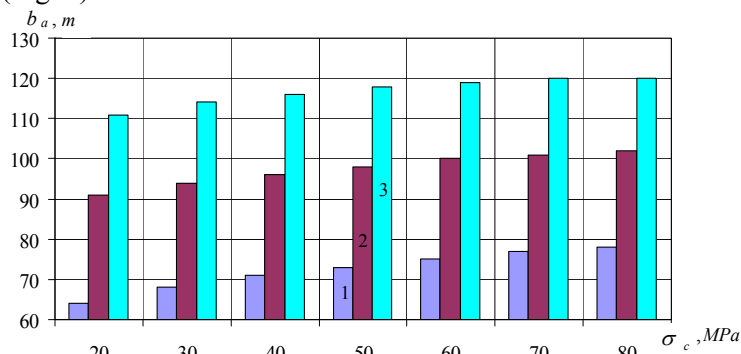
While changing anchor length  $l_a$  from 1 m to 5 m dimensions of rational effect area of single anchor  $b_a$  increases from 38 cm up to 154 cm to be described by fourth-order polynomial linear connection, i.e.  $b_a = 0.1568 l_a^4 - 3.3557 l_a^3 + 22.517 l_a^2 - 33.637 l_a + 51.556$  (Fig. 1);

Anchor of about 3 m long has main effect considering displacement reduction on mine working contour; in this context 76% of effect area is represented;

Increase of effect area of single anchor when its length varies from 3 m to 5 m is 24% only.

*Stage II.* The research simulated 3 situations 7 variants each, when mine working is fixed with single anchor (of 2, 2.5, and 3 m long) set in the roof center. Working depth is 1000 m corresponding to rock pressure of 25 MPa. While simulating, physical and mechanical parameters of rock mass were changed ( $R_c = 20-80$  MPa,  $R_p = 2-8$  MPa,  $E = 7350-22769$  MPa,  $\mu = 0.21-0.23$ ).

The results were used to construct a diagram of dependence of change in rational value of effect area  $b_a$  of single anchor on border rock mass at different physical and mechanical rock parameters (Fig. 2).



**Fig. 2.** Diagram of dependence of change in rational value of effect area of single anchor on border rock mass at different physical and mechanical rock parameters: 1 –  $l_a = 2$  m, 2 –  $l_a = 2.5$  m and 3 –  $l_a = 3$  m

While analyzing the results, following conclusions can be made:

Displacement within the anchor area is by 8...25% less than maximum ones on contour depending on

physical and mechanical rock parameters;

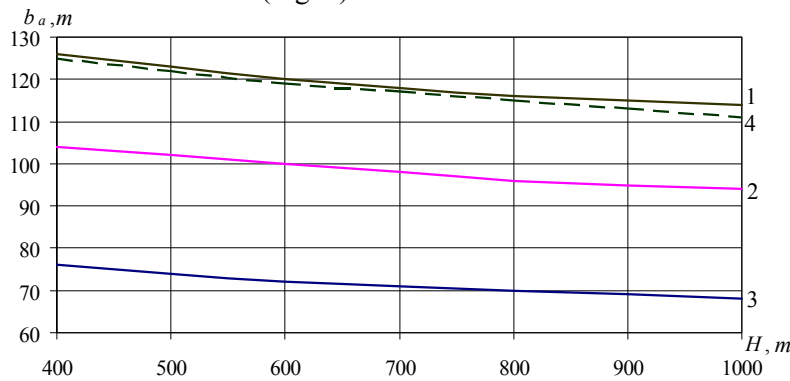
Maximum displacements within the mine working contour decrease from 76.9 down to 19.9 cm when  $R_c$  parameter changes from 20 up to 80 MPa;

If the same condition is taken into account, then rational value of effect area of single anchor  $b_a$  increases. If  $l_a = 2$  m (1), then it increases from 64 to 78 cm (21.9%) being described by the power dependence:  $y = 63.618x^{0.1031}$ ; if  $l_a = 2.5$  m (2), then it increases from 91 to 102 cm (12.1%) being described by the power dependence:  $y = 90.494x^{0.06}$ ; if  $l_a = 3$  m (3), then it increases from 111 to 120 cm (8.1%) being described by the power dependence:  $y = 110.91x^{0.0426}$  (Fig. 2);

Changes in a value of single anchor effect area on border mass when  $R_c = 20...60$  MPa made up 90%; further increase of rock mass strength properties has almost no influence upon the value of parameter  $b_a$  (Fig. 2).

*Stage III.* The research provides 4 situation 7 variants each: mine working is fixed with single anchor (of 2, 2.5, and 3 m long) set in the roof center. Following physical and mechanical rock mass parameters were used: elastic modulus  $E = 7950$  MPa, Poisson's constant  $\mu = 0.23$ , ultimate compressive strength  $R_c = 30$  MPa, tensile strength  $R_p = 3.0$  MPa, and rock density  $\gamma = 2.5$  t/m<sup>3</sup>. While simulating mine working depth was measured within  $H = 400-1000$  m range. The calculations applied software product developed by the Department of Construction and Geomechanics of the National Mining University and a pack of Phase-2 applications.

Graph of dependence of change in rational value of single action effect area  $b_a$  of constant length on border mass upon mine working depth under conditions when physical and mechanical rock parameters are constant (Fig. 3).



**Fig. 3.** Dependence of change in rational value of single action effect area  $b_a$  of constant length on border mass upon mine working depth: 1, 2, 3 – results according to software product of the Department of Construction and Geomechanics ( $l_a = 3, 2.5$  and  $2$  m); 4 – results according to the pack of Phase-2 applications ( $l_a = 3$  m)

Comparison of the results helps to make following conclusions:

Rock displacements within anchor area are by 20...30% less than maximum ones on contour irrespective of the depth;

Maximum rock displacements within mine working contour increases from 19.2 to 56.2 cm while within anchor area it increases from 13.5 to 45.3 cm ( $l_a = 2, 2.5$  and  $3$  m); it occurs when the mine working depth increases from 400 m to 1000 m;

When mine working depth varies within 400...1000 m then rational area of single anchor effect  $b_a$  decreases as follows: if  $l_a = 3$  m (curve 1), then it decreases from 126 to 114 cm (9.5 %) being described by the power dependence:  $y = 246.33x^{-0.1121}$  and (curve 4) from 125 to 111 cm (11.2 %) being described by the power dependence:  $y = 270.17x^{-0.1282}$ ; if  $l_a = 2.5$  m (curve 2), then it decreases from 104 to 94 cm (9.6%) being described by the power dependence:  $y = 207.8x^{-0.1149}$ ; if  $l_a = 2$  m (curve 3), then it decreases from 76 to 68 cm (10.5%) being described by the power dependence:  $y = 155.24x^{-0.1194}$  (Fig. 3);

As Fig.3 shows changes of single anchor effect area obtained by using different program software are similar (curves 1 and 4) and values divergence is 1-4%;

At changing mine working depth from 400 to 850 m rational area of single anchor effect  $b_a$  is 92%, if change is from 850 to 1000 m - it is 8%; moreover beginning from the depth of 850 m and more situation simulation shows on graph that the curves becomes flatter, so value of single anchor effect area experiences unessential changes (Fig. 3).

**Conclusions.** Rational area of single anchor effect set in the roof center of a mine working located in homogeneous rock mass is 38-154 cm at its length changes within 1-5 m. Rational area of single anchor effect is almost 3.0 m; the range of its effect area is 126 cm. If  $l_a = 3$  m then  $R_c$  and  $H$  changes influence effect area as follows: from 20 to 80 MPa - 111-20 cm and from 400 to 1000 m - 126-114 cm correspondingly.

Further research will be focused on studying effect of single anchor in heterogeneous border rock mass.

#### References

1. **Bulat, A.F. and Vinogradov, V.V.** (2002), *Oporno-ankernoe kreplenie gornykh vyrabotok ugolnykh shakht* [Support-anchoring of mine workings of coal mines], The institute of geotechnical mechanics, Dnipropetrovsk, Ukraine.
2. **Litvinskiy, G.G., Gayko, G.I., Kuldrykaev, N.I.** (1999), *Stalnye ramnye krepki gornykh vyrabotok* [Steel frame support of mining workings], Tekhnika, Kyiv, Ukraine.
3. **Krukovskiyy, A.P.,** (2002), "Otsenka ustoychivosti gornykh vyrabotok s oporno-ankernoy krepuy v slozhnykh gomo-geologicheskikh usloviyakh", *Zb. nauk. prac Geo-Technikal Mechanics*, Iss. 38, pp. 41-54.
4. **Krukovskiyy, A.P.,** (2011), "Analiz vliyaniya plotnosti ustanovki ankernoy krepki na sostoyanie prikonturnykh porod vyrabotki arochnogo secheniya" *Zb. nauk. prac Geo-Technikal Mechanics*, Iss. 94, pp. 95-104.
5. **Vinogradov, V.V., Krukovskiyy, A.P.,** (2001), "K voprosu ob osobenostyakh primeneniya ankernoy krepki", *Zb. nauk. prac Geo-Technikal Mechanics*, Iss. 25, pp. 28-33.
6. **Novikov, A.O.,** (2010), "Metod rascheta parametrov ankernykh porodo-armiruyushchikh system dlya krepleniya gornykh vyrabotok", *Razrabotka rudnykh mestorozhdeniy: nauchno-tekhnicheskyy sbornik*, Iss. 93, pp. 260-264.
7. **Tereschuk, R.** (2011), "Determination of influence a single anchor on a uniform surrounding massif", *Ground control in mining*, no. 19, pp. 183-195.
8. **Tereschuk, R., Kravchenko, K** (2011), "To the question of single anchor influence zone on deformations surrounding massif", *Materialy mizhnarodnoyi konferentsiyi «Forum girnykiv – 2011»* [Materials of international conference «Forum of mining engineers – 2011»], Dnipropetrovsk, NMU, October 12-15, 2011, pp. 231-235.

A manuscript entered release 18.04.16

УДК 626.82

Є.З. МАЛАНЧУК, д-р техн. наук, доц., А.О. ХРИСТЮК, ст. викладач,  
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

## МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СВЕРДЛОВИННОГО ГІДРОВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН ШЛЯХОМ ВІЗУАЛЬНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

З відкриттям на Рівненщині покладів цеоліт-сметитових туфів та зернистих фосфоритів постала проблема їх ефективної розробки і використання в народному господарстві. В результаті аналізу геологічних особливостей залягання порід авторами обгрунтовано доцільність використання свердловинної гідротехнології видобутку.

Складність і умови проведення технологічного процесу підземного гідророзмиву створюють проблеми оперативного контролю за технологічними параметрами. Авторами пропонується здійснювати управління процесом гідромоніторного розмиву на основі контролю відстані між насадкою гідромонітора і стінкою вибою та швидкості розмиву породи. Контроль за зміною розмірів камери виймання несе також інформацію про продуктивність процесу розмиву.

Сучасні ультразвукові, акустичні та лазерні дальноміри дають змогу проводити вимірювання відстані безконтактним способом з високою точністю та швидкістю. Використання ПЛК дозволить реалізовувати програмним способом складні закони регулювання та логічні схеми обробки інформації, будувати складні системи керування процесами свердловинного гідровидобутку.

Авторами запропонована та побудована імітаційна Simulink-модель системи керування процесом гідромоніторного розмиву на основі контролю швидкості та дальності розмиву. Запропоновано алгоритм роботи, придатний для програмної реалізації в промисловому логічному контролері.

Наведена імітаційна Simulink-модель може бути використана при проектуванні та розрахунку систем управління процесом гідромоніторного розмиву та бути основою для побудови гнучких систем управління з використанням адаптивних, екстремальних, самонастроювальних та нечітких методів керування, що дозволить використовувати їх для видобутку різних корисних копалин.

**Ключові слова:** свердловинний гідровидобуток, моделювання, гідромонітор, імітаційна модель, робоча рідина, швидкість розмиву.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Керуючими впливами при гідромоніторному розмиві є тиск і витрата води, швидкості руху струменя по стінці вибою, подача секцій телескопічного гідромонітора в забій. Складність і умови проведення технологічного процесу підземного гідророзмиву створюють проблеми оперативного контролю за технологічними параметрами. В роботі пропонується здійснювати управління процесом гідромоніторного розмиву на основі контролю відстані між насадкою гідромонітора і стінкою вибою та швидкості розмиву породи. Контроль за зміною розмірів камери виймання несе також інформацію про продуктивність процесу розмиву.

Розмив породи є енерго- та ресурсоемким процесом. Оптимізація технологічних параметрів та автоматизація процесу розмиву є важливими чинниками для досягнення високих техніко-економічних показників.

Свердловинний гідровидобуток корисних копалин використовується з тридцятих років минулого століття, проте автоматизація цього процесу через недостатній розвиток технічних засобів автоматизації перебувала на низькому рівні. В основному вона зводилася до автоматичного обліку параметрів технологічного процесу та автоматизації окремих контурів, управління гідророзмивом здійснювалось оператором за консистенцією пульпи на поверхні або програмним способом. Лише останнім часом з розвитком електронно-обчислювальної та вимірювальної техніки постало питання комплексної автоматизації цього процесу. Сучасні мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації, такі як програмовані логічні контролери (ПЛК), інтелектуальні реле, універсальні мікропроцесорні регулятори дають змогу здійснювати багаторівневу автоматизацію складних процесів з контролем багатьох параметрів та використанням різноманітних законів управління [3].

**Аналіз досліджень і публікацій.** Через складність процесів та різноманітність факторів загальна теорія руйнування породи не розроблена. Значний вклад у розвиток теорії руйнування породи гідравлічним способом внесли Н.Ф. Цяпко, А.М. Журавський, В.С. Мучник, М.А. Лаврентьев, В.Ф. Хникін та інші вчені [4-7].

Огляд існуючих систем гідромоніторного розмиву показав недостатній рівень автоматизації даного технологічного процесу, при якому, в основному, проводиться контроль окремих технологічних параметрів. Управління ж розмивом, в основному, здійснюється оператором, що не забезпечує необхідної якості управління та продуктивності.

Для побудови моделі об'єкта автоматизації необхідно дослідити його статичні і динамічні характеристики. В залежності від виду та складності об'єкта автоматизації, а також від технологічних вимог до якості керування процесом вибирається структурна схема, алгоритми і закони керування.

**Постановка завдання.** Технологічні особливості свердловинної гідротехнології видобутку корисних копалин [1] та значна енерго- і ресурсоемність вимагають використання для досягнення високих техніко-економічних показників сучасних систем автоматизації. В основі свердловинного гідровидобутку лежать наступні технологічні операції: руйнування масиву породи корисної копалини високошвидкісним струменем води, транспортування породи до підйомного механізму (ерліфта, гідроелеватора), піднімання гідросуміші на поверхню та гідротранспортування корисної копалини до місць наступної переробки [2]. Спрощена технологічна схема свердловинного гідровидобутку наведена на рис. 1.

З відкриттям на Рівненщині покладів цеоліт-сметитових туфів та зернистих фосфоритів постала проблема їх ефективної розробки і використання в народному господарстві. В результаті аналізу геологічних особливостей залягання порід, їх фізико-механічних властивостей обґрунтовано доцільність використання свердловинної гідротехнології видобутку [1].

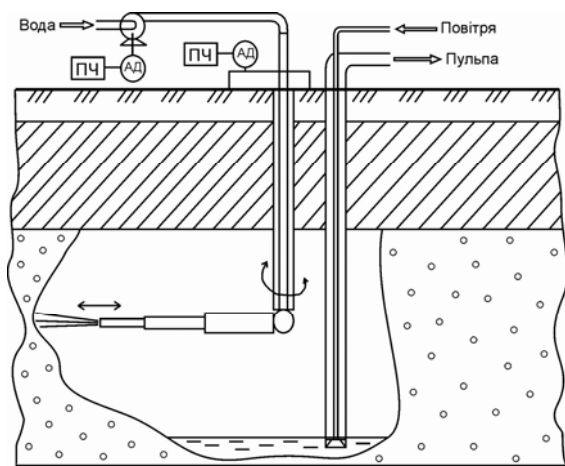


Рис. 1. Технологічна схема свердловинного гідровидобутку

Метою роботи є розробка систем автоматичного управління процесом гідромоніторного розмиву на основі математичного та імітаційного моделювання процесу.

**Викладення матеріалу та результати.** Синтез системи управління гідромоніторним розмивом потребує встановлення структурних зв'язків між вхідними та вихідними параметрами, вибору контрольованих параметрів, керуючих впливів, розробки структури системи автоматизації та підбору сучасних технічних засобів автоматизації. Керуючими впливами при гідромоніторному

розмиві є тиск і витрата води, швидкість руху струменя по стінці вибою та кут повороту гідромонітора, подача секцій телескопічного гідромонітора в забій.

Необхідність в керуванні тиском виникає із ряду причин:

керування тиском необхідне для забезпечення ефективності процесу розмиву і енергозбереження, так як надлишковий тиск створює вруб в породу;

надлишковий тиск розкидає розмиту породу по камері, що утруднює транспортування породи до піднімального пристрою;

при оптимальному значенні тиску створюються умови для отримання пульпи з певною фракцією породи, необхідною для її ефективного транспортування та підйому;

керування тиском при малих відстанях від насадки до стінки вибою запобігає заваленню каналу транспортування породи до піднімального пристрою.

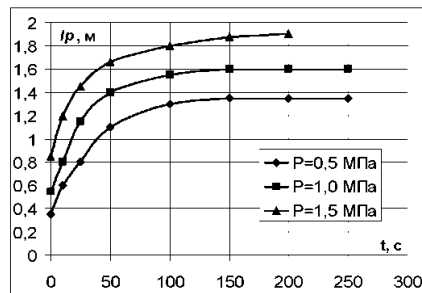
Складність і умови проведення технологічного процесу підземного гідророзмиву створюють проблеми оперативного контролю за технологічними параметрами. Пропонується здійснювати управління процесом гідромоніторного розмиву на основі контролю відстані між насадкою гідромонітора і стінкою вибою та швидкості розмиву породи. Контроль за зміною розмірів камери виймання несе також інформацію про продуктивність процесу розмиву. Сучасні ультразвукові, акустичні та лазерні дальноміри дають змогу проводити вимірювання відстані безконтактним способом з високою точністю та швидкістю. Використання ПЛК дозволить реалізувати програмним способом складні закони регулювання та логічні схеми обробки інформації, будувати складні системи керування процесами свердловинного гідровидобутку.

Пропонується слідує алгоритм роботи системи. Сигнал з дальноміра надходить до програмованого логічного контролера, який по різниці вимірюваних відстаней за певний час обраховує швидкість розмиву та видає керуючий сигнал за ПД-законом на перетворювач частоти (ПЧ) і змінює таким чином тиск води у гідромоніторі, що призводить до зміни швидкості розмиву. При досягненні певної відстані між стінкою вибою та насадкою гідромонітора, ПЛК видає сигнал на висунення чергової секції гідромонітора. Використання телескопічного гідромонітора дає змогу збільшити розміри камери розмиву без використання значно вищих тисків робочого агента. Після висунення оснаної секції гідромонітора контролер збільшує тиск до максимального можливого. Для підтримання постійної лінійної швидкості струменя по стінці вибою використовується частотнорегульований привід для обертання гідромонітора навколо осі. При збільшенні відстані від насадки гідромонітора до стінки вибою лінійна швидкість струменя по стінці вибою збільшуватиметься, тому ПЛК подає сигнал керування за П-законом на ПЧ та зменшує кутову швидкість обертання гідромонітора. Також для деяких технологічних схем видобутку необхідно керувати кутом повороту гідромонітора, тобто встановлювати сектор виймання породи. Після завершення розмиву на певній глибині ПЛК видає сигнал про необхідність зміни положення гідромонітора по висоті.

Ефективність розмиву визначається продуктивністю гідромонітора та питомою енергоємністю, які залежать від слідує факторів: параметрів струмини, фізико-механічних властивостей і будови розроблюваної корисної копалини, величини сил та тисків на контакт із вибоєм, технологічних прийомів розмиву породи [8].

Для побудови математичної моделі об'єкта керування у випадку фосфоритиносної породи, проаналізуємо динаміку її руйнування при дії струмини енергетичної води (рис. 2).

Рис. 2. Динаміка руйнування фосфоритиносної породи



З наведених залежностей видно, що в початковий момент, при невеликій відстані між насадкою гідромонітора і стінкою вибою, відбувається швидке руйнування породи. При зростанні відстані між ними тиск на стінку вибою падає. Коли тиск на стінку знижується до критичного, руйнування породи припиняється і дальність розмиву  $l_p$  не змінюється.

Наведені на рис. 1 залежності добре описуються диференціальними рівняннями

$$\left\{ \begin{aligned} T(l_{po}, P) \frac{dl_p(t)}{dt} + l_p(t) &= K(l_{po}, P) \cdot P(t), \\ l_p(0) &= l_{po} \end{aligned} \right. \quad (1)$$

де  $l_p$  - дальність розмиву;  $P$  - тиск води в насадці;  $K(l_{po}, P)$  - коефіцієнт передачі;  $T(l_{po}, P)$  - постійна часу;  $l_{po}$  - початкова віддаль від насадки до стінки вибою.

Коефіцієнти  $K$ ,  $T$  залежать від параметрів процесу (відстані від насадки до стінки вибою, тиску в насадці, форми та розмірів насадки, фізико-механічних властивостей породи, середовища руху струменя та ін.) і визначаються із експериментальних даних.

Застосувавши до рівняння (1) перетворення Лапласа, отримуємо передавальну функцію об'єкта

$$W(s) = K(l_{po}, P) / (K(l_{po}, P)s + 1). \quad (2)$$

В роботі пропонується здійснювати управління процесом гідромоніторного розмиву на основі контролю відстані між насадкою гідромонітора і стінкою вибою та швидкості розмиву породи. Контроль за зміною розмірів камери виймання несе також інформацію про продуктивність процесу розмиву. Сучасні ультразвукові та лазерні дальноміри дають змогу проводити вимірювання відстані безконтактним способом з високою точністю.

При розробці сучасних складних систем автоматизації технологічних процесів з використанням складної логіки та законів керування доцільно проводити моделювання цих систем на етапі проектування. Одним з найбільш потужних методів моделювання систем автоматизації є імітаційне моделювання з використанням спеціалізованих програмних продуктів, наприклад SIAM, LabVIEW, пакета MatLab/Simulink [9], програмного комплексу "МВТУ". Програмний

додаток Simulink, із пакету MatLab фірми MathSoft, є одним з найпотужніших засобів імітаційного моделювання які орієнтовані на моделювання систем автоматизації. Simulink містить значну бібліотеку елементарних блоків та елементів систем автоматизації, має зручну структуру та інтерфейс, потужні математичні методи обробки даних та оптимізації, постійну підтримку та оновлення

Моделювання процесу гідромоніторного розмиву проводилось в пакеті MatLab/Simulink (рис. 3).

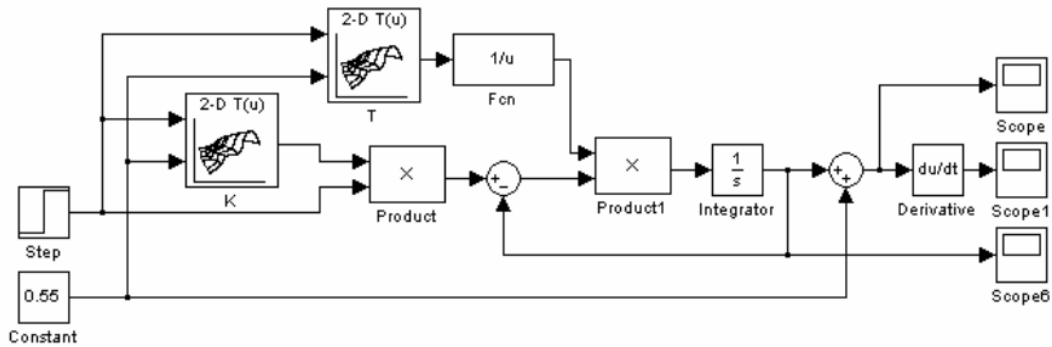


Рис. 3. Моделювання перехідних характеристик об'єкта.

Блоки двопараметричної апроксимації служать для автоматичного визначення коефіцієнта передачі  $K$  і сталої часу  $T$ , що залежать від параметрів процесу (відстані від насадки до стінки забою, тиску в насадці, форми та розмірів насадки, фізико-механічних властивостей породи, середовища руху струменя та ін.) і визначаються із експериментальних даних. В результаті моделювання отримуємо перехідні характеристики об'єкта керування, які відповідають експериментальним даним.

Швидкість розмиву, що забезпечує максимальну продуктивність при мінімальних питомих витратах енергії та води, встановлюється на основі експериментальних даних. У системі автоматичного регулювання швидкості розмиву передбачається використовувати поршневий насос з частотнорегульованим асинхронним приводом та програмований логічний контролер з ПІД-законом керування. Необхідно також регулювати лінійну швидкість струменя гідромонітора на стінці вибою, яка постійно віддаляється, для чого використовуються асинхронний двигун та частотний перетворювач із системою регулювання.

На структурній схемі системи регулювання (рис. 4), при її імітаційному моделюванні в Simulink, блоки реалізують такі передавальні функції: Gain - частотного перетворювача привода насоса, Gain1 та Gain2 - частотного перетворювача та редуктора привода системи управління повертанням гідромонітора, Transfer Fcn1, Transfer Fcn3 - асинхронного двигуна, Fcn1 - поршневого насоса, Subsystem - об'єкта регулювання. Для забезпечення астатизму в систему введена додаткова інтегруюча ланка Integrator1.

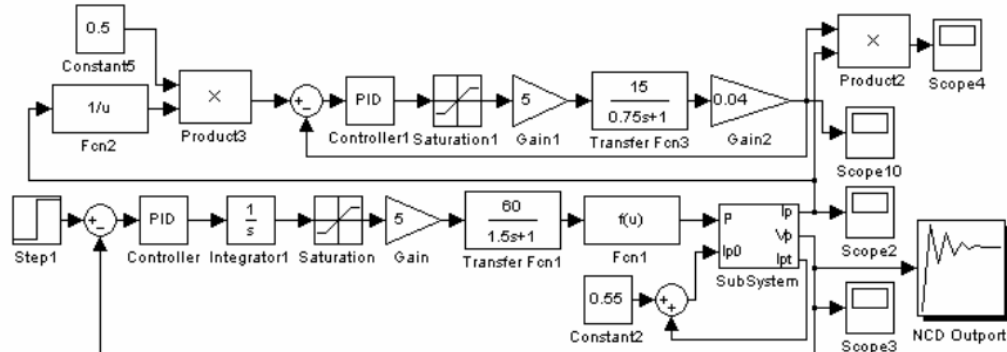


Рис. 4. Структурна схема системи регулювання швидкості розмиву та швидкості руху струменя по стінці вибою

Перехідні характеристики (рис. 5) зняті при стрибкоподібній зміні завдання швидкості розмиву з 0 до 0,03 м/с та при настроюваннях ПІД-регулятора швидкості розмиву (блок Controller)  $K_n=30$ ,  $K_i=4$ ,  $K_d=25$ , завданні ПІ-регулятора швидкості руху струменя по стінці вибою (блок

Controller1) 0.5 м/с та настроюваннях  $K_p = 3,3$ ,  $K_i = 5,75$ . Пошук настроювань регуляторів проводився за допомогою блока параметричної оптимізації NCD Output із бібліотеки Simulink.

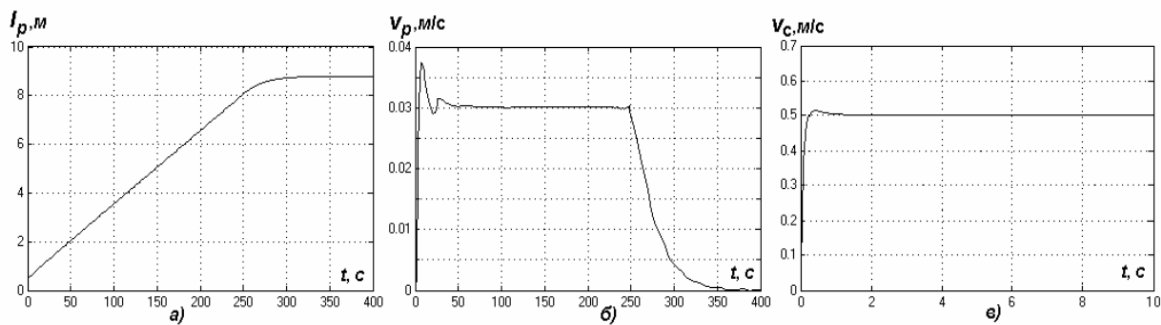


Рис. 5. Перехідні характеристики системи: а - по дальності розмиву; б - швидкості розмиву; в - швидкості руху струменя по стінці вибою

З перехідної характеристики по дальності розмиву видно, що при максимальному тиску 7,5 МПа дальність розмиву (у випадку фосфоритиносної породи) досягне усталеного значення 8,8 м за 350 с. Перехідна характеристика системи регулювання по швидкості розмиву показує, що швидкість розмиву досягає заданого значення за 4,5 с та утримується незмінною до моменту досягнення тиском його максимального значення. Лінійна швидкість руху струменя по стінці вибою досягне заданого значення в 0,5 м/с за 0,5 с, і залишається сталою при зміні радіуса розмиву камери.

Імітаційна Simulink-модель системи керування гідромоніторним розмивом при свердловинному гідровидобутку корисних копалин показана на рис.6.

Моделювання системи керування гідромоніторним розмивом при свердловинному гідровидобутку корисних копалин дозволить побудувати та дослідити логіку керування процесом, вибрати необхідні закони керування, що програмно реалізуватимуться в ПЛК, а також здійснити пошук оптимальних настроювань регуляторів.

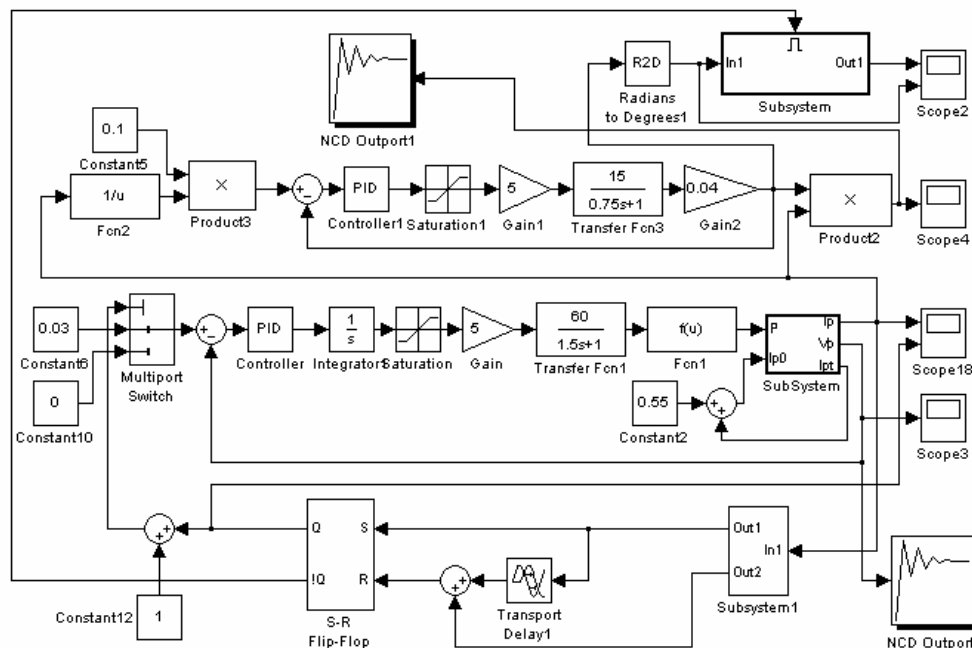


Рис. 6. Структурна схема системи керування гідромоніторним розмивом

Імітаційна модель об'єкта управління наведена на рис. 7. Блоки апроксимації функції двох змінних  $K$  і  $T$  служать для автоматичного обчислення коефіцієнтів передачі об'єкта та сталої часу [10]. В блоки вносяться масиви експериментальних даних, на основі яких здійснюється інтерполяція та екстраполяція лінійними або кубічними сплайнами.



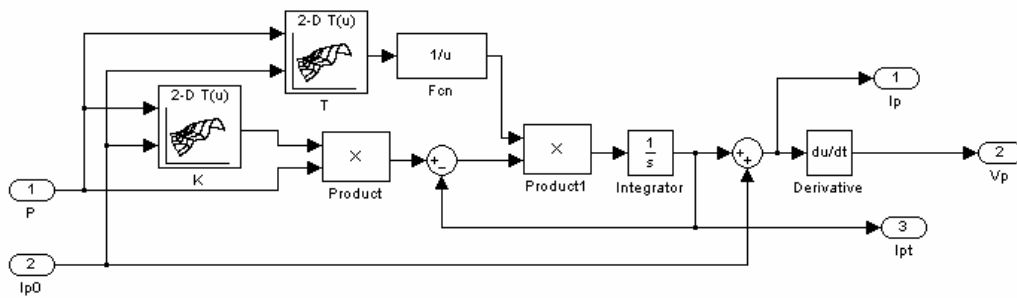


Рис. 7. Імітаційна модель об'єкта управління

На структурній схемі імітаційної Simulink-моделі (рис. 6.) блоки реалізують наступні передаточні функції: Gain, Gain1 - частотно перетворювача, Gain2 – редуктора механізму повертання гідромонітора, Transfer Fcn1, Transfer Fcn3 – відповідно асинхронних двигунів приводу насоса та механізму повертання, Fcn1 - поршневого насоса, SubSystem - об'єкта регулювання, Controller - ПІД-регулятор швидкості розмиву, Controller1 - ПІ-регулятора швидкості руху струменя по стінці вибою. Для забезпечення астатизму в систему введена додаткова інтегруюча ланка Integrator1. Блоки SubSystem та SubSystem1, структурні схеми яких наведені на рис.8, здійснюють логічні операції по управлінню висуненням секцій та кутом повороту гідромонітора.

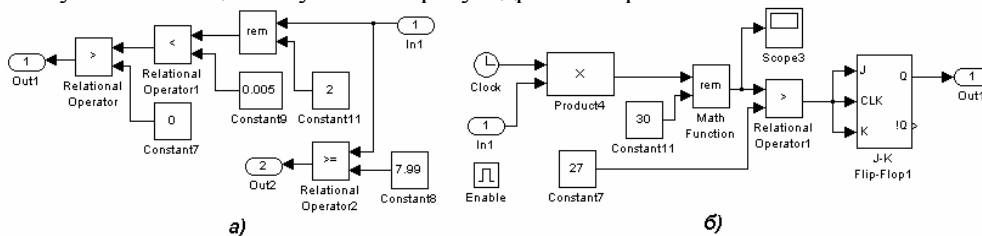


Рис. 8. Структурні схеми блоків SubSystem1 а та SubSystem б

Результатом моделювання системи керування гідромоніторним розмивом є перехідні характеристики та графіки переключень технологічних режимів роботи, зняті при завданні швидкості розмиву 0,03 м/с та при настроюваннях ПІД-регулятора швидкості розмиву  $K_n=30$ ,  $K_i=4$ ,  $K_d=25$ ; завданні ПІ-регулятора швидкості руху струменя по стінці вибою 0,1 м/с та настроюваннях  $K_n=3,3$ ,  $K_i=5,75$ . Пошук настроювань регуляторів проводився з допомогою блоків параметричної оптимізації NCD Outport та NCD Outport1 із бібліотеки Simulink. Перехідна характеристика системи по дальності розмиву (рис. 9а) показує динаміку зміни дальності розмиву  $l_p$  і відповідний їй графік керування подачею секцій телескопічного гідромонітора (рис.9б). Тривалість сигналу висунення секції гідромонітора задається в блоці Transport Delay1. На рис. 9в зображена динаміка зміни кутової швидкості присторою повертання гідромонітора, а на рис. 9г графік переключення напрямку обертання гідромонітора.

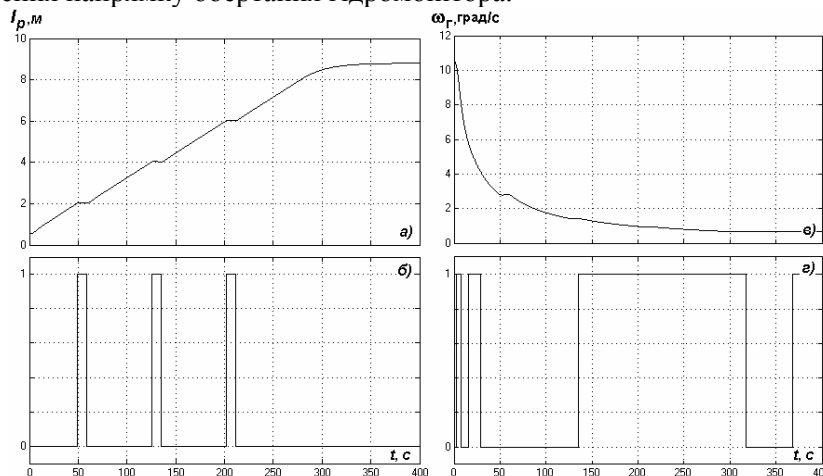


Рис. 9. Перехідні характеристики системи: а - по дальності розмиву; б - управління подачею секцій телескопічного гідромонітора; в - по кутовій швидкості гідромонітора; г - управління напрямком обертання гідромонітора

На рис. 10 показані перехідні характеристики системи по швидкості розмиву *a* та по швидкості руху струменя по стінці вибою *б*.

З перехідних характеристик видно, що система є стійкою та має необхідні динамічні характеристики і показники якості перехідних процесів.

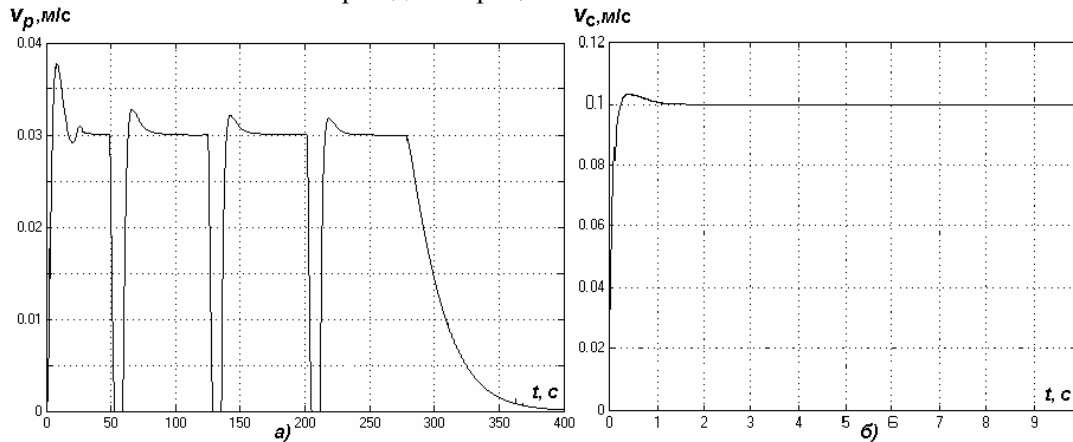


Рис. 10. Перехідні характеристики системи: *a* - по швидкості розмиву; *б* - по швидкості руху струменя по стінці вибою

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** У результаті дослідження процесу гідромоніторного розмиву породи при свердловинному гідровидобутку корисних копалин запропонована та побудована імітаційна Simulink-модель системи керування гідромоніторним розмивом на основі контролю швидкості та дальності розмиву, запропоновано алгоритм роботи придатний для програмної реалізації в промисловому логічному контролері.

Результатом моделювання системи є динамічні характеристики системи в перехідних режимах та діаграми переключень станів системи.

Реалізація даної системи забезпечить високі техніко-економічні показники процесу гідромоніторного розмиву.

Наведена імітаційна Simulink-модель може бути використана при проектуванні та розрахунку систем управління процесом гідромоніторного розмиву та основою для побудови гнучких систем управління з використанням адаптивних, екстремальних, самонастроювальних та нечітких методів керування, що дозволить використовувати їх для видобутку різних корисних копалин.

#### Список літератури

1. Проблеми та перспективи застосування свердловинної гідротехнології для розвитку мінерально-сировинної бази Рівненсько-Волинського регіону. **Маланчук З.Р., Калько А.Д., Боблях С.Р.** – Матеріали сьомої міжнародної промислової конференції 2007 г., п. Славское. 134-136 с.
2. **Маланчук З.Р.** Научные основы скважинной гидротехнологии. – Ровно: РГТУ, 2002. – 372 с.
3. Современные системы управления / **Р. Дорф, Р. Бишоп**; Пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2004. – 832 с.
4. **Аренс В.Ж.** Физико-химическая геотехнология: учебное пособие. - М.: Изд-во Московского гос. горного ун-та, 2001. - 656 с.
5. **Цяпко Н.Ф.** Современное состояние гидроотбойки угля в Кузбассе // Труды ВНИИГидроугля. - 1967. - Вып. XI.
6. **Хрулев А.С.** Способы и средства подъема гидросмеси при скважинной гидродобычи // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2000. - № 5.
7. **Аренс В.Ж.** Геотехнологические методы добычи полезных ископаемых. - М.: Недра, 1975. - 264 с.
8. Технологія і керування гідровидобутком корисних копалин: монографія / **З.Р. Маланчук, С.Р. Боблях, Є. З. Маланчук** – Рівне: НУВГП, 2009. – 480 с.
9. MatLab в инженерных и научных расчетах / **Дашенко О.Ф., Кириллов В.Х., Коломиец Л.В., Оробей В.Ф.** – Одесса: Астропринт, 2003. – 214 с.
10. **Дьяконов В.П.** Matlab 6.5 SP1/7.0 Simulink 5/6. Серия «Библиотека профессионала». –М.: СОЛОН – Пресс, 2005. – 800 с.

УДК 622.698(01)

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., Ю.Г. СВІТЛИЙ, канд. техн. наук., доц.  
Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

## ГІДРАВЛІЧНИЙ ТРАНСПОРТ ВІДХОДІВ ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

Запропонована методика розрахунку параметрів гідравлічного транспортування відходів вугільної промисловості та теплоенергетики, зокрема, вугільних шламів та золи виносу і шлаку. При цьому в основу розрахунку гідравлічних та технологічних параметрів при проектуванні промислових гідротранспортних систем для видалення відходів флотації вуглезбагачувальних фабрик, золи та шлаків теплових електростанцій, гранульованих шлаків покладено дані експериментальних досліджень, які отримано авторами на пілотних установках з трубопроводами промислових діаметрів, а також в умовах виробництва на хвостопроводах та золошлакопроводах.

Узагальнення, обробка та аналіз експериментальних даних та матеріалів промислових спостережень дали можливість отримати емпіричні залежності для визначення критичних швидкостей та питомих гідравлічних опорів.

В основу розрахунку гідравлічних та технологічних параметрів при проектуванні промислових гідротранспортних систем для видалення відходів флотації вуглезбагачувальних фабрик, золи та шлаків теплових електростанцій, гранульованих шлаків покладено дані експериментальних досліджень, які отримано авторами на пілотних установках з трубопроводами промислових діаметрів, а також в умовах виробництва на хвостопроводах та золошлакопроводах. Запропонована методика розрахунку параметрів гідравлічного транспортування відходів вугільної промисловості та теплоенергетики, зокрема, вугільних шламів та золи виносу і шлаку.

**Ключові слова:** гідравлічний транспорт, вугільний шлам, відходи ТЕС.

**Постановка проблеми і стан її вирішення.** Відходи вугільної промисловості - високозольні вугільні шлами та відходи теплоенергетики - зола виносу - багатотоннажні продукти, для передачі яких в межах підприємств використовують промисловий гідравлічний транспорт. У практиці збагачення вугілля шламом називають продукт крупністю 0-0,5 або 0-1 мм.

За даними інституту «Дондіпрошахт» у на підприємствах по переробці вугілля в Україні запаси високозольних забалансових шламів склали 4,86 млн т; відходів флотації зольністю до 70 % - 43,11 млн т [1-4]. Ці шлами частково переробляються на модульних збагачувальних фабриках винесених безпосередньо до муланокочувачів та шламовідстійників, а також на стаціонарних збагачувальних фабриках [5].

Зола-винос утворюється як результат спалювання твердого палива, потім вона вловлюється електрофільтрами і в сухому стані її відбирають за допомогою золовідбірника на виробничі потреби. В іншому випадку вона йде зі шлаком і водою на золовідвал.

При згорянні вугілля на теплових електростанціях в Україні щорічно утворюється 7-9 млн т золи [6]. Питома вага переробки золи в Україні в межах 10 %, тоді як у США цей показник складає 20 %, у Великій Британії - 60 %, у Франції - 72 %, у Фінляндії - 84 %. [7]

Для передачі вказаних обсягів вугільних шламів і золи виносу використовують гідравлічний транспорт [8,9]. Разом з тим, бракує методик розрахунків при проектуванні промислових гідротранспортних систем у гірничій та енергетичній промисловості, які б враховували особливості транспортованих матеріалів - вугільних шламів, шлаків та золи виносу.

**Викладення основного матеріалу.** В основу розрахунку гідравлічних та технологічних параметрів при проектуванні промислових гідротранспортних систем для видалення відходів флотації вуглезбагачувальних фабрик, золи та шлаків теплових електростанцій, гранульованих шлаків покладено дані експериментальних досліджень, які отримано авторами на пілотних установках з трубопроводами промислових діаметрів, а також в умовах виробництва на хвостопроводах та золошлакопроводах. Узагальнення, обробка та аналіз експериментальних даних та матеріалів промислових спостережень дали можливість отримати емпіричні залежності для визначення критичних швидкостей та питомих гідравлічних опорів.

Основним узагальненим та в певному наближенні універсальним виразом для визначення критичних швидкостей є

$$u_{kp} = K_d \cdot K_S \cdot \sqrt[3]{\rho_S / \rho_o} \cdot \sqrt{gD(1+aS)} \quad (1)$$

Принципово вираз (1) враховує максимально можливу кількість чинників, які впливають на величину критичної швидкості: діаметр трубопроводу  $D$ ; густину гідросуміші  $(1+aS)$  та об'ємну

дійсну концентрацію  $S$ ; густину транспортованого матеріалу  $\rho_S$  та середовища, яке переносить його у завислому стані  $\rho_o$ , а також середньозважену крупність твердого матеріалу, обумовлюючи дію гравітаційних сил, визначену коефіцієнтом  $K_d$  та в'язкісних сил -  $K_S$ , що залежать від концентрації дрібнозернистого матеріалу в гідросуміші [10].

Для гідросумішей, складених з дрібнозернистих матеріалів типу золи теплових електростанцій або відходів флотації вираз (1) приймає вигляд

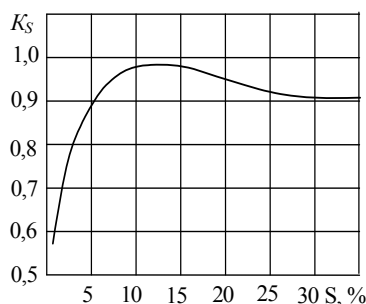
$$u_{kp} = K_S \sqrt{g \cdot D(1 + aS)} \quad (2)$$

Уточнену величину коефіцієнта  $K_S$  вибирають з табл. 1 або по графіку, наведеному на рис. 1 залежно від об'ємної концентрації гідросуміші.

Таблиця 1

Величина коефіцієнта  $K_S$ .

Об'ємна концентрація гідросуміші $S$ , %	3	5	10	12,5	15	20	25	30	35	40
Коефіцієнт $K_S$	0,80	0,89	0,98	1,00	0,99	0,96	0,92	0,91	0,91	0,91

Рис. 1. Залежність величини коефіцієнта  $K_S$  від об'ємної концентрації гідросуміші

Залежність (2) показує, що при транспортуванні дрібнозернистих матеріалів з максимальною крупністю до 0,8 (1,0) мм гравітаційні сили не мають переважного значення, найдрібніші часточки у суміші з водою створюють середовище підвищеної густини, в якому зависають більш крупні частинки. Тому з виразу (1) виключають параметр  $\sqrt[3]{\rho_S/\rho_o}$ , а величина  $K_d$  наближається до одиниці.

Отже, використання формули (2) для визначення критичної швидкості дає можливість одночасно враховувати комплексну дію на тверді частинки в потоці рідини як гравітаційних сил, так і сил в'язкості.

Для визначення величини коефіцієнта  $K_d$ , який залежить від середньозваженої крупності транспортованого матеріалу  $d_{cep}$ , використовують різні залежності.

У роботі [11] коефіцієнт  $K_d$  запропоновано визначати за допомогою формули

$$K_d = 1,12 + 0,0012d_{cep}^2 \quad (3)$$

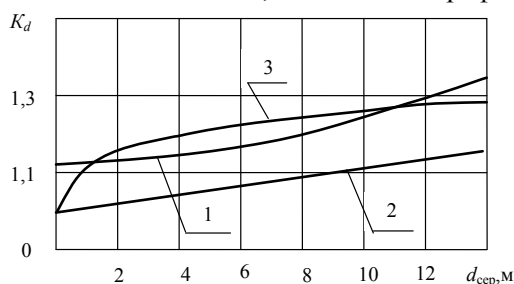
У рекомендаціях до гідравлічного розрахунку систем гідротранспорту золошлакових матеріалів [12], які розроблено на підставі експериментальних матеріалів, отриманих авторами, коефіцієнт  $K_d$ , при транспортуванні матеріалу середньозваженою крупністю більше 2 мм визначають за допомогою виразу

$$K_d = 1 + (d_{cep}/D) \quad (4)$$

Аналіз численних дослідних даних щодо параметрів гідравлічного транспортування золошлакових гідросумішей від спалювання різного вугілля, який виконано останнім часом, свідчить про те, що інтенсивність зростання коефіцієнта  $K_d$ , залежно від середньозваженої крупності декілька знижується при  $d_{cep}=2-3$  мм, а залежність для визначення його може бути записаною у такому вигляді

$$K_d = 1 + 0,12d_{cep}^{0,33} \quad (5)$$

Порівняння величин коефіцієнтів  $K_d$ , отриманих шляхом розрахунку за допомогою наведених вище залежностей, наведено на графіку (рис. 2).

Рис. 2. Залежність величини коефіцієнту  $K_d$  від середньозваженої крупності транспортованого твердого матеріалу: 1,2,3 - за залежностями (4.71), (4.72), (4.73), відповідно

Оскільки аналіз наведених на графіку даних показує, що в діапазоні зміни середньозваженої крупності від 2 до 14 мм розбіжність між величинами коефіцієнтів  $K_d$ , яку розраховано за допомогою залежностей (3) та (5), не перевищує 5 %, при визначенні величини коефіцієнта  $K_d$  слід віддавати

перевагу залежності (5). Залежність (4) може бути використаною при розрахунку критичної швидкості транспортування відносно легких золошлакових матеріалів. Запропонована узагальнена залежність для визначення критичної швидкості потоків, які переносять тверді частинки у завислому стані, при необхідності може бути скоригованою у плані уточнення значень коефіцієнтів  $K_d$  та  $K_s$  при збереженні основної структури формули на підставі даних контрольного експерименту.

Питомі гідравлічні опори при гідравлічному транспортуванні відходів флотації вугілля та дрібнозернистої золи теплових електростанцій визначають за допомогою формули

$$i_{cm} = \lambda_{cm} \cdot (u^2 / 2gD), \quad (6)$$

де  $\lambda_{cm}$  - коефіцієнт гідравлічного опору тертя при течії гідросуміші, які відповідають тому або іншому стану внутрішньої поверхні труб. Число Рейнольдса в цих формулах визначають за залежністю

$$Re_{cm} = uD / \nu_o K_{vd}, \quad (7)$$

де  $\nu_o$  - коефіцієнт кінематичної в'язкості води при температурі експлуатації гідротранспортної системи;  $K_{vd}$  - дослідний комплексний коефіцієнт, який залежить від співвідношення середньозваженого діаметра матеріалу, який транспортують, та об'ємної концентрації гідросуміші.

Величини коефіцієнта  $K_{vd}$  наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів $K_{vd}$									
$S, \% d_{cp}$	3	5	10	15	20	25	30	35	40
0,05	1,2	1,4	2,8	4,8	7,2	10,2	14,4	19,2	25,4
0,10	1,3	1,6	3,2	5,4	8,0	11,2	15,6	20,8	27,4
0,15	1,5	1,8	3,6	5,8	8,8	12,2	16,8	22,6	28,3
0,20	1,6	2,1	4,0	6,6	11,8	14,2	19,4	26,0	34,0
0,25	2,0	3,0	5,6	8,6	12,6	17,8	24,4	32,4	–
0,30	2,6	3,8	7,6	12,4	18,4	27,8	–	–	–

Представлені табличні дані свідчать про те, що величина  $\nu_o K_{vd}$ , яка чисельно дорівнює коефіцієнту умовної кінематичної в'язкості гідросуміші  $\nu_{cm}$ , може суттєво впливати на величину числа Рейнольдса  $Re_{cm}$  та відповідно на коефіцієнт гідравлічного опору тертя.

Збільшення коефіцієнту умовної кінематичної в'язкості особливо за умов високих об'ємних концентрацій гідросуміші призводить до зменшення величини числа Рейнольдса та збільшення величини коефіцієнта гідравлічного опору тертя  $\lambda_{cm}$  по залежності, наданій на рис 3.

Рис. 3. Залежність коефіцієнта гідравлічного опору від числа Рейнольдса



Виходячи з викладеного, вибір найпридатнішого режиму транспортування твердих дрібнозернистих матеріалів типу золи або відходів флотації має здійснюватися на підставі порівняння різних варіантів за об'ємною концентрацією гідросуміші, діаметром трубопроводу та швидкістю транспортування.

Для розрахунку питомих гідравлічних опорів при транспортуванні золошлаків та інших подібних до них твердих матеріалів використовують дво-

членну залежність, перший член якої являє собою питомі гідравлічні опори при течії води, розрахований за формулами, відповідними до того чи іншого стану внутрішньої поверхні трубопроводу, а другий - характеризує прирощення питомих втрат напору (додаткові гідравлічні опори), обумовлене введенням твердого матеріалу в напірний потік.

Додаткові питомі гідравлічні опори визначають за формулою Доуда Т.Дж. [13]

$$\Delta i = \frac{S}{2gD} \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_s}{\rho_o}} \cdot \sqrt{\frac{u_{kp}}{u}} \cdot K_{dD}, \quad (8)$$

де  $K_{dD}$  - дослідний коефіцієнт, який залежить від співвідношення середньозваженого діаметра матеріалу, який транспортують, та діаметра трубопроводу (табл. 3).

Таблиця 3

Значення коефіцієнта $K_{dD}$									
Співвідношення $d_{ср}/D \cdot 10^2$	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8
Коефіцієнт $K_{dD}$	0,16	0,28	0,40	0,49	0,57	0,62	0,65	0,67	0,68

Зацікавленість міжнародної спільноти гідравлічним транспортом вугілля, вуглевмісних матеріалів, відходів ТЕС підтверджується рядом сучасних публікацій. [14-19], що показує повернення інтересу до гідротранспорту твердих матеріалів, пік якого припав на 70-80-і роки ХХ ст. Це актуалізує сучасні дослідження.

**Висновки.** Запропонована методика розрахунку параметрів гідравлічного транспортування відходів вугільної промисловості та теплоенергетики, зокрема, вугільних шламів та золи виносу і шлаку. При цьому в основу розрахунку гідравлічних та технологічних параметрів при проектуванні промислових гідротранспортних систем для видалення відходів флотації вуглезбагачувальних фабрик, золи та шлаків теплових електростанцій, гранульованих шлаків покладено дані експериментальних досліджень, які отримано авторами на пілотних установках з трубопроводами промислових діаметрів, а також в умовах виробництва на хвостопроводах та золошлакопроводах.

Узагальнення, обробка та аналіз експериментальних даних та матеріалів промислових спостережень дали можливість отримати емпіричні залежності для визначення критичних швидкостей та питомих гідравлічних опорів.

### Список літератури

1. Нікітін І. М., Сергєєв П. В., Білецький В. С. Селективна флокуляція вугільних шламів латексами / І.М. Нікітін, П.В.Сергєєв, В.С. Білецький. - Донецьк: Східний видавничий дім. - 2001. - 152 с.
2. Полулях А.Д., Сокур А.К. Анализ способов обогащения угольных шламов / А.Д. Полулях, А.К. Сокур // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб., 2012. – Вип. № 49(90). – С. 22-26.
3. Гаркушин Ю. К. Стан та перспективи переробки вугільних шламів / Ю. К. Гаркушин, П. В. Сергєєв, В. С. Білецький // Збагачення корисних копалин. - 2003. - № 17. –С.143–149.
4. Розробки та впровадження технологій промислового використання шламів, поліпшення екологічної ситуації у вугледобувних регіонах та відвернення можливих надзвичайних ситуацій : програма (розроблена на виконання постанови Кабінету Міністрів України від 28.03.97, № 280 „Про хід структури перебудови вугільної промисловості). - К.: Міністерство вугільної промисловості України, 1997. – 31 с.
5. Дослідження збагачення вугільних шламів селективною флокуляцією в умовах гідротранспорту / В.С. Білецький, П. В. Сергєєв, Ю. О. Протасов // Збагачення корисних копалин. – Дніпропетровськ, 2005. – Вип. 23 (64). – С. 119–122.
6. Офіційний сайт Державної служби статистики України [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
7. Ковальський В.П. Використання золи виносу ТЕС у будівельних матеріалах / В. П. Ковальський, О. С. Сідлак // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві – Вінниця, 2014. - Том 16, № 1. - С. 35-40.
8. Світлий Ю.Г., Круть О.А. Гідравлічний транспорт твердих матеріалів. Донецьк: Східний видавничий дім, 2010. - 268 с.
9. Experimental study of hydraulic transport of large particles in horizontal pipes / F. Ravelet, F. Bakir, S. Khelladi, R. Rey // Volume 45, February 2013, Pages 187–197.
10. Свитлый Ю. Г. Основные элементы расчёта при выборе режима работы из условия обеспечения надёжности гидротранспортных систем топливно-энергетических комплексов / Ю. Г. Свитлый, Ю. Ф. Власов // Материалы Всесоюзной научной конференции. - Тбилиси: Мицниереба, 1974. - С. 405-417.
11. Офенгенден Н. Е. Исследование гидротранспорта водо-угольных суспензий в трубопроводе большого диаметра/ Н. Е. Офенгенден, В. И. Гоштовт, Е. В. Григорюк // Гидравлическая добыча угля. - 1967. - №1.- М. : ЦНИИТЭИугля. - С. 15-19.
12. Рекомендации по гидравлическому расчёту систем гидротранспорта золошлаковых материалов: П61–77, ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, УкрНИИГидроуголь. – Ленинград, 1977. – 52 с.
13. Доуд Т. Дж. Обзор трубопроводных систем, построенных в мире за последнее время/ Т. Дж. Доуд// Труды 20-й международной технической конференции по утилизации угля и топливным системам. - США, Клирвотер, 1955. - с. 55-67.
14. Alexander Deml. Entwicklung und Gestaltung der Baulegistik im Tiefbau. Dargestellt am Beispiel des Pipelinebaus. Hamburg: Verlag Dr. Kovac. - 2008. – 368 Seiten.
15. Coal log fuel pipeline transportation system. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www1.eere.energy.gov/inventions/pdfs/uofm-c.pdf>
16. Marrero T.R. Long-Distance Transport of Coal by Coal Log Pipeline [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.p2pays.org/ref/01/00702.pdf>
17. Baha Abulnaga. Slurry Systems Handbook. - McGraw-Hill .2002. – 800 p.
18. Yiyuan Zhao, Thomas S. Lundgren. Characteristics of a freight pipeline transportation system. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:<http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/zhao.htm>
19. Canadian Pipeline Transportation System - Transportation Assessment. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.neb.gc.ca/clf-nsi/mrgynfntn/nrgytrprt/trnsprttn/trnsprttnsssmnt2008/trnsprttnsssmnt2008-eng.html>

Рукопис подано до редакції 14.04.16

УДК 621.651.694

Н.В. ТКАЧЕНКО, ассистент,

Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка

## УВЕЛИЧЕНИЕ МОТТО-РЕСУРСА ВИНТОВЫХ ЗАБОЙНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ИХ РОТОРОВ

Увеличение мотто-ресурса винтовых забойных двигателей за счет упрочнения поверхностного слоя их роторов.

Проведен анализ причин выхода из строя винтовых забойных двигателей, показано, что большинство случаев потери работоспособности связанные с износом рабочих органов. Одним из решений продолжения срока службы винтовых забойных двигателей есть изготовление рабочих органов повышенной надежности. Наибольшее распространение получил способ упрочнения поверхностного слоя ротора методом хромирования.

Как показала практика, несмотря на высокую износостойкость хромовых покрытий, хромирования поверхностного слоя не позволяет существенно увеличить долговечность ротора, а изготовление новых роторов, в конечном счете, увеличивает стоимость двигателя.

Для решения этой проблемы предлагается альтернативный вариант поверхностного упрочнения ротора газотермическим напылением. Анализ показывает, что данный метод является одним из кардинальных в решении вопроса повышения надежности ротора, снижения себестоимости его обслуживания, обеспечения конкурентоспособности, продолжения ресурса эксплуатации винтового забойного двигателя.

С использованием оборудования, которое существует в настоящее время, материалов и технологий газотермического напыления становится возможным значительно снизить или исключить влияние на изнашивание деталей таких факторов, как эрозия, коррозия, кавитация и другие. Приведены преимущества и результаты использования метода газо-термического напыления.

Внедрение в конструкцию винтовых забойных двигателей роторов с упрочненным поверхностным слоем обеспечит повышение их энергетических характеристик и надежности при бурении и ремонте нефтяных и газовых скважин.

**Ключевые слова:** мото-ресурс, винтовые забойные двигатели, газотермическое напыление, работоспособность.

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** Современный уровень технологии бурения глубоких скважин и его постоянное развитие, создание новых инструментов для более интенсивного разрушения пород, необходимость удовлетворения требований экологии и безопасности выдвигают все более высокие требования к повышению эксплуатационных характеристик и надежности бурового инструмента и, в частности, винтовым забойным двигателям (ВЗД).

Необходимо подчеркнуть, что мотто-ресурс современных долот, которые выпускаются отечественной промышленностью достаточно высокий, и составляет 600-900 часов в зависимости от геологических характеристик вскрываемого разреза, тогда как паспортный ресурс ВЗД составляет около 200 часов при работе на воде [1].

Фактические данные по обработке ВЗД в разных регионах страны весьма противоречивые и колеблются от 20 до 370 часов.

В процессе эксплуатации двигателя в результате износа рабочей секции существенно изменяется его энергетическая характеристика, которая сопровождается снижением рабочего перепада давления и влечет за собой уменьшение крутящего момента, а значит снижение нагружающей способности двигателя [2].

Опыт использования ВЗД в бурении и капитальном ремонте скважин показывает, что двигатель теряет работоспособность ввиду следующих основных причин:

- износ рабочих органов (РО);
- износ шарнирного соединения;
- износ шпинделя;

выход из строя по технологическим причинам (шламирование рабочих органов, разъединение элементов роторной группы, разъединения корпусной резьбы, неисправность переливного клапана и др.);

аварийный выход из строя (отрывание резиновой обкладки статора от корпусной трубы, излом торсиона, карданного и исходного валов и тому подобное).

Сравнительный статистический анализ причин выхода из строя винтовых забойных двигателей показал, что 49 % случаев потери работоспособности связаны с износом рабочих органов "рис. 1".



**Рис. 1.** Сравнительная диаграмма причин выхода из строя ВЗД

В процессе эксплуатации рабочие органы ВЗД поддаются разным видам изнашивания: усталостному, фрикционному, гидроабразивному по закрепленному и незакрепленному абразиву, а также эрозионному и коррозионно-механическому при действии повышенных давлений и температур “рис. 2”.

Именно интенсивность изнашивания определяет величину мотто-ресурса рабочих органов и эффективность использования ВЗД в половине случаев применения.

Таким образом, повышение износостойкости рабочих органов ВЗД актуальное научно-техническое задание, неотъемлемо связанное с технологической эффективностью бурения и ремонта скважин.

#### **Анализ исследований и публикаций.**

Большой взнос в конструирование, создание и усовершенствование героторных машин, а также в исследование рабочих процессов ВЗД для бурения и капитального ремонта скважин внесли такие ученые как: Д.Ф. Балденко, Ф.Д. Балденко, Т.Н. Бикчурин, Ю.В. Вадецкий, М.Т. Гусман, В.Б. Голдобин, Ю.А.

Коротаев, А.М. Кочнев, В.А. Каплун, С.С. Никомаров и такие зарубежные специалисты как: Y. Forrest, M. Garrison, T. Hudson, R. Moineau, V. Tiraspolsky, W. Teshirky, R. Yurgens, K. Wenzel и др. Анализ результатов их исследований показал, что двигатели, которые серийно выпускаются, имеют не большой мотто-ресурс. Зарубежные героторные механизмы, по сравнению с аналогичными российскими машинами, имеют увеличенный мотто-ресурс рабочих органов (от 65 до 120 год), а двигатели российских производителей отличаются повышенными показателями энергетических характеристик. При этом общей проблемой является отказ ВЗД, а также невысокий показатель времени их работы.

**Постановка задания.** Цель данного труда - повышение эксплуатационных характеристик винтовых забойных двигателей за счет упрочнения поверхностного слоя роторов методом газотермического напыления.

**Изложение материала и результаты.** Частичным решением проблемы износа РО является применение смазочных добавок к буровым растворам. Однако они не во всех случаях обеспечивают необходимые параметры реологии буровых растворов. Кроме того, сведения о влиянии триботехнических свойств растворов на возможность продолжения срока службы ВЗД отсутствуют. В то же время выход из строя пружинно-эластической обкладки статора и ротора героторной машины в результате износа и удорожание ремонта (реставрации) ограничивает последующую их эксплуатацию. Одним из решений продолжения срока службы ВЗД есть изготовление рабочих органов повышенной надежности.

Рассмотрим несколько способов изготовления роторов и используемые при этом материалы. Известно четыре способа создания винтовых поверхностей роторов: точение с применением «вихревой» головки или одиночного резца на станках ЧПУ (или использование дисковых фрез); обработка червячными фрезами по методу обкатки на горизонтально-зубофрезерных станках; гидроштамповка с применением специального оборудования; горячая прокатка с использованием прокатных станов. Наибольшее распространение получили первые два способа. При хромировании чистота поверхности зубов обеспечивается двойным полированием абразивными кругами на вулканитовой основе.



Как показала практика, несмотря на высокую износостойкость хромовых покрытий, хромирования поверхностного слоя не позволяет существенно увеличить долговечность ротора, а изготовление новых роторов, в конечном счете, увеличивает стоимость двигателя.

Для решения этой проблемы предлагается альтернативный вариант поверхностного упрочнения ротора газо-термическим напылением (ГТН). Анализ показывает, что данный метод является одним из кардинальных в решении вопроса повышения надежности ротора, снижения себестоимости его обслуживания, обеспечения конкурентоспособности, продолжения ресурса эксплуатации ВЗД. С использованием оборудования, которое существует в настоящее время, материалов и технологий газо-термического напыления становится возможным значительно снизить или исключить влияние на изнашивание деталей таких факторов, как эрозия, коррозия, кавитация и другие.

Преимущества метода газо-термического напыления:  
 высокие эксплуатационные свойства покрытий;  
 отсутствие тепловой деформации детали, что напыляется;  
 возможность создания соединения между разнородными материалами, получение биметаллических деталей;  
 возможность многократного возобновления изношенных деталей;  
 отсутствие избыточных напряжений после нанесения покрытия;  
 высокая производительность процесса, до 25 кг/час;  
 возможность нанесения покрытий толщиной больше 10 мм.

К наиболее распространенным газо-термическим методам нанесения защитных покрытий можно отнести: газопламенное напыление; плазменное напыление; высокоскоростное напыление (HVOF); электродуговую металлизацию; порошковое газопламенное напыление. Перечисленные методы имеют широкий спектр решения поставленных задач в области упрочнения поверхностного слоя машин, агрегатов и элементов конструкций [6].

В ходе проведенного анализа было установлено, что наиболее работоспособными в данных условиях являются твердосплавные карбидо-вольфрамовые покрытия, наносимые методом сверхзвукового напыления HVAF (high velocity air fuel) "рис. 3".

За счет высокой скорости газообразной струи, в несколько раз превышающей скорость звука, обеспечиваются минимальная пористость покрытия (<0,5%) и высокие адгезионные характеристики покрытий (выше 70 МПа).



**Рис. 3.** Роботизированный комплекс для нанесения твердосплавного покрытия методом HVAF

Использование сжатого воздуха в качестве окислителя позволяют уменьшить содержание окислов в покрытии и снизить термическое воздействие на подложку и частицы напыляемого материала, что, в свою очередь, уменьшает внутренние напряжения в формируемом покрытии.

Нанесение покрытия на основе карбида вольфрама толщиной 200 мкм обеспечивает защиту ротора ВЗД от изнашивания и коррозии в соляном буровом растворе и увеличения мотто-ресурса двигателя с 200 до 600 часов.

**Выводы и направление последующих исследований.** Анализ отечественных и зарубежных литературных источников, инструктивного и методического материала, а также практического опыта бурения и ремонта нефтяных и газовых скважин свидетельствует о том, что в доминирующем большинстве случаев применения винтовой двигатель теряет работоспособность в результате выхода из строя секции рабочих органов. Причем технологическая стабильность использования ВЗД, также определяется износостойкостью пары ротор-статор.

На основе результатов проведенных исследований предложено конструкторское решение, что позволяет увеличить мотто-ресурс ВЗД.

Решение, положенное в основу создание новых типов ВЗД. Внедрение в конструкцию ВЗД роторов с упрочненным поверхностным слоем обеспечит повышение их энергетических характеристик и надежности при бурении и ремонте нефтяных и газовых скважин.

#### Список литературы

1. Павлык В.Н., Шулепов В.А. Об эффективности применения винтовых забойных двигателей / М.: Вестник ассоциации буровых подрядчиков, 2002. №4. С. 24–25.

2. Балденко Д.Ф., Медведева Л.Н. Усовершенствование конструкции рабочих органов забойных винтовых двигателей / М.: Машины и нефтяное оборудование. 1982. № 5. С. 9–10.
3. Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д., Гноевых А.Н. Винтовые забойные двигатели / М.: Недра. 1999. С. 374.
4. Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д., Гноевых А.Н. Одновинтовые гидравлические машины: 2 т. Т. 2. Винтовые забойные двигатели. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. – 858 с.
5. Бобров М.Г. Результаты внедрения новых винтовых забойных двигателей Пермского филиала ВНИИБТ / М.: Вестник ассоциации буровых подрядчиков. 2000. №1. С. 36–40.
6. Budepudi V. Drilling fluid type affects elastomer selection /Budepudi V., Michael Wilson J., Patel A. // Oil and Gas Journal. 1998. № 5. P. 75 – 80.
7. Коротаев Ю.А., Чудаков Г.Ф., Николаев В.Ю. Винтовые насосные секции и насосные установки Пермского филиала ВНИИБТ // Строительство нефтяных скважин на суше и на море, 2003. – № 9.
8. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов / под. ред. Г.С. Писаренко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наукова думка, 1988. – 736 с.
9. Плотников В.М., Фуфачев О.И. Тепловой расчет резиновой обкладки статоров винтовых забойных двигателей // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, 2010. – № 9. – С. 3–6.
10. Голдобин Д.А., Коротаев Ю.А. Особенности конструкции и технологии изготовления статоров винтовых забойных двигателей ООО «ВНИИБТ – Буровой инструмент», армированных стальной тонкостенной винтовой оболочкой // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, 2010. – № 11.
11. Коротаев Ю.А., Цепков А.В., Шулепов В.А. Опыт шлифования роторов винтовых забойных двигателей абразивным эластичным кругом. Перестройка инструментального производства - важнейшая задача 12 пятилетки : тез. докл. науч.-техн. конф. инструментальщиков Урала. – Пермь, 1988. – С. 41–42
12. Шулепов В.А., Цепков А.В. Технология чистой зубообработки роторов винтовых гидродвигателей / Повышение эффективности и качества в механосборочном производстве : тез. докл. научн.-техн. конф. в рамках программы международной выставки Технология - 91. – Пермь, 1991. - С. 4-5.
13. Шулепов В.А., Цепков А.В. Отделочная обработка роторов винтовых гидродвигателей : тез. докл. 27 научно-технической конференции по результатам научно-исследовательских работ, выполненных в 1988-1990 гг. – Пермь, 1991. – С. 41
14. Коротаев Ю.А., Алпатов А.Н., Трубин А.С., Хохлов В.В., Шулепов В.А. Методы и средства контроля зубчатых поверхностей героторных механизмов винтовых забойных двигателей и насосов. Вестник ассоциации буровых подрядчиков, М.; 2011. –№1, С.16–20.
15. Коротаев Ю.А., Алпатов А.Н., Трубин А.С., Шулепов В.А. Прогрессивная технология и инструмент для зубообработки роторов винтовых забойных двигателей и винтовых насосов. Труды ВНИИБТ, М., 2011, С. 322–328
16. Шулепов В.А. Повышение ресурса рабочих органов винтовых забойных двигателей за счет восстановления статора и ротора. НТЖ. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2011.– № 5,С. 2–4.

Рукопись поступила в редакцию 17.10.15

УДК 624.015

И.Е. ГРИГОРЬЕВ, В.В. КОНОНЕНКО, кандидаты техн. наук, доц.,  
Криворожский национальный университет  
Ю.И. ГРИГОРЬЕВ, магистр, ГП «ГПИ «Кривбасспроект»

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ КОНТУРА НА ХАРАКТЕР НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В ОБДЕЛКЕ ТУННЕЛЯ

Приведен краткий обзор типов техногенных объектов, приведена их краткая классификация. Определено, что создание георесурсов необходимо осуществлять в процессе эксплуатации месторождения. Рассмотрен способ формирования техногенного месторождения. Способ предусматривает закладку горизонтальных тоннелей и вертикальных колодцев при формировании техногенного месторождения. Оценено влияние характера геометрической формы контура выработки на характер деформирования и разрушения породного массива. Была рассмотрена круглая и арочная форма сечения выработки. Решение задачи проводилось с помощью метода конечных элементов. Решение реализовано программным комплексом PLAXIS в связи с невозможностью аналитического решения. Комплекс представляет собой пакет вычислительных программ для конечно-элементного расчёта напряжённо-деформированного состояния сооружений, фундаментов и оснований. Рассмотренная задача решалась как статическая, для упрощения расчетов была принята модель Кулона-Мора для изотропного грунта. В ходе расчета получены значения напряженно-деформированного состояния на контуре обделки туннеля. Расчеты показали, что толщина крепи туннеля в 300 мм проходит проверку по несущей способности для обоих вариантов сечения конструкции. Установлено, что для арочного варианта обделки выработки преобладают значительные деформации в подошве, что приведет к вспучиванию подошвы выработки. Сделан вывод, что круглое сечение обделки туннеля более предпочтительно как с точки технологически-конструктивных, так и деформационных особенностей. Более детальные ре-

зультаты исследований позволит получить динамический анализ устойчивости контура выработки и использование нелинейных моделей с анизотропным грунтом. Такие расчёты могут являться предметом дальнейших исследований в выбранном направлении.

**Ключевые слова:** горная порода, техногенные объекты, туннель, обделка, напряжённое состояние, расчётная схема.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** В результате длительной разработки месторождений железных руд в ряде регионов Украины сформировалось значительное количество техногенных образований в виде карьеров в отработанном виде, складов некондиционных руд и отвалов пород. Однако данные техногенные образования могут рассматриваться не только как побочные продукты горнодобывающей промышленности, наносящие ущерб сложившейся экосистеме, но и как потенциальные ресурсы.

**Анализ исследований и публикаций.** Большой объём исследований в этом направлении был выполнен группой учёных под руководством И.Л. Гуменика [1], которыми была проведена классификация и систематизация техногенных образований в соответствии с их основной принадлежностью: минерально-сырьевые образования (отвалы, шламохранилища), ландшафтные (выработанное пространство, зоны обрушений) и экологические (непригодные земли и т.п.). Множество исследований проведено по данной проблеме выполнено другими отечественными и зарубежными учеными [2-9].

Значительную часть техногенных образований составляют породные отвалы. Техногенное минеральное сырьё, слагающее отвалы, может иметь широкое применение в различных отраслях промышленности. Но при формировании таких техногенных объектов их дальнейшее использование практически не принимается во внимание. Бессистемное складирование забалансовых полезных ископаемых, как правило, осуществляется с перемешиванием горных пород различных типов, что впоследствии приводит к значительному росту издержек на их разработку.

Размещение временно некондиционных пород, использование которых в настоящее время нецелесообразно, в выработанном пространстве карьеров наиболее перспективно с точки зрения сохранности сельскохозяйственных земель и обеспечения высоких технико-экономических показателей открытых горных работ. Однако имеющиеся технологические схемы и научно-методическая база требует дальнейших исследований для эффективных способов внутреннего складирования пород для их последующей разработки. В проектах практически не предусматривается использование выработанного пространства карьеров в качестве инженерных сооружений с позиций использования георесурсов.

Изменение подхода к проектированию и эксплуатации карьеров позволит формировать техногенные георесурсы на этапе отработки месторождений.

Однако слабая изученность закономерностей изменения ценности техногенных георесурсов от условий и способов их формирования, отсутствие систематизации самих способов не позволяют в полной мере использовать ресурсный потенциал отвалов и выработанного пространства карьеров [2-9].

**Постановка задания.** Выбор и реализация способов формирования техногенных георесурсов позволит снизить ресурсоемкость открытого способа разработки, расширить область его эффективного применения, а также уменьшить вредное воздействие техногенных объектов на окружающую среду. Поэтому обоснование способов формирования техногенных объектов при открытой разработке месторождений полезных ископаемых, как в контурах карьера, так и за его пределами, является актуальной научно-практической задачей. Один из способов формирования техногенного месторождения реализуется следующим образом.

**Изложение материала и результаты.** С помощью бульдозера планируется горизонтальная поверхность. На сформированной площадке монтируются сборные элементы крепи (железобетонные тубинги) горизонтальных тоннелей. С помощью бульдозера эти элементы наклонными слоями покрываются техногенным сырьём до получения пионерной насыпи. При этом в местах пересечения горизонтальных и вертикальных формируемых объектов монтируются вибрационные люки с целью уменьшения динамических нагрузок на кузова подвижного состава технологического транспорта при разработке техногенного месторождения. Далее монтируется система крепей вертикальных колодцев, которая при наращивании по высоте постепенно обвалывается бульдозером с целью исключения механических повреждений.

При строительстве рассмотренных объектов техногенного месторождения необходимо решить задачу о геометрической форме и несущей способности крепи формируемого тоннеля.

Для оценки влияния геометрической формы контура тоннеля на характер неупругого деформирования и разрушения вмещающего массива рассмотрим горную выработку (туннель) с различными поперечными сечениями, для которой решена упругая задача.

Для решения соответствующей упруго-пластической задачи воспользуемся методом конечных элементов, реализованного программным комплексом PLAXIS, в связи с невозможностью аналитического решения.

Все модели материалов, используемые в программном комплексе PLAXIS, базируются на зависимости между скоростью изменения эффективных напряжений  $\sigma$  и скоростью прохождения деформаций  $\varepsilon$ . Такая зависимость может быть представлена в следующем виде:  $\sigma = M \cdot \varepsilon$ , где  $M$  - матрица жесткости материала.

В этом уравнении тензоры скоростей изменения напряжений и деформаций представлены в векторной форме и включают (для пространственных задач) шесть декартовых составляющих

$$\sigma = (\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \sigma_{xy}, \sigma_{yz}, \sigma_{zx}),$$

$$\varepsilon = (\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varepsilon_{zz}, \varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yz}, \varepsilon_{zx})$$

Для плоских и осесимметричных задач, смоделированных в PLAXIS, используются только четыре составляющие, т.к.  $\sigma_{yz}, \sigma_{zx}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx} = 0$

При проведении расчета малые деформации определяются на основе частных производных компонент перемещений  $u_x$  и  $u_y$  по следующим формулам

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u_x}{\partial x}; \varepsilon_{yy} = \frac{\partial u_y}{\partial y}; \varepsilon_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y};$$

$$\varepsilon_{zz} = 0 \text{ (при плоской деформации)}$$

$$\varepsilon_{zz} = \frac{1}{r} u_x \text{ (при осевой симметрии, где } r \text{ – радиус)}$$

В моделях различных материалов используются главные напряжения, которые для случая плоской и осесимметричной деформации рассчитываются на основе декартовых компонент напряжений по формулам

$$\sigma_1 = \frac{1}{2}(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) - \sqrt{\frac{1}{4}(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + \sigma_{xy}^2};$$

$$\sigma_2 = \sigma_{zz};$$

$$\sigma_3 = \frac{1}{2}(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) + \sqrt{\frac{1}{4}(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + \sigma_{xy}^2};$$

Также следует учитывать, что, в PLAXIS главные напряжения располагаются в алгебраической последовательности  $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$ . То есть  $\sigma_1$  является наибольшее сжимающее напряжение.

При выборе модели материала учитывалось, что наиболее простой является та, которая описывается законом Гука для изотропного линейно упругого поведения (линейно-упругая модель), и задается при помощи следующего уравнения

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \sigma_{xy} \end{bmatrix} = \frac{E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \cdot \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2-\nu \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \varepsilon_{xy} \end{bmatrix}$$

В данной модели используется только два параметра  $E$  и  $\nu$ .

Зависимость между  $E$  и другими модулями жесткости, такими как  $G$  (модуль сдвига),  $K$  (объемный модуль) и одометрический модуль  $E_{oed}$  представлена следующими выражениями

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}; K = \frac{E}{3(1-2\nu)}; E_{oed} = \frac{E(1-\nu)}{(1-2\nu)(1+\nu)};$$

Данная линейно-упругая модель обычно не используется для моделирования явно нелинейного поведения грунта, однако она позволяет с высокой степенью точности моделировать работу конструкций, таких как бетонные стенки и фундаментные плиты.

Однако для приближенной оценки механического поведения грунтов более целесообразно использовать модель Кулона-Мора. Данная упругопластическая модель содержит 5 основных параметров:  $E$  и  $\nu$  - параметры упругости грунта,  $c$  и  $\varphi$  - параметры прочности грунта,  $\psi$  - угол дилатансии.

Данная модель Кулона-Мора представляет собой аппроксимацию первого порядка поведения грунта, где для каждого слоя рассчитывается постоянная средняя жесткость.

На следующем шаге решения задачи оценки влияния геометрической формы контура выработки на характер деформирования и разрушения породного массива создаем статическую модель, задаем перемещения и нагрузки. К нагрузкам будем относить гравитационную нагрузку, то есть собственный вес горной породы и обделки. Числовое значение нагрузки рассчитываем по формуле  $N=H\cdot\gamma$ , где  $H$  - толщина грунта над тоннелем.

Собственный вес посчитается в модели автоматически с использованием характеристик плотностей материалов.

При задании граничных условий учитываем, что модель не должна иметь во всех направлениях свободные перемещения. Для этого ограничиваются перемещения по направлениям  $X$  и  $Y$  с боковых сторон и со стороны нижней грани. Верхняя грань - свободная.

Начальные напряжения в грунте определяются, как вертикальные, так и горизонтальные с учетом коэффициента бокового давления  $K_0$ .

При исследовании напряженно-деформированного состояния крепления туннеля программно производится генерирование сетки конечных элементов для нескольких вариантов геометрических форм сечения. В качестве исходных данных использовались: порода - кварцит (прочность на сжатие в среднем 140-200 МПа, объемная масса - в среднем 2,6 г/см<sup>3</sup>, плотность - в среднем 2,68 г/см<sup>3</sup>). Толщина обделки туннеля для расчетов согласно СНиП 32-04-97 и межгосударственных строительных норм МСН 3.03-07-97 "Тоннели железнодорожные и автодорожные", принята 250 мм, для вертикального рудоспуска - 300 мм. Высота насыпи уступа - 15-20 м.

Рассмотренная задача решалась как статическая, для упрощения расчетов была принята модель Кулона-Мора для изотропного грунта. Само решение проводилось в программной системе конечно-элементного анализа PLAXIS, которая используется для решения задач инженерной геотехники и проектирования.

Представляет собой пакет вычислительных программ для конечно-элементного расчета напряженно-деформированного состояния сооружений, фундаментов и оснований.

В ходе расчета получены значения напряженно-деформированного состояния на контуре обделки туннеля (рис. 1).

На следующем этапе PLAXIS автоматически производит расчет моментов поперечных и продольных сил в самой обделке, соответствующие эпюры моментов и продольных сил представлены на рис. 2 и 3 для первого и второго варианта обделки туннеля.

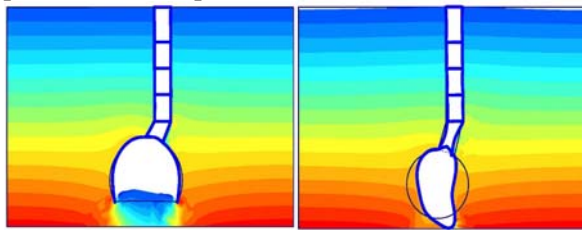


Рис. 1. Расчетное поле полных напряжений

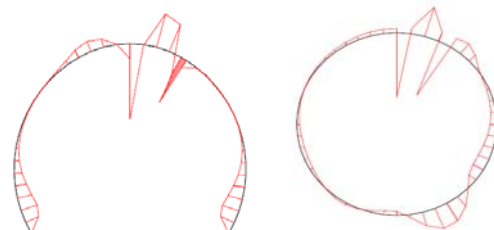


Рис. 2. Эпюра моментов

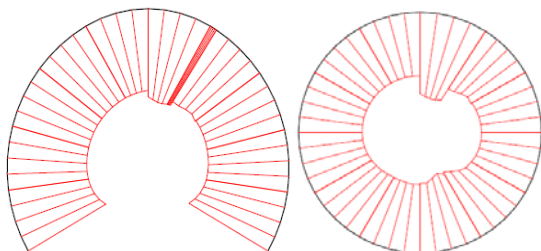


Рис. 3. Эпюра продольных сил

На основании полученных результатов производим расчет эксцентриситета с последующей проверкой условия [10-15]

$$e_{\sigma} \eta = \frac{M}{N} \leq 0.225h$$

Проведенная проверка показала, что условие при толщине обделки от 300 м выполняется, а, следовательно, в сечении обделки туннеля растягивающие напряжения не возникают, и дополни-

тельно проверку следует проводить по формуле внецентренного сжатия [10-15]

$$N \leq N_{пред} = \frac{\gamma_{b6} \cdot \gamma_{b9} \cdot \gamma_{d1} \cdot \gamma_{d3} \cdot R_b \cdot b \cdot h}{(1 + 2\ell_o \eta / h)}$$

где  $\gamma_{b6}$  - коэффициент попеременного замораживания и оттаивания (=1);  $\gamma_{b9}$  - коэффициент отсутствия рабочей арматуры (= 0,9);  $\gamma_{d1}$  - коэффициент отклонения расчетной модели от реальных условий монолитных обделок (= 0,9);  $\gamma_{d3}$  - понижение прочности бетона в обделках без наружной гидроизоляции на обводненных участках;  $R_b$  - расчетное сопротивление бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы (=15,5 Мн/м<sup>2</sup>);  $b$  - расчетная ширина проверяемого сечения (=1 м);  $h$  - толщина обделки.

В результате проведенного анализа статической задачи оценки влияния геометрической формы контура на характер напряжений и деформаций в обделке туннеля, расчеты показали, что толщина обделки туннеля проходит проверку по несущей способности, как для первого, так и для второго варианта сечения конструкции.

Однако установлено, что для первого варианта обделки выработки (рис. 4а) преобладают значительные деформации в подошве, что в свою очередь приведет со временем, к вспучиванию подошвы выработки.

Более детальный ответ может предоставить динамический анализ устойчивости контура выработки и использование нелинейных моделей с анизотропным грунтом.

**Вывод.** Рассмотрев оба варианта сечений и проведя анализ напряжений и деформаций, можно сделать заключительный вывод, что второй вариант обделки туннеля - более предпочтителен как с точки зрения технологически-конструктивных, так и деформационных особенностей.

#### Список литературы

1. Гуменик И.Л. Классификация техногенных формирований при открытых горных работах / И.Л. Гуменик, А.С. Матвеев, А.И. Панасенко // Горный журнал. – 1988. – №12. – С. 53–54.
2. Трубецкой К.Н. Классификация техногенных месторождений и основные факторы их комплексного освоения / К.Н. Трубецкой, В.Н. Уманец, М.Б. Никитин // Комплексное использование минерального сырья. – 1987. – №12. – С. 18–23.
3. Колесников Д.В. Повышение извлечения железа за счет переработки сырья техногенных месторождений Кривбасса / Колесников Д.В., Короленко М.К., Ступник Н.И., Удод Е.Г., Протасов В.П., Олейник Т.А.– Кривой Рог: Дионис, 2012. – 236 с.
4. Grigoryev Yulian. Dry raw material technogenic deposits formation and development technique / Nikolay Pyzhik, Yulian Grigoryev // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 3. – P. 298–302.
5. Пат. 92077 Україна, МПК E21C 41/26. Спосіб формування техногенного родовища / Григор'єв Ю.І.; заявник та патентовласник Григор'єв Ю.І. – №201402646; заявл. 17.03. 14 ; опубл. 25.07.14, Бюл. №14.
6. Григорьев И.Е. Системный подход к процессу проектирования горных объектов / И.Е. Григорьев, Ю.И. Григорьев // Разработка рудных месторождений. – 2011. – Вып. №94. – С. 40–44.
7. Трубецкой К.Н. Обоснование объемов и сроков освоения техногенных месторождений / К.Н. Трубецкой, Е.И. Рогов, В.Н. Уманец, М.Б. Никитин // Горный журнал. – 1988. – № 2. – С. 9–12.
8. Ласкорин Б.Н. Безотходная переработка минерального сырья. Системный анализ / Ласкорин Б.Н., Барский Л.А., Персиц В.З. – М.: Недра, 1984. – 334 с.
9. Ржевский В.В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ / Ржевский В.В. – М.: Недра, 1975. – 574 с.
10. СНиП 32-04-97 «Тоннели железнодорожные и автодорожные», -М.: 1997 г., 20 с.
11. Тоннели и метрополитены / под редакцией В.Г. Храпова, -М.:, 1989 г, - 389 с.
12. Проектирование тоннелей / С.А. Компаниец, А.К. Поправко, А.А. Богородецкий, -М.:, 1979 г, 320 с.
13. ЕНиР сборник 36 ч.2
14. Sopromat.h12.ru/content/biblio/mexan/archive/chap%204.doc
15. Офіційний сайт Plaxis [Режим доступу]: [www.plaxis.ru](http://www.plaxis.ru)

Рукопись поступила в редакцию 15.04.16

УДК 004.056.5: 004.738.5(045)

О.О. МЕЛЕШКО, канд. техн. наук, доц., О.С. БОЛОТНИКОВА, студентка,  
Національний авіаційний університет  
К.В. ГЕРАСИМОВА, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

## СПОСОБИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ В КОРПОРАЦІЇ ВІД ВИТОКУ

У даній статті визначено, що основним завданням є пошук способів захисту інформації з обмеженим доступом у корпораціях, що зберігається на мобільному пристрої від злому, крадіжки й просто втрати смартфона.

Виявлено, що на сьогоднішній день концепція BYOD (Bring Your Own Device) стає все далі актуальнішою, адже вона досить вигідна як для робітників, так і для керівників компанії. Адже використовуючи особисті пристрої в роботі, компанія чекає збільшення продуктивності праці і зниження витрат, пов'язаних з мобільними пристроями. Але як і будь-який пристрій мобільні пристрої та планшети мають свої слабкі місця, у зв'язку з цим розглядається ряд проблем, що можуть з'явитись з точки зору інформаційної безпеки.

Визначено та розглянуто три різні рівня захисту, що можуть залежати від того які саме пристрої використовуються в компанії. Розглянуто різні варіанти розмежування доступу до особистих й корпоративних даних на одному пристрої таких як: MDM - «Mobile Device Management», розробка контейнерів інформації та віртуалізація.

Для вирішення питання щодо захисту інформації на мобільних пристроях розглянуто декілька легких, але в той же час й ефективні загальноприйнятні варіантів, а саме: двоетапна аутентифікація, складні паролі, відрахований доступ до пристрою, створення резервних копій та інші.

У результаті автори надають поради, що до оптимального захисту мобільного пристрою(планшету), для оптимального використання його для роботи в офісі, корпорації тощо.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** За останні роки використання мобільних пристроїв в корпоративному середовищі набирає все більшої популярності. Дана технологія є повноцінним обчислювальним пристроєм, що підтримує більшу частину функціоналу традиційних електронно обчислювальної машини (ЕОМ) при значно менших розмірах, що дозволяє обробляти інформацію віддалено й оперативно, скоротивши на цьому час і зусилля, витрати часу на переміщення до комп'ютера, адже мобільний пристрій знаходиться практично завжди при собі

Проникнення особистих мобільних пристроїв в корпоративну мережу, перш за все, пов'язано з позитивними очікуваннями від BYOD (BYOD (Bring Your Own Device) - "Візьми Своє Власне Пристрій на роботу"), як з боку власників бізнесу так і співробітників. Використовуючи особисті пристрої в роботі, компанія чекає збільшення продуктивності праці і зниження витрат, пов'язаних з мобільними пристроями. Дійсно видавати всім корпоративні пристрої і підтримувати їх - це дороге задоволення [1].

Надавши можливість використовувати особисті пристрої і дозволяючи доступ до корпоративних ресурсів ззовні, компанія знімає з себе необхідність забезпечення їх підтримки та закупівлі, при цьому очікує підвищення ефективності праці та оперативності дій співробітників. Тому перехід користувачів і бізнесу на мобільні пристрої практично неминучий.

Враховуючи той факт, що дані які зберігаються можуть містити в собі інформацію різного рівня (типу) конфіденційності, то втрата її може нести великі збитки як для однієї особи, так і для всієї компанії.

Об'єктами захисту є інформація, що міститься та обробляється на мобільному телефоні, права власника цієї інформації та власника мобільного пристрою, права користувача.

Доступ до інформації, яка зберігається, обробляється і передається в мобільному пристрої, здійснюється лише згідно з дозволу наданим власником інформації чи уповноваженою ним особою.

З огляду на той фактор, що на сьогоднішній момент залучення смартфонів і планшетів досить таки добре розвивається, розглянемо ряд проблем, які можуть з'явитись в подальшому з точки зору інформаційної безпеки порушення конфіденційності інформації в результаті крадіжки або втрати пристрою; порушення конфіденційності інформації в результаті доступу сторонніх осіб до пристрою, залишеному без нагляду; доступ до конфіденційної інформації

зовнішніх порушників за допомогою використання шкідливого програмного коду; розкрадання інформації працівником, який має легітимний доступ до інформації і зберігає цю інформацію на своєму пристрої (шляхом відправки через особисту пошту та ін.) [2,3].

Проблема посилюється так само тим, що значна кількість використовуваних пристроїв є особистими, а це означає, що працівник може звертатися з ним як завгодно.

У реальності особисті мобільні пристрої приносять некерованість мобільного середовищем користувачів і втрату безпеки. Фактично використання мобільних гаджетів для компанії різко змінює карту ризиків, де на перше місце виходять такі проблеми як зберігання важливих даних на мобільних пристроях і забезпечення контролю використовуваних корпоративних ресурсів. Як наслідок постає питання серйозних інвестицій на забезпечення інформаційної безпеки мобільних користувачів в рамках BYOD.

**Аналіз досліджень і публікацій.** У реальності, особисті мобільні пристрої приносять некерованість мобільного середовищем користувачів. Задача забезпечення захисту мобільних співробітників складається з створення політики забезпечення безпеки при віддаленому доступі і обробці даних, а також перевірки на їх основі мобільного пристрою, принесеного в корпоративну мережу. Такий підхід для компанії вибудовується в комплексну стратегію захисту мобільних співробітників.

Компанії неминуче стикаються з питанням, а що конкретно треба захищати і як це можна зробити. Експерти виділяють три різних рівня захисту в залежності від того які пристрої використовуються в компанії [3,4]:

1. Захист пристроїв (для корпоративних пристроїв): впровадження технології управління пристроями (MDM - «Mobile Device Management»); запровадження суворих політик безпеки для пристроїв; локальне шифрування даних на пристрої; створення захищених розділів (контейнерів) на пристроях.

2. Захист додатків (для різномірної середовища з великим парком рішень): тісний зв'язок з розробниками додатків на предмет безпеки; безпечне поширення і оновлення програм.

3. Захист даних (для особистих мобільних пристроїв): контроль зліпків пристроїв (fingerprint); шифрування каналу передачі даних; віртуалізація і віддалений робочий стіл; забезпечення цілісності даних (контроль життєвого циклу даних).

Фактично використання мобільних гаджетів для компанії різко змінює карту ризиків, де на перше місце виходять такі проблеми як зберігання критичних даних на мобільних пристроях і забезпечення контролю використовуваних корпоративних ресурсів. Як наслідок постає питання серйозних інвестицій на забезпечення інформаційної безпеки мобільних користувачів в рамках BYOD.

**Постановка завдання.** Завданням даної статті є пошук способів захисту інформації, що зберігається на мобільному пристрої від злому. Визначити та розглянути найпоширеніші та більш надійні варіанти захисту інформації на мобільному пристрої.

**Викладення матеріалу та результати.** Актуальним питанням стає захист корпоративних даних, а саме як вони будуть зберігатись та використовуватись на пристрої співробітників. Основна мета, це зручність та розмежування доступу до особистих й корпоративних даних на одному пристрої. це можливо реалізувати за допомогою різних засобів, всі вони розвиваються поетапно.

Спочатку для цих цілей застосовувалися рішення MDM, які програмними засобами розмежовували доступ до даних на мобільному пристрої. При цьому даний підхід застосовувався саме для пристроїв, якими володіла сама компанія, так як він вимагав не тільки установки додаткового програмного забезпечення, але і налаштування прав доступу через засоби централізованого управління. На жаль, даний підхід зажадав кардинальної зміни політик безпеки стосовно до особистих пристроїв і концепції BYOD, так як він фокусувався на захист самого пристрою, а не даних.

В результаті на зміну класичним MDM рішень прийшли продукти з підтримкою захищених контейнерів, які жорстко розділили функціонал MDM і захист даних. З одного боку, засобами централізованого управління забезпечувався контроль відповідності пристрою вимогам політик безпеки, з іншого, окремий програмний компонент в рамках MDM рішення створював зашифрований контейнер для роботи з даними. Більшість розробників MDM рішень сьогодні розви-



вають свої продукти саме за рахунок захищених контейнерів. Тим самим користувач при роботі з даними завжди працює в створеному просторі, яке в статичному вигляді завжди зашифровано і повністю виключає втрату даних у відкритому вигляді. Недоліком такого підходу стало те, що такого роду рішення шифрування даних працюють далеко не з усіма додатками (частіше всього обмеження створюються саме самим розробником і списком програм, які підтримуються).

Тобто подібного роду рішення незручно використовувати для корпоративних додатків, тільки якщо компанія сама не готова інтегрувати подібний функціонал.

Наступним логічним кроком в забезпечення безпеки корпоративних даних є технологія віртуалізації. Віртуалізація мобільних пристроїв - це технологія, що дозволяє запускати кілька операційних систем одночасно на одному і тому ж мобільному пристрої. Подібний підхід повністю відповідає вимогам роботи з особистими і корпоративними даними в рамках концепції BYOD. Фактично при роботі користувача з даними створюється кілька рівноправних і паралельно працюючих наборів програмного забезпечення, доступних з одного і того ж пристрою, але для різних профілів: корпоративного й персонального.

Існує три види віртуалізації [8]:

віртуальний робочий стіл;

принцип аналогічний стандартним рішенням для корпоративної інфраструктури з тонкими клієнтами, коли користувач працює з віддаленим робочим столом, не маючи можливості зберегти щось на свій локальне робоче місце;

хмарна віртуалізація.

Даний підхід має являє собою хмарний сервіс, коли на кінцевому пристрої користувача присутні лише ярлики для доступу до додатків, як зі своєї особистої операційної системи, так і з окремої оболонки, що створює візуальне подібність незалежного робочого столу або всієї операційної системи. При цьому всі дані зберігаються і обробляються на стороні хмарного хостингу, в якому відбувається також розмежування доступу до додатків і управління користувачами.

Для таких рішень є два підходи в реалізації.

Перша - це послуга з хмарного хостингу самого розробника рішення, де компанії надається лише платформа для побудови політик і вибору з готового списку додатків для співробітників

Другим є продукт для приватної хмарної інфраструктури, що дозволяє створювати не тільки політики для поширених додатків, але і додавати власні додатки для доступу з пристроїв співробітників

Даний вид рішень по віртуалізації мобільних пристроїв зараз набирає обертів на заході і подає великі надії, так як вимагає мінімальних змін на особистих мобільних пристроях.

Розглянемо віртуалізацію на самому пристрої. Технологія реалізує пряме виконання віртуального середовища на кінцевому пристрої користувача. Такий підхід включає в себе створення двох незалежних доменів на одному пристрої з можливістю швидкого перемикання між ними. При цьому є кілька принципово різних варіантів реалізації такого функціоналу:

створення паралельно працюють віртуальних доменів на єдиній апаратній платформі;

створення віртуального домену всередині реальної операційного середовища мобільного пристрою.

Для вирішення питання щодо захисту інформації на мобільному пристрої існує ще декілька загальноприйнятих варіантів, а саме :

1. Вимикайте Wi-Fi і Bluetooth на телефоні, коли не користуєтеся Інтернетом.

Контроль за бездротовими мережами і злом телефону через wifi - улюблена "забава" хакерів. Якщо ці функції у Вас весь час включені, стороннім значно легше проникнути в ваш телефон. Це можна пояснити на прикладі наступної ситуації: на мобільному пристрої весь час активні Wi-Fi та Bluetooth, побачивши це зловмисник може побачити до яких саме мереж було здійснено підключення, потім зімітувати їх, в результаті чого ваш телефон підключиться до пристроїв, що належить зловмиснику (така атака називається «злий двійник»). Після з'єднання з пристроєм, зловмисники атакують його за допомогою спеціальних програм, викрадаючи дані, або можуть почати стежити за вами. Причому ви цього навіть не помітите.

2. Користуйтеся двоетапною аутентифікацією для входу

Автентифікація - процедура встановлення належності користувачеві інформації в системі, шляхом перевірки введеного паролю і логіну, із паролем і логіном у відповідній базі даних [6].

Але один пароль не гарантує достатній захист телефону. Паролі від пошти постійно зламують. Тому для того щоб забезпечити максимальну безпеку, багато поштових сервісів і соціальні мережі пропонують додатковий рівень захисту: аутентифікацію з двох кроків.

Двоетапна аутентифікація являє собою використання для входу різних методів паролів: текст, одноразовий код, смс - повідомлення, відбиток пальця тощо. Звичайно, пароль зловмисники можуть отримати різним шляхом, але вони не зможуть прочитати одноразового коду у смс - повідомленні, що прийде на певний номер, для підтвердження.

### 3. Використовуйте складні паролі [7].

Прості паролі легко запам'ятати, такі як дата народження, «1111», але вони навряд будуть надійні. Пристрій можна вважати більш захищеним, наприклад, при наявності пароля довжиною 6-8 символів, що складаються з символів кирилиці, цифр та, якщо є можливість, символів «\*,!,@,\$».

### 4. Установіть антивірусні програмні забезпечення.

На сьогоднішній день існує багато програмних засобів «антивірусів», що виконують аналогічні функції на смартфонах, як на ПК. До їх задач входить перехоплення вірусів й інших шкідливих пакетів, що можуть нести загрозу.

### 5. Завантажуйте додатки з розумом.

Будь-які додатки можуть зробити ваш смартфон вразливим. Завантажуйте лише ті додатки, що дійсно вам потрібні й з надійних джерел (офіційних магазинів додатків для вашої платформи) таких як Google Play маркет, Marketplace, iTunes. При цьому завжди потрібно звертати увагу на те, які саме дані цей додаток потребує при встановленні. Дуже часто користувачі погоджуються та без питань надають свою інформацію для встановлення додатків, яка по суті в дійсності там не потрібна, таким чином надаючи її третій особі.

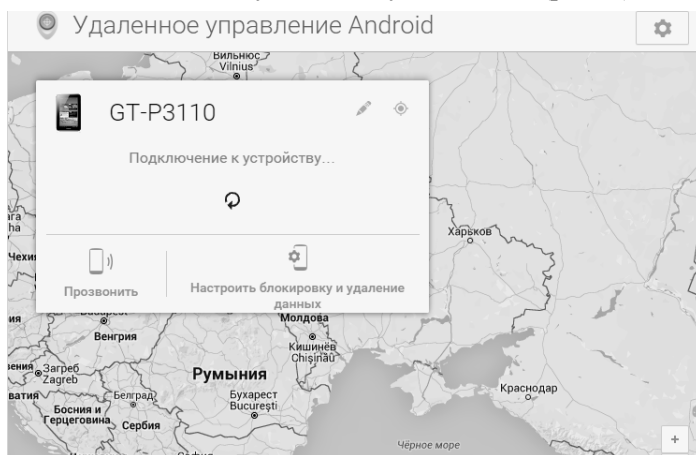
### 6. Створення резервних копій даних.

Більшість смартфонів мають функцію синхронізації даних з їх хмарними сервісами зазвичай це робиться вручну або автоматично. Синхронізуйте дані зі своїм домашнім комп'ютером або ноутбуком з періодичністю 1 раз на тиждень чи навіть частіше, залежно від того, наскільки висока важливість інформації та контенту на вашому телефоні.

Синхронізація - необхідна для того щоб на всіх ваших пристроях були необхідні дані і випадку втрати або блокування телефону, ви змогли швидко відновити їх. Витративши один раз час, в подальшому ви будете його економити, налаштувавши синхронізацію, можна миттєво налаштувати пристрій, щоб на вашому телефоні відразу були всі ваші контакти і налаштування. Дана процедура є на всіх сучасних смартфонах: Iphone, Android 4.4, Windows Phone.

### 7. Віддалений доступ.

Цей спосіб дозволяє мати обмежений доступ до пристрою. Він є зручним у випадку крадіжки чи втрати мобільного. Найчастіше він застосовується до телефонів або смартфонів, але можливе використання його також з планшетами. З функцій, доступних користувачеві в цьому способі, можна відзначити можливість відстежити місцезнаходження телефону, зателефонувати на нього і заблокувати доступ до нього (рис. 1).



**Рис. 1.** Функції, що доступні користувачеві при використанні віддаленого доступу

Ще можна налаштувати віддалене скидання даних. Для того щоб ці можливості були доступні, необхідно мати акаунт в Google, а також зробити певні настройки в самому смартфоні, а саме включити у кладці «Безпека» - «Віддалений пошук пристрою», «Дистанційне блокування і скидання налаштувань». Активувавши дані функції ви запуснете віддалений доступ.

Також є можливість запуснути дану функцію й через додаткові програмні додатки, що з'єднують комп'ютер зі смартфоном.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Сьогодні концепція BYOD стає все далі актуальнішою, адже вона досить вигідна як для робітників, так і для керівників компанії. Адже співробітники можуть використовувати свої власні пристрої (мобільні, планшети) й працювати як в офісі, так й вдома, тим самим підвищуючи виробництво. Керівництво ж, вигідно заощаджує на закупівлі нового обладнання (додаткових комп'ютерів). Для захисту інформації від зловмисників треба дотримуватись певних елементарних вимог, а саме: створення віртуалізації; вимикати Wi-Fi і Bluetooth на телефоні, коли не користується Інтернетом; використання складних паролів; завантаження додатків з розумом.

Додатково, для більшої надійності, доречно буде робити резервних копій та додати віддалений доступ. Таким чином, інформація з обмеженим доступом, що зберігається на мобільному пристрої буде у більшій безпеці від злому та втрати.

### Список літератури

1. Гайкович В. Ю. Проблема корпоративної мобильності/ Гайкович В. Ю // Защита информации. INSIDE – 2012 - №4 – С.2-5
2. Михайлов Д. М., Жуков И. Ю., Ивашко А. М. Защита мобильных телефонов от атак М.: Фойлис, 2011. - 192 с.
3. Якушин Петр. Безопасность мобильного предприятия / П.Якушин // Открытые системы – 2013 - № 1 (187) – С. 22-27.
4. Панасенко А. Влияние мобильных устройств на безопасность информации – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.anti-malware.ru/node/12301>, 2013.
5. Гилмор Дж., Бирдмор П. Безопасность мобильных устройств для «Чайников» М.: John Wiley & Sons Ltd, Chichester, West Sussex, England (Англия), 2013. – 54 с.
6. Ванг Й., Стрефф К., Раман С. Проблемы безопасности смартфонов // ОТКРЫТЫЕ СИСТЕМЫ. СУБД, М: Издательство «Открытые системы», 2013. - С. 27-31.
7. Мельников Д. А. Информационная безопасность открытых систем: Учебник. М.: ФЛИНТА, 2013.
8. Дзюндзюк В. Б. Віртуальні співтовариства: потенційна загроза для національної безпеки //Державне будівництво, 2011. – №. 1.

Рукопис подано до редакції 15.04.16

УДК 681.5: 622.2

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф,  
Н.В. МОРКУН, В.А. ДВОРНИКОВ, И.В. КАСАТКИНА, кандидаты техн. наук, доц.  
Криворожский национальный университет

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ПУЛЬПЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЪЕМНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН

Известные методы ультразвукового контроля параметров пульпы позволяют определить две ее основные характеристики - плотность и гранулометрический состав. Для измерения этих параметров используются объемные и поверхностные ультразвуковые волны, а также их сочетания [1-4]. Ниже рассмотрены методы ультразвуковой гранулометрии на основе объемных волн.

Пульпа представляет собой случайно неоднородную гетерогенную среду, содержащую в воде твердые частицы различного размера с распределением, описываемым функцией  $F(r)$ , где  $r$  - радиус частиц. Содержание частиц в пульпе может быть задано либо через концентрацию

$$n = N \cdot V^{-1},$$

либо через их объемную долю  $W$ . Амплитуда ультразвуковой волны частоты  $\nu$ , прошедшей в среде расстояние  $Z$ , описывается зависимостью

$$A_v(Z) = A_o \exp \left\{ -ZN/V \int_0^{r_m} dr F(r) \sigma(v, r) \right\} \quad (1)$$

где  $N$  - число частиц в эффективном контролируемом объеме пульпы  $V$ ;  $A_o$  - амплитуда объемной волны, прошедшей то же расстояние в чистой воде;  $r_m$  - максимальный размер твердых частиц.

В этом выражении  $\sigma(v, r)$  - сечение ослабления ультразвука частоты  $\nu$  на твердой частице сферической формы радиуса  $r$  и плотности  $\rho_r$  [1]

$$\sigma(v, r) = \sigma_v + 1 / (\sigma_s^{-1} + \sigma_d^{-1}) \quad (2)$$

$$\frac{4\pi r^3}{3} \left( \frac{\omega}{c} \right) \left( \frac{\rho_r}{\rho_o} - 1 \right)^2 \frac{S}{S^2 + \left( \frac{\rho_r}{\rho_o} + \tau \right)^2}$$

где  $\sigma_v =$  ;  $\omega = 2\pi\nu$ ,  $c$  - скорость ультразвука в среде;  $\rho_o$  - плот-

ность жидкости;  $S = \frac{9}{4Br} \left( 1 + \frac{1}{Br} \right)$ ;  $B = \left( \frac{\pi\nu}{\mu} \right)^2$ ;  $\tau = \frac{1}{2} + \frac{9}{4Br}$ ;  $\mu = \eta/\rho_o$ ;  $\eta$  - коэффициент вязко-

сти жидкости;  $\sigma_s = \frac{4\pi r^3}{3} \frac{1}{6} \left( \frac{\omega}{c} \right)^4 r^3$ ;  $\sigma_d = \frac{4\pi r^3}{3} \left( \frac{\omega}{c} \right)^3 / 4\pi r$ .

В выражении (2) величины  $\sigma_v$  и  $\sigma_d$  определяют вязкоинерционные и дифракционные потери, а  $\sigma_s$  - потери, обусловленные рассеянием ультразвука. Зависимости сечения ослабления ультразвуковых колебаний от размера частиц для различных частот показаны на рис. 1 (1-  $\nu=2$  МГц; 2 -  $\nu=1$  МГц).

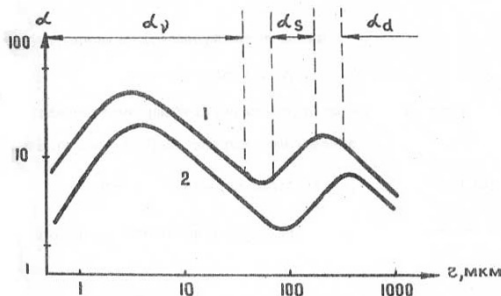


Рис. 1. Зависимости сечения ослабления ультразвуковых колебаний от размера частиц для различных частот (1-  $\nu=2$  МГц; 2 -  $\nu=1$  МГц)

Как видно из выражения (1), если сформировать сигнал

$$A = (1/Z) \ln(I_o / I_v) = (N/V) \int_0^{r_m} dr F(r) \sigma(v, r) \quad (3)$$

то он содержит информацию о концентрации частиц твердой фазы и распределении их по размерам.

Интеграл в выражении (3) можно представить в виде

$$\int_0^{r_m} dr F(r) \sigma(v, r) = \int_0^{r_1} dr F(r) \sigma(v, r) + \int_{r_1}^{r_2} dr F(r) \sigma(v, r) + \dots + \int_{r_{m-1}}^{r_m} dr F(r) \sigma(v, r), \quad (4)$$

где  $r_i$  - границы интервалов размеров частиц

$$\Delta r_i = r_i - r_{i-1}.$$

Если величина интервала  $\Delta r_i$  невелика, то любой из интегралов правой части выражения (4) можно представить в виде

$$\int_{r_{i-1}}^{r_i} dr F(r) \sigma(v, r) \approx F(r_i) \Delta r_i \sigma(v, r_i). \quad (5)$$

Таким образом, выражение (3) можно представить в следующем виде

$$A = \frac{N}{V} \sum_{i=1}^m f(r_i) \Delta r_i \sigma(v, r_i) \sum_{i=1}^m \alpha(v, r_i), \quad (6)$$

где  $\alpha(v, r_i) \equiv \sigma(v, r_i)$ ;  $c_i$  - концентрация частиц, размеры которых принадлежат интервалу  $\Delta r_i$ .

Если такие сигналы сформировать на различных частотах  $\nu_j$  ( $1 \leq j \leq m$ ), то будем иметь систему алгебраических уравнений

$$A_j = \sum_{i=1}^m -i \alpha_{ji}, \quad (7)$$

где  $\alpha_{ji} \equiv \alpha(\nu_j, r_i) = \Delta r_i \sigma(\nu_j, r_i)$ .

Коэффициенты  $\alpha_{ji}$  определяются сечениями ослабления  $\sigma(\nu_j, r_i)$  и их зависимость от  $r$  для разных частот представлена на рис. 2. Выбор частот  $\nu_j$  осуществляется через длину волны ультразвука  $\lambda_j$  и размер частиц  $r_1$  и  $r_m$ , причем максимальная длина волны должна соответствовать радиусу  $r_m$ , а минимальная равна  $r_1$ . Описанный метод нашел отражение в работе [5].

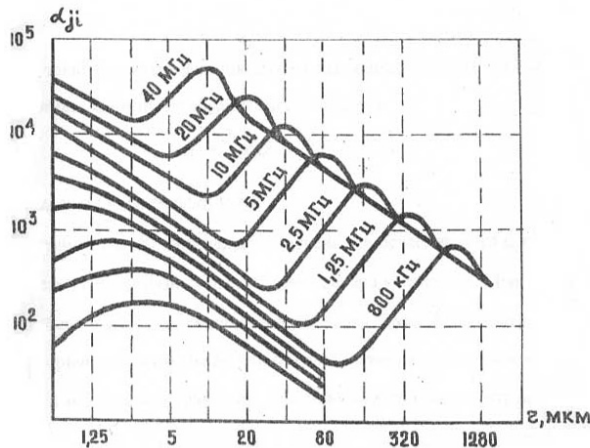


Рис. 2. Зависимость коэффициентов  $\alpha_{ji}$  от  $r$  для разных частот

Недостатки этого метода определения концентрации частиц по размерам очевидны. Во-первых, точность определения концентрации  $c_i$  зависит от числа уравнений системы (7) и, в значительной мере, от погрешности измерения сигнала  $A_j$ . Для достаточного описания распределения частиц по размерам необходимо, чтобы  $m \geq 10$ . В области низких частот ( $\nu < 1$  МГц) погрешность измерения  $A_j$  может быть связана с влиянием газовых пузырьков пульпы. Чтобы повысить точность измерения сигналов  $A_j$  на

низких частотах, требуется предварительная дегазация пульпы. Во-вторых, требование выполнения условия  $m \geq 10$  практически связано с реализацией большого количества ультразвуковых измерительных каналов (рис. 3в).

Нашедший широкое практическое применение способ ультразвукового контроля крупности частиц твердой фазы суспензий (рис. 3а) основан на измерении амплитуд объемных ультразвуковых колебаний двух различных частот, прошедших через контролируемую среду [6-8].

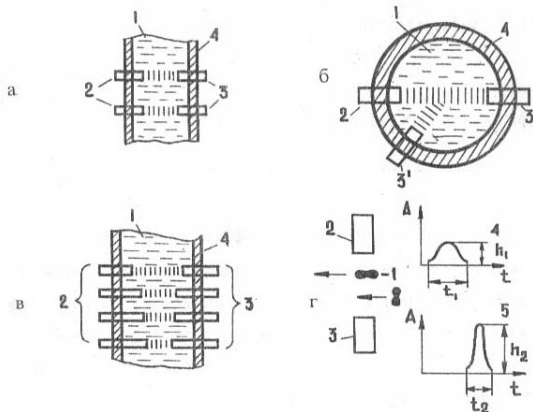


Рис. 3. Способы ультразвукового контроля крупности частиц твердой фазы суспензий

В низкочастотной области ( $\nu \leq 10^5$  Гц) ослабление ультразвука обусловлено, в основном, вязкоинерционными потерями, поэтому

$$\sigma \approx \sigma_v.$$

Тогда сформированный на частоте  $\nu_1 \leq 10^5$  Гц сигнал

$$S_1 = \ln(A_{01} / A_{\nu_1}) = Z_1 N \int_0^{r_m} F(r) \sigma_v(\nu_1, r) dr = \frac{Z_1 W}{\aleph} \int_0^{r_m} F(r) \sigma_v(\nu_1, r) dr \quad (8)$$

будет пропорционален концентрации твердой фазы пульпы, так как он зависит от объемной доли  $W$  твердой фазы, а величина  $\sigma_v(\nu_1, r)$  - от плотности частиц. В этом выражении

$$\aleph = \int_0^{r_m} F(r) 4/3 \pi r^3 (dr). \quad (9)$$

Следовательно, по величине сигнала  $S_1$  можно судить о плотности пульпы или содержании в ней твердой фазы.

В области больших частот, когда  $\sigma(\nu_2, r) \approx \sigma_s$ , измеряется величина

$$S_2 = \ln(A_{02} / A_{\nu_2}) = Z_2 N \int_0^{r_m} F(r) \sigma_s(\nu_2, r) dr = \frac{Z_2 W}{\aleph} \int_0^{r_m} F(r) \sigma_s(\nu_2, r) dr. \quad (10)$$

Тогда отношение

$$\tilde{S} = S_2 / S_1 = k \int_0^{r_m} F(r) \sigma_s(v_2, r) dr / \int_0^{r_m} F(r) \sigma_v(v_1, r) dr \quad (11)$$

не зависит от концентрации частиц и определяется только распределением частиц по размерам [9]. В выражении (11)  $k$  - коэффициент пропорциональности.

Для практической реализации рассмотренного метода контроля необходимо осуществлять предварительную дегазацию пульпы, что значительно усложняет конструкцию гранулометра, делает его менее надежным, энергоемким и громоздким.

В работе [8] предлагается осуществлять контроль гранулометрического состава пульпы путем использования одного измерительного канала определенной частоты. В этом случае дополнительная информация получается за счет измерения амплитуды (интенсивности) рассеянных ультразвуковых колебаний дополнительным приемником  $3'$  (рис. 3б). В рамках принятых обозначений, амплитуда рассеянных ультразвуковых колебаний, измеряемых приемником  $3'$ , в некотором приближении описывается выражением

$$A_s = KN \left[ \int_0^{r_m} F(r) \sigma_s(v, r) dr \right] A_o \exp \left[ -NZ \int_0^{r_m} F(r) \sigma_s(v, r) dr \right], \quad (12)$$

где  $K$  - коэффициент, учитывающий геометрические факторы измерительной системы;  $Z$  - расстояние, которое проходит ультразвук от излучателя  $2$  до приемника  $3'$ , равное диаметру измерительного сосуда.

Предполагается, что конусы направленности излучателя и приемника пересекаются в центре сосуда и поэтому измеряются параметры волн, рассеянных только в центральной области контролируемой среды.

Приемник  $3$  измеряет амплитуду прошедшей через контролируемую среду волны, которая определяется выражением

$$A_v = A_o \exp \left[ -NZ \int_0^{r_m} F(r) \sigma(v, r) dr \right], \quad (13)$$

где  $A_o$  - амплитуда ультразвуковой волны в чистой воде.

По результатам измерений  $A_s$ ,  $A_v$  и  $A_o$  формируется сигнал

$$S = \frac{A_s}{A_v \ln(A_o / A_v)} = \frac{K \int_0^{r_m} F(r) \sigma_s(v, r) dr}{Z \int_0^{r_m} F(r) \sigma(v, r) dr}. \quad (14)$$

Этот сигнал зависит только от распределения частиц по размерам, а значит, по его величине можно судить о гранулометрическом составе исследуемой среды.

При использовании данного метода выбор частоты ультразвука должен осуществляться из условия соизмеримости коэффициентов поглощения и рассеяния, т.е.

$$\sigma_v \approx \sigma_s.$$

Таким образом, частота ультразвука не должна быть очень большой, так как в этом случае теряется информация о крупности частиц, но и не может быть очень маленькой, поскольку на низких частотах отсутствует рассеяние волн на частицах. Для размеров частиц измельченного материала, которые характерны для обогатительного производства, приведенное выше условие выполняется в частотном диапазоне  $(3-8) \cdot 10^5$  Гц. Однако в этом диапазоне частот велико влияние газовых пузырьков на ослабление ультразвука, поэтому при измерениях таким способом необходимо осуществлять дегазацию пульпы.

Предлагается также измерения рассеянных и прошедших через контролируемую среду волн проводить на разных частотах, т.е. для измерения  $A_s$  использовать высокочастотные ультразвуковые колебания, при которых  $\sigma_s \gg \sigma_v$ , а  $A_v$  измерять на более низкой частоте, чтобы  $\sigma_v \geq \sigma_s$ . Но и в этом случае измерения на низких частотах подвержены влиянию газовой фазы.

В работе [9] предлагается в диапазоне частот, где присутствуют две компоненты полного коэффициента затухания ультразвука:  $\alpha_v$  (линейный коэффициент поглощения ультразвука частицами твердой фазы) и  $\alpha_p$  (линейный коэффициент ослабления ультразвука на воздушных

пузырьках) производить измерения его величины на трех фиксированных частотах  $\nu_1, \nu_2$  и  $\nu_3$  (рис. 4).

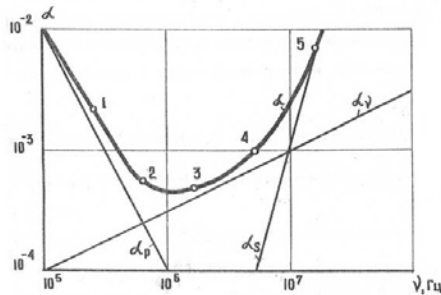
Предполагается, что зависимость линейных коэффициентов поглощения  $\alpha_\nu$  и рассеяния  $\alpha_s$  ультразвука на частицах твердой фазы, а также ослабления  $\alpha_p$  на воздушных пузырьках в некотором диапазоне частот можно описать выражениями

$$\alpha_\nu = A_1 \nu^{k_1}, \tag{15}$$

$$\alpha_s = A_2 \nu^{k_2}, \tag{16}$$

$$\alpha_p = A_3 \nu^{-k_3}, \tag{17}$$

где  $A_1, A_2, A_3$  и  $k_1, k_2, k_3$  - константы.



**Рис. 4.** Оценка компонент затухания ультразвука на трех фиксированных частотах  $\nu_1, \nu_2$  и  $\nu_3$

Тогда для каждой из точек измерения можно записать значения полных коэффициентов затухания

$$\alpha^{(1)} = A_1 \nu_1^{k_1} + A_3 \nu_1^{-k_3}, \tag{18}$$

$$\alpha^{(2)} = A_1 \nu_2^{k_1} + A_3 \nu_2^{-k_3}, \tag{19}$$

$$\alpha^{(3)} = A_1 \nu_3^{k_1} + A_3 \nu_3^{-k_3}, \tag{20}$$

где  $\alpha^{(1)}, \alpha^{(2)}, \alpha^{(3)}$  - полные коэффициенты ослабления ультразвука на частотах  $\nu_1, \nu_2$  и  $\nu_3$  соответственно.

Предполагается, что  $k_1$  в выражении (15) заранее определен, что позволяет вычислить три других неизвестных параметра  $A_1, A_3$  и  $k_3$ .

Для этого используется уравнение

$$\left[ \frac{\alpha^{(1)} - A_1 \nu_1^{k_1}}{\alpha^{(2)} - A_1 \nu_2^{k_1}} \right]^{\frac{1}{\omega_2 - \omega_1}} = \left[ \frac{\alpha^{(1)} - A_1 \nu_1^{k_1}}{\alpha^{(3)} - A_1 \nu_3^{k_1}} \right]^{\frac{1}{\omega_3 - \omega_1}}, \tag{21}$$

где  $\omega_{1.5} = \lg \nu_{1.5}$ .

В другом диапазоне частот ( $0,5 - 1 \times 10^7$  Гц), в котором вклад  $\alpha_s$  в полный коэффициент ослабления ультразвука является определяющим, производится два измерения

$$\alpha^{(4)} = A_1 \nu_4^{k_1} + A_3 \nu_4^{-k_3} + A_2 \nu_4^{k_2}, \tag{22}$$

$$\alpha^{(5)} = A_1 \nu_5^{k_1} + A_3 \nu_5^{-k_3} + A_2 \nu_5^{k_2}. \tag{23}$$

В результате решения уравнений (22) и (23) определяются значения  $k_2$  и  $A_2$

Таким образом, производятся вычисления всех составляющих полного коэффициента ослабления ультразвука, что позволяет вычислить концентрацию твердой фазы и оценить размеры частиц измельченного материала, не прибегая к дегазации исследуемой среды.

Практическая апробация данного метода показала, что в реальной пульпе зачастую не удается выделить участок частотного диапазона, в котором отсутствовала хотя бы одна из составляющих полного коэффициента затухания. А это приводит к значительному увеличению погрешности измерений.

Существует способ определения среднего объема частиц несферической формы путем измерения соотношения между “высотой” и “шириной” сигнала от частицы, прошедшей через область контроля [10]. Одновременно при измерении накапливается количественная информация о “высоте” и “ширине” сигналов от частицы, которая затем делится на число зарегистрированных частиц, тем самым получают величину, пропорциональную среднему объему частицы (рис. 3г). Этот метод контроля выпадает из общей схемы рассмотренных способов и может быть использован для создания лабораторного оборудования, осуществляющего контроль малого числа частиц, например, при осаждении в воде, но не может быть использован для определения параметров пульпы непосредственно в технологическом процессе.

Из приведенных способов контроля гранулометрического состава и содержания твердой фазы пульпы каждый имеет свои достоинства и недостатки, обобщая которые можно прийти к **следующим выводам:**

1. Для осуществления контроля по способам [5,7,8] необходимо проводить предварительную дегазацию пульпы, что связано с усложнением конструкции гранулометра, снижением ее надежности.
2. Измерения гранулометрического состава по способу [7] не являются абсолютными, поэтому требуется настройка приборов по месту контроля.
3. Способы [5,8] имеют невысокую точность измерения контролируемых параметров.

#### *Список литературы*

1. **Бергман Л.** Ультразвук и его применение в науке и технике. - М.: Изд-во иностран. лит., 1957. – 726 с.
2. **Моркун В.С., Потапов В.Н.** Современные методы ультразвуковой гранулометрии. – М.: Ин-т Черметинформация, 1991. – 22 с.
3. **Моркун В.С.** Ультразвуковой контроль характеристик измельченных материалов в АСУ ТПобогатительного производства / **В.С. Моркун, В.Н. Потапов, Н.В. Моркун, Н.С. Подгородецкий** // Монография. - Кривой Рог: Изд. центр КТУ, 2007. - 283 с.
4. **Моркун В.С., Поркуян О.В.** Ультразвуковые поверхностные волны Лэмба и Лява в измерительных системах. – Кривой Рог: Изд. центр КТУ, 2006.- 261 с.
5. Пат. 3438798 А1 Германия, МКИ G 01 N 15/02. Verfahren und Vorrichtung zum Messen der Feststoffkonzentration und der Korngobenverteilung in einer Suspension mittels Ultraschall/Löffler F.(Германия) - № 58730; Заявл. 23.10.84; Опубл. 24.04.86.- 14 с.
6. Hinde A.L. A real-time size analyser for plant use//IFAC Symp. "Automat Mining, Miner. and Metal. Proc." – Sydney. – 1975.- P. 45-47.
7. Пат. 4381674 США, МКИ G 01 N 29/00. Ultrasonic detecting and identifying of particulates/Leigh R. (США). - № 276038; Заявл. 22.06.81; Опубл. 03.05.83. – 6 с.
8. Пат. 4412451 США, МКИ G 01 N 29/00. Method and apparatus for the determination of the average particle size in a slurry/Seppo J. Uusitalo, Georg C. Von Althfan (Финляндия). – № 399002; Заявл. 16.07.82; Опубл. 01.11.83. - 16 с.
9. **Моркун В.С.** Адаптивная система стабилизации гранулометрического состава выходного продукта замкнутого цикла измельчения на базе средств ультразвукового контроля: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07. - Кривой Рог, 1984. – 227 с.
10. Пат. 5841336 Япония, МКИ G 01 N 15/07. Particle analyzer/Toua Iyoudenshi, Masayoshi Hayashi (Япония). - № 56139955; Заявл. 04.09.81; Опубл. 10.03.83. – 4 с.

Рукопись поступила в редакцию 18.04.16

УДК 519.242.7

Р.А. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук, проф., Д.А. КРИШКО, канд. техн. наук,  
В.О. САВЕНКО, аспирант, Криворожский национальный университет

### **ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ТИПА НА ОСНОВАНИИ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ РЕГРЕССИИ**

Подпорные стены в настоящее время находят широкое применение не только в гражданском и промышленном строительстве, но и в градостроительном проектировании для сложных ландшафтов. Возникают ситуации строительства объектов в стесненных условиях, на неблагоприятных территориях с активными действующими деформационными воздействиями, что усложняет применение имеющихся типов конструкций подпорных стен. В настоящее время данная проблема актуальна для подрабатываемых территорий и для просадочных грунтов, т.к. при сложных деформациях основания не всегда можно реализовать имеющиеся технические решения в виду их неприспособленности к условиям работы. Существующие конструкции подпорных стен не рассчитаны на дополнительные усилия от горизонтального сдвижения грунта, который вызывает концентрацию напряжений в нижней части лицевой плиты, что соответственно приводит к разрушению конструкции. Поэтому на стадии проектов детальной планировки с целью комплексной защиты населенных пунктов, промышленных объектов, инженерных сетей и транспортных коммуникаций с определенным уровнем безопасности и защиты необходимо использовать инженерные сооружения специального назначения. Поставлена следующая задача: провести исследования с использованием положений теории планирования эксперимента, определить оптимальное конструктивное решение подпорной стены специального типа. Целью исследований является определение такого сочетания факторов, при котором нагрузка на удерживаемый грунт будет максимальной. Для выбора оптимального конструктивного решения подпорной стены специального типа планируется учитывать несколько факторов: контактная площадь опорных призматических участков; объем полостей; угол резанья, градус; вид грунта (в виде удельного сцепления); несущая способность основания. Получен-



ное уравнение позволит уменьшить количество экспериментов и определить максимальную нагрузку на удерживаемый конструкцией грунт (функция отклика) с учетом оптимального сочетания значимых факторов.

**Ключевые слова:** подпорные стены специального типа (ПССТ); планирование эксперимента; матрица планирования, модель регрессии.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Подпорные стены в настоящее время находят широкое применение не только в гражданском и промышленном строительстве, но и в градостроительном проектировании для сложных ландшафтов.

Возникают ситуации строительства объектов в стесненных условиях, на неблагоприятных территориях с активными действующими деформационными воздействиями, что усложняет применение имеющихся типов конструкций подпорных стен.

По экспертным оценкам 90% площади территории Украины характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, ухудшающимися вследствие влияния природных и техногенных факторов [1].

Для освоения указанных территорий необходимо применять наиболее прогрессивные конструктивные решения подпорных стен, способные воспринимать дополнительно возникающие нагрузки.

**Анализ исследований и публикаций.** В настоящее время данная проблема актуальна для подрабатываемых территорий и для просадочных грунтов, т.к. при сложных деформациях основания не всегда можно реализовать имеющиеся технические решения в виду их неприспособленности к условиям работы. Существующие конструкции подпорных стен не рассчитаны на дополнительные усилия от горизонтального сдвижения грунта, который вызывает концентрацию напряжений в нижней части лицевой плиты, что соответственно приводит к разрушению конструкции.

В особенности для города Кривого Рога техногенная нагрузка на геологическую среду на несколько порядков выше, чем для других городов. Встречаются крайне неблагоприятные сочетания подработки территории с просадочностью грунтов, подтопление застроенных жилых массивов, сдвижение пород и т.д. Поэтому на стадии проектов детальной планировки с целью комплексной защиты населенных пунктов, промышленных объектов, инженерных сетей и транспортных коммуникаций с определенным уровнем безопасности и защиты необходимо использовать инженерные сооружения специального назначения.

**Постановка задачи.** Провести исследования с использованием положений теории планирования эксперимента, определить оптимальное конструктивное решение подпорной стены специального типа (ПССТ).

Целью исследований является определение такого сочетания факторов, при котором нагрузка на удерживаемый грунт будет максимальной.

**Изложение материала и результаты.** Планирование эксперимента - это четкая организация экспериментального исследования, которое позволяет собрать необходимые данные, применить для их анализа статистические методы и сделать правильные и объективные выводы. Поиск оптимального решения осуществляется на математической модели, представляющей собою функцию отклика. В данном случае функцией отклика будет максимальная нагрузка на грунт, удерживаемый ПССТ.

Планируется ставить последовательные серии опытов, в каждой из которых будут варьировать определенные факторы. Серии организовываются таким образом, чтобы после математической обработки предыдущей можно было спланировать условия проведения следующей. В конечном итоге, шаг за шагом, достигается области оптимума. В данном случае статистический подход позволит провести объективный анализ, особенно если данные эксперимента содержат ошибки [2-4].

Этапы проведения математического планирования эксперимента:

постановка задачи;

выбор наиболее значимых факторов, непосредственно влияющих на объект исследования;

выбор основного уровня факторов, а также интервала варьирования;

построение матрицы планирования;

проведение массива опытов по плану;

обработка результатов эксперимента;

выводы на основании результатов, разработка рекомендаций по оптимизации исследуемого явления.

Объектом исследования является ПССТ, а именно монолитная подпорная стена углового типа, которая имеет вертикальный и горизонтальный элементы на поверхности которых, с контактной стороны, размещены опорные части и пустоты в виде усеченных пирамид одинакового размера и направленных меньшим основанием вглубь вертикального и фундаментного элементов [5].

Монолитная подпорная стенка углового типа (рис. 1) состоит из фундаментной плиты 1, которая имеет пустоты 3 и опорные части 4, которые расположены на подошве и вертикального элемента 2, который также имеет пустоты 3 и опорные части 4, которые расположены с тыльной стороны. Г

рунт 5 направленный в пустоты 3, которые имеют форму усеченных пирамид.

Под подошвой фундаментной плиты и с тыльной стороны вертикального элемента расположены два листа упругоподатливого материала.

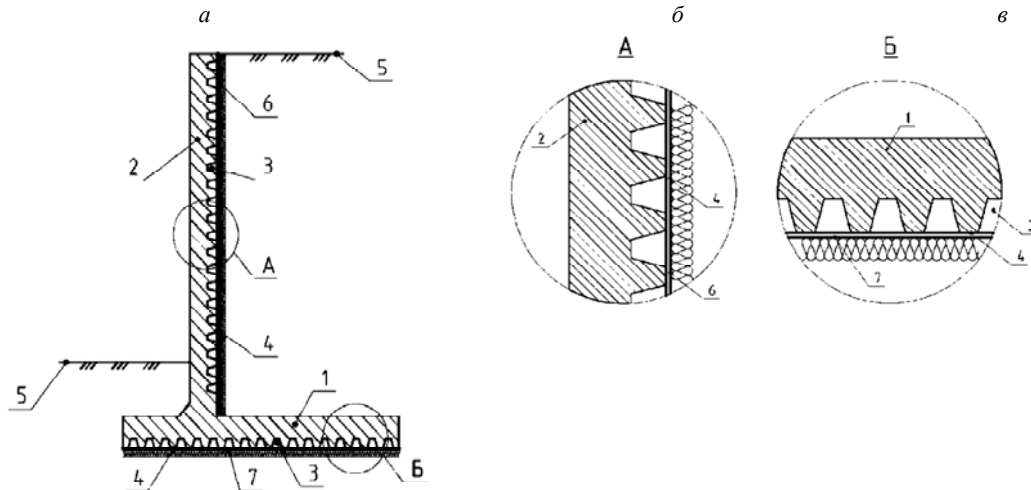


Рис. 1. Монолитная подпорная стена специального типа: а – поперечный разрез; б – узел А; в – узел В;  
1 – фундаментная плита, 2 – лицевая плита, 3 – пустоты, 4 – опорные части, 5 – грунт,  
6, 7 – листы упругоподатливого материала

С развитием деформирующей нагрузки во времени, т.е. с вертикальными и горизонтальными перемещениями грунта по отношению к монолитной стене углового типа, после ее установки, происходит постепенное проникновение грунта 5 в пустоты 3. Преждевременное заполнение пустот предотвращается листами упругоподатливого материала 6,7.

Постановка задачи исследований заключается в создании адекватной, статистически значимой модели регрессии.

Для выбора оптимального конструктивного решения подпорной стены специального типа планируется учитывать несколько факторов, которые оказывают существенное влияние на напряженно-деформированное состояние конструкции и основания.

Рассматриваемые факторы разделены на две группы: статические, связанные с геометрическими параметрами ПССТ и геологические, соответствующие грунтовым условиям при устройстве конструкции [6]. Наиболее значимые факторы, непосредственно влияющие на объект исследования:

контактная площадь опорных призматических участков  $S$ , м<sup>2</sup>;

объем полостей  $V$ , м<sup>3</sup>;

угол резанья  $\alpha$ , градус;

вид грунта (в виде удельного сцепления  $c$ , кПа);

несущая способность основания  $R$ , МПа.

Все выделенные факторы удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям, основными из которых являются управляемость, однозначность и операциональность [7,8].

Выбор основного уровня факторов осуществляем на основании области определения, а также устанавливаем интервал варьирования табл. 1.

Таблиця 1

Уровни и интервалы варьирования			
Фактор	Область определения	Интервал варьирования	Уровни
$X_1$ - контактная площадь опорных призматических участков, м <sup>2</sup>	0,09–0,36	0,135	0,09
			0,225
			0,36
$X_2$ - объем полостей, м <sup>3</sup>	0,014–0,216	0,101	0,014
			0,115
			0,216
$X_3$ - угол резания, град.	30–90	30	30
			60
			90
$X_4$ - вид грунта (в виде удельного сцепления $c$ , кПа)	0–50	15	0
			15
			30
$X_5$ – несущая способность основания, МПа	0,1–0,6	0,25	0,1
			0,35
			0,6

При выборе матрицы плана принималось во внимание критерии оптимальности и число опытов [9]. В данном случае планируется использовать дробный факторный эксперимент с планом дробной реплики типа  $2^{5-2}$  с разрешающей способностью III табл. 2.

Таблиця 2

Матрица планирования  $2^{5-2}_{III}$ 

Номер опыта	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
1	+	+	+	+	+	+
2	+	–	–	+	–	–
3	+	+	+	–	–	+
4	+	–	+	–	+	–
5	+	+	+	+	–	–
6	+	–	–	+	+	+
7	+	+	–	–	+	–
8	+	–	+	–	–	+

Зададим следующие генерирующие соотношения

$$X_4 = X_1 \cdot X_3; X_5 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (1)$$

Для определения смешанных эффектов данной реплики установим определяющие контрасты

$$1 = X_1 \cdot X_3 \cdot X_4; 1 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_5; 1 = X_2 \cdot X_4 \cdot X_5. \quad (2)$$

Тогда обобщающий определяющий контраст

$$1 = X_1 \cdot X_3 \cdot X_4 = X_2 \cdot X_4 \cdot X_5 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_5. \quad (3)$$

Исходя из этого, получим коэффициенты линейного уравнения (коэффициенты регрессии)  
 $b_1 \rightarrow \beta_1 + \beta_{34} + \beta_{1245} + \beta_{235}$ ;  $b_2 \rightarrow \beta_2 + \beta_{1234} + \beta_{45} + \beta_{135}$ ;  $b_3 \rightarrow \beta_3 + \beta_{14} + \beta_{2345} + \beta_{125}$ ;  
 $b_4 \rightarrow \beta_4 + \beta_{13} + \beta_{25} + \beta_{12345}$ ;  $b_5 \rightarrow \beta_5 + \beta_{1345} + \beta_{24} + \beta_{123}$ ;  $b_{12} \rightarrow \beta_{12} + \beta_{234} + \beta_{145} + \beta_{35}$ ; (4)  
 $b_{15} \rightarrow \beta_{15} + \beta_{345} + \beta_{124} + \beta_{23}$ .

Получена довольно сложная система смешивания линейных эффектов с эффектами взаимодействия первого, второго, третьего и четвертого порядков.

Если, например, коэффициенты  $b_{12}$  и  $b_{15}$  отличаются от нуля, то возникают сомнения, можно ли пренебрегать другими парными взаимодействиями, с которыми смешаны линейные эффекты.

Тогда следует поставить вторую серию опытов, выбрав нужным образом другую  $1/4$  - реплику.

При этом можно использовать метод «перевала». Смысл этого метода заключается в том, что вторая четверть-реплика получается из первой путем изменения всех знаков матрицы на обратные.

Тогда в обобщающем определяющем контрасте тройные произведения имеют знак, противоположный их знаку в первой четверть-реплике.

Тройные произведения определяют парные взаимодействия в совместных оценках для линейных эффектов.

Усредняя результаты обеих четверть-реплик, получаем линейные эффекты, не смешанные с парными взаимодействиями.

Обработка результатов эксперимента и определение коэффициентов регрессии определяется с помощью метода наименьших квадратов [10-] согласно формул

$$b_0 = \sum_{i=1}^n Y_i / n; b_j = \sum_{i=1}^n X_{ij} Y_i \cdot / n, \quad (5)$$

где  $b_0$  - свободный коэффициент модели регрессии;  $b_j$  - коэффициенты модели регрессии  $j=1,2,\dots,5$ ,  $Y_i$  - среднее значение функции отклика в каждом отдельном опыте;  $X_{ij}$  - кодированное значение фактора по каждому отдельному опыту.

Исходя из этого, модель регрессии будет иметь вид

$$\bar{Y}_x = b_0 - b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_4 \cdot X_4 + b_5 \cdot X_5 \quad (6)$$

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Полученное уравнение позволит уменьшить количество экспериментов и определить максимальную нагрузку на удерживаемый конструкцией грунт (функция отклика) с учетом оптимального сочетания значимых факторов.

Полученные значения факторов позволят оптимизировать конструктивное решение подпорной стены специального типа для применения в конкретных условиях эксплуатации.

#### Список литературы

1. **П.І. Кривошеєв.** Науково-технічні проблеми координації дій щодо захисту будівель, споруд і територій зі складними інженерно-геологічними умовами. - "Будівництво України" № 6, 2001 р., С. 16-19.
2. **Монтгомери Д.К.** Планирование эксперимента и анализ данных. // **Д.К. Монтгомери** -Л.: Судостроение, 1980.-384 с.
3. **Адлер Ю.П.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений. // **Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский.** - М.: Наука, 1976. - 276 с.
4. **Адлер Ю.П.** О принятии решений в неформализованных ситуациях. // **Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова** // Методологические проблемы кибернетики - М.: Наука, 1970. Т.2. - С. 35-40.
5. Підпірна стінка : патент 62715 / **Вілкул Ю.Г., Тимченко Р.О., Крішко Д.А., Дмитрієва К.Ю., Бондар Ю.М.** ; власник патенту Криворізький технічний університет. - № 200305 ; заявл. 08.05.2003 ; опубл. 15.12.2003, Бюл. № 12.
6. **Ершова Н.М.** Обработка данных средствами Excel при планировании эксперимента / **Н.М. Ершова, В.Н. Деревянко, Р.А.Тимченко, О.В. Шаповалова.** - Дніпропетровськ: ПГАСА, 2012. - 351 с.
7. **Барабашук В.И.** Планирование эксперимента в технике / **В.И. Барабашук, Б.П. Креденцер, В.И. Мирошниченко.** - К.: Техніка, 1984. - 200 с.
8. **Зергенідзе И.Г.** Применение математических методов для исследования многокомпонентных систем. / **И.Г. Зергенідзе.** - М.: Металургия, 1974. - 310 с.
9. **Ершова Н.М.** Системный анализ в материаловедении: Конспект лекций / **Н.М. Ершова.** - Дніпропетровськ: ПГАСА, 2008. -62 с.
10. **Ершова Н.М.** Методика планирования и проведения эксперимента при обработке данных средствами Excel / **Н.М. Ершова** // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. - Дніпропетровськ: ПДАБ-таА, 2009. - № 2. - С. 7-18.
11. **Ершова Н.М.** Дисперсионный анализ данных наблюдений с помощью пакета анализа приложения Excel / **Н.М. Ершова** // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. - Дніпропетровськ: ПДАБ-таА, 2009. - № 3. - С. 10-20.
12. **Гарькина И.А.** Математические методы синтеза строительных материалов / **И.А. Гарькина, А.М. Данилов, А.П. Прошин.** - Пенза: ПГАСА, 2001. - 106 с.
13. **Ершова Н.М.** Реализация в среде электронных таблиц методов корреляционно-регрессионного анализа и прогнозирования / **Н.М. Ершова.** - Днепропетровск: ПГАСА, 2002. - 50 с.
14. **Ершова Н.М.** Кореляционный анализ данных наблюдений: Методические указания и задания / **Н.М. Ершова.** - Днепропетровск: ПГАСА, 2008. - 56 с.
15. **Ершова Н.М.** Дисперсионный анализ данных наблюдений: Методические указания и задания / **Н.М. Ершова, Ю.А. Гнатовская.** - Днепропетровск: ПГАСА, 2009. - 73 с.

Рукопись поступила в редакцию 04.02.15

УДК 622 – 032. 35: 502. 7

О.І. ПОВЗУН, канд. техн. наук, доц., О.С. ПАРФЕНЮК, д-р техн. наук, проф.,  
С.О. ВІРИЧ, канд. техн. наук, доц.,  
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»,  
С.В. КОНОНИХІН, канд. техн. наук, доц.,  
Красноармійський індустріальний інститут  
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»,  
В.Г. СМОЛЯГА, аспірант, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

## В'ЯЖУЧЕ ДЛЯ УКРІПЛЕННЯ ГОРІЛИХ ПОРІД ШАХТНИХ ТЕРИКОНІВ В ОСНОВАХ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ

Вивчено процеси структуроутворення в кам'яновугільних в'язучих, модифікованих відходами полістиролу (полістирольним пилом). Показано, що зростання ефективної в'язкості та температури розм'якшення модифікованих до 1% полістирольним пилом кам'яновугільних в'язучих при температурі 25 °С не залежить від в'язкості вихідного середовища, що модифікується. Зростання відносної в'язкості модифікованого кам'яновугільного в'язучого з масовою концентрацією полістирольного пилу до 6% прямо пропорційне кількості введеного полімеру. При вмісті понад 6% полістирольного пилу ступінь посилення в'язучого різний: він тим більший, чим вища умовна в'язкість вихідного середовища, що модифікується. Концентраційні залежності еластичності і розтяжності модифікованих кам'яновугільних в'язучих при температурі 0 °С свідчать про суттєвий вплив вихідного середовища на їхні властивості. Для рідкого вихідного кам'яновугільного середовища з концентрацією полімеру до 4% за масою спостерігається лінійна залежність умовної в'язкості від неї. Зі зниженням умовної в'язкості вихідного кам'яновугільного середовища та з підвищенням концентрації відходів полістиролу в ньому коефіцієнти температурочутливості бетонів на еквів'язких модифікованих полістиролом кам'яновугільних в'язучих суттєво зменшуються. Коефіцієнт водостійкості при тривалому водонасиченні є досить низьким, але за умов відсутності постійного впливу атмосферних опадів є достатнім. Характерно, що модифікація кам'яновугільних речовин полістирольним пилом призводить до зниження оптимального вмісту в'язучого в органополімергорілопородній суміші.

**Ключові слова:** транспортний процес, руйнування, міцність, зсувостійкість, горілі породи, в'язуче, полістирол.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Основними тенденціями розвитку сучасного транспортного процесу є зростання об'єму перевезень, швидкості руху, збільшення навантажень на вісь транспортних засобів, що супроводжується підвищенням вимог до якості автомобільних доріг. Більшість доріг в Україні було розраховано на навантаження групи Б - 60 кН на вісь, а групи А - 100 кН на вісь. За останні роки автомобільні перевізники з метою зменшення собівартості перевезень застосовують транспортні засоби, що мають навантаження 115 кН і навіть 130 кН на вісь [1]. Зазначене збільшення автомобільних навантажень на дорожні одяги викликає скорочення терміну їхньої служби у 2-4 рази [2]. Тому більша частка мережі автомобільних доріг України вже давно потребує капітального ремонту.

Оцінка якості автомобільної дороги містить: міцнісну характеристику окремих конструктивних шарів і всієї конструкції в цілому; відповідність фізико-механічних властивостей матеріалів шарів дорожнього одягу та технології їх влаштування, а також їхніх геометричних параметрів проекту.

Сучасні дослідження зміни міцності дорожнього одягу в залежності від часу експлуатації доводять, що модель деградації міцності конструкції дорожнього одягу після тривалого періоду має тенденцію стрімкого погіршення [1], [3-5].

Концепція «вічних» нежорстких дорожніх одягів або одягів з довгою тривалістю життя [6], [7], що розвивається в останні роки, базується на удосконаленні конструкцій, технології і використання матеріалів високої якості.

Передчасне руйнування доріг найчастіше пов'язане з недостатньою жорсткістю та зсувостійкістю основи: навесні та восени утворюються тріщини в асфальтобетонному покритті, а влітку під час різкого зниження жорсткості - просадки через підвищення напружень зсуву у підстильних шарах.

Забезпечення необхідної міцності дорожнього одягу є однією з найважливіших проблем при проектуванні, будівництві і експлуатації автомобільних доріг. З міцністю дорожнього одя-

гу безпосередньо пов'язана її рівність, що є важливим транспортно-експлуатаційним показником.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Розрахунок на міцність дорожнього одягу нежорсткого типу [8] умовно розділяють на два етапи [9]:

розрахунок на довговічність через сумарну кількість проїздів транспортного засобу з розрахунковим навантаженням;

розрахунок на міцність від одиничного, максимально можливого розрахункового навантаження.

Розрахунок на міцність від одиничного навантаження виконують:

За допустимим пружним прогином.

За умови зсувостійкості земляного полотна і шарів.

На розтяг при згині шарів з монолітних матеріалів.

У кожному з цих випадків приймають свій критерій граничного стану [5], [8], [10].

Основний параметр, за яким оцінюється фактичний транспортно-експлуатаційний стан автомобільних доріг, - це міцність дорожньої конструкції [11]. Міцність дорожньої конструкції - це характеристика її несучої здатності. Наразі конструкції існуючих автомобільних доріг прийнято оцінювати за еквівалентним (фактичним) модулем пружності [11], який обчислюють через значення максимального прогину конструкції за прикладення навантаження [12].

Головним критерієм міцності дорожнього одягу нежорсткого типу, починаючи з 60 років минулого століття, є їхній опір пружному прогину дорожньої конструкції [13].

Як відомо, дорожня основа спільно з земляним полотном є своєрідною опорою або фундаментом для асфальтобетонного покриття. Тому воно повинно мати цілком певні значення міцнісних і деформативних властивостей з тим, щоб, по-перше, величини виникаючих прогинів дорожнього одягу від транспортних навантажень не перевищували допустимі і, по-друге, щоб ці прогини були пружними, тобто щоб не відбувалось накопичення залишкових деформацій в основі.

Дорожня основа в готовому вигляді (перед укладанням шарів асфальтобетонного покриття) має бути у деякому розумінні плитою певної жорсткості з високою розподільчою здатністю і достатньою міцністю на стиск, зсув і розтяг при вигині, щоб при рівномірній передачі зусиль від автотранспортних засобів на нижче розташовані шари і земляне полотно в останніх теж не виникало і не накопичувалось залишкових деформацій [14].

Найпоширенішому типові дорожньої основи - щебеневій основі - надано статус несучого шару дорожнього одягу [15]. Потрібна міцність дорожнього одягу забезпечується жорсткістю щебеневої основи, яка має бути не меншою за розрахункову.

Показник жорсткості щебеневої основи - модуль пружності (який є розрахунково - нормативною характеристикою конструктивного шару) - встановлюється за результатами пошарових випробувань жорстким штампом.

Щебеневі шари в конструкціях дорожніх одягів внаслідок низької зв'язності мають деформації стиску та зсуву і незалежно від терміну експлуатації зберігають пухкий стан та легко розбираються. Руйнування таких шарів може відбуватися в результаті розвитку незворотніх деформацій стиску і зсуву.

Під зсувостійкістю прийнято розуміти експлуатаційну властивість матеріалу чинити опір незворотньому пластичному деформуванню за багаторазових прикладень навантажень від колеса автомобіля [16].

Одним зі шляхів розв'язання проблеми економії дефіцитних і дорогих природних кам'яних матеріалів є використання місцевих матеріалів та відходів промисловості. Для вуглевидобувних районів таким відходом можуть бути горілі породи шахтних териконів.

Загальна маса відходів вуглевидобутку та вуглезбагачення на території України (за різними оцінками) становить до 4 млрд т [17]. У той самий час застосування ресурсного потенціалу відходів вугільного виробництва не перевищує 7 % [17]. Накопичення банку петрографічної і мінералогічної інформації про відвальні шахтні породи може сприяти створенню нових матеріалів та підвищенню їхнього використання в будівництві [18].

Процеси горіння в териконах призводять до термальних перетворень і плавленню вихідних осадових порід, що сприяє набору їхньої міцності. Карбонатні осадові породи (вапняки, сидерити, анкерити, доломіти) і продукти їх перетворення є звичайними компонентами териконів ву-

гільних шахт різних регіонів світу [19-21], які добре взаємодіють з органічними в'язучими речовинами.

Досвід будівництва та експлуатації дорожніх одягів з основами з укріплених кам'яних матеріалів свідчить про вагому їхню перевагу перед основами зі щебню, а також показує більшу техніко-економічну перспективність дорожніх одягів з конструктивними шарами з таких матеріалів. Конструктивні шари з них мають значно більшу здатність до сприйняття зовнішніх навантажень.

У роботі [22] показано доцільність укріплення горілих порід шахтних териконів кам'яновугільним в'язучим, модифікованим відходами виробництва полістиролу, для влаштування основ дорожніх одягів.

**Постановка завдань.** Дорожні одяги з основами зі щебню або гравію мають значні прогини, особливо навесні, що на дорогах з інтенсивним рухом автомобілів великого навантаження призводить до підвищення розтягувальних навантажень у нижній частині шару покриття і передчасному втомленому руйнуванню асфальтобетону. Крім того, щебінь (гравій) в основі підлягає стиранню внаслідок взаємного переміщення зерен при деформаціях.

Застосування в основах горілопородних сумішей, укріплених органічною в'язучою речовиною, дозволить одержати «монолітну плиту», яка працюватиме у пружній стадії навіть за зниження несучої здатності підстильного шару або ґрунту земляного полотна.

*Метою даної роботи є* вивчення структуроутворення в кам'яновугільних в'язучих, модифікованих відходами виробництва полістиролу (полістирольним пилом), і встановлення їхньої оптимальної концентрації в них для одержання щебеневої основи з горілих порід шахтних териконів підвищеної міцності та зсувостійкості, а також зниженої температурної чутливості органополімергорілопородних бетонів після її укріплення таким в'язучим.

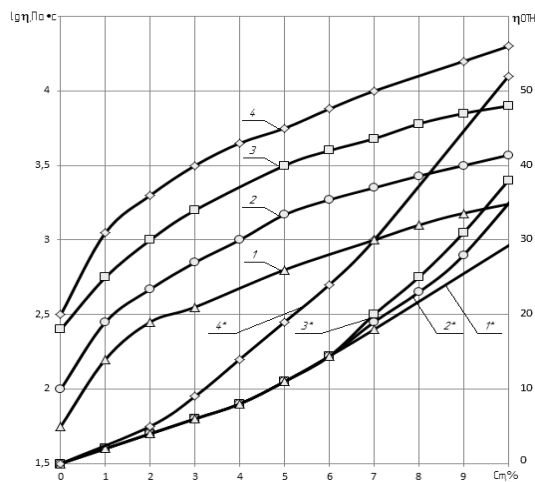
*Завданнями досліджень є* виявлення і аналіз концентраційних залежностей полістирольного пилу умовної, ефективної і відносної в'язкості, температури розм'якшення, еластичності та розтяжності (дуктильності) при 0°C модифікованого полістиролом в'язучого.

**Викладення матеріалу та результати.** Як об'єкти досліджень було прийнято:

1. Горіла порода згаслого терикону шахти № 6 «Червона зірка» (м. Донецьк).
2. Середовище, що модифікується, - кам'яновугільні дьогті з умовною в'язкістю 47 с, 100 с, 200 с по  $C_{30}^{10}$  та 18 с по  $C_{50}^{10}$ , де 10 - діаметр стічного отвору, мм; 30 або 50 - температура витікання 50 мл органічного рідкого в'язучого на стандартному віскозиметрі, °C.

Полімер - відходи виробництва полістиролу (ПС) - полістирольний пил (ВАТ «Концерн «Стирол», м. Горлівка Донецької області) - відхід хімічної промисловості; порошок білого кольору з розміром частинок менш за  $6,3 \cdot 10^{-5}$  м.

Зростання ефективної в'язкості модифікованих до 1 % полістирольним пилом в'язучих при температурі 25°C не залежить від марки вихідного кам'яновугільного дьогтю (рис. 1).



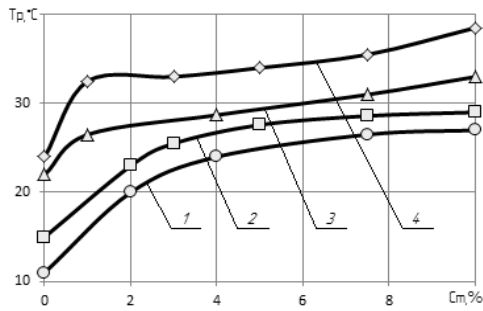
**Рис. 1.** Залежність ефективної  $\eta$  і відносної  $\eta_{отн}$  в'язкостей модифікованих кам'яновугільних в'язучих від масової концентрації полістирольного пилу  $C_m$  при напруженні зсуву 1000 Па та температурі 25°C: 1,2,3,4 - ефективна в'язкість та 1\*,2\*,3\*,4\* - відносна в'язкість на кам'яновугільних дьогтях в'язкістю  $C_{30}^{10} = 47$  с;  $C_{30}^{10} = 100$  с;  $C_{30}^{10} = 200$  с;  $C_{50}^{10} = 18$  с відповідно

Ефективна в'язкість модифікованого в'язучого з концентрацією полімеру понад 1 % стабілізується.

Це свідчить про суттєвий внесок вихідного середовища до загального в'язкого опору системи, що також підтверджують залежності, що представлені на рис. 2.

Зростання відносної в'язкості модифікованого кам'яновугільного в'язучого з масовою концентрацією полістирольного пилу до 6 % прямо пропорційне кількості введеного полімеру.

При вмісті понад 6 % полістирольного пилу ступінь посилення в'язучого різний: він тим більший, чим вища умовна в'язкість вихідного середовища, що модифікується.

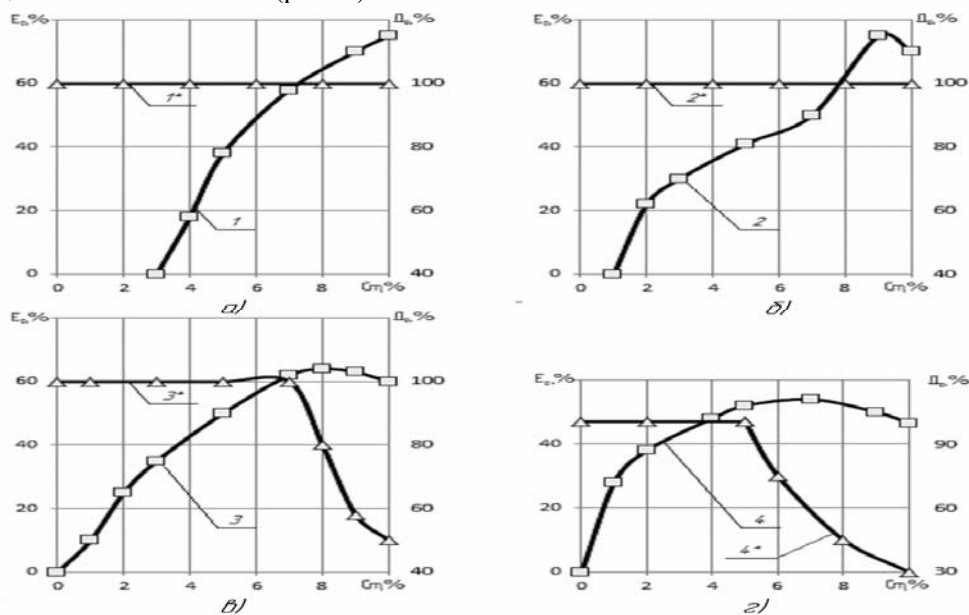


**Рис. 2.** Залежність температури розм'якшення  $T_p$  модифікованих кам'яновугільних в'язучих від масової концентрації полістирольного пилу  $C_m$  на кам'яновугільних дьогтях в'язкістю  $C_{30}^{10}=47$  с;  $C_{30}^{10}=100$  с;  $C_{30}^{10}=200$  с;  $C_{30}^{10}=18$  с відповідно

Збільшення вмісту полімеру в системах 1,2,3 понад 6 %, а в системі 4 понад 2 % приводить до перенасичення розчину полімеру у вуглеводневому середовищі. Набряклі частинки полістиролу, що виділяються з розчину, є додатковими центрами сольватації вихідного кам'яновугільного середовища. Це сприяє

зростанню кількості вузлів зшивання у просторовій сітці, що формується. Системи зміцнюються: відносна в'язкість інтенсивно зростає, температура розм'якшення підвищується, а розтяжність і еластичність при  $0^\circ\text{C}$  таких в'язучих знижується внаслідок наявності неоднорідностей в системі, а також зменшення довжини ефективного еластичного відрізка. Слід зауважити, що в системі 4 (в'язкість вихідного середовища  $C_{50}^{10}=18$  с) вже при понад 2 % полістирольного пилу спостерігається непропорційне зростання відносної в'язкості модифікованої полімером системи.

Концентраційні залежності еластичності і дуктильності (розтяжності) модифікованих кам'яновугільних в'язучих при температурі  $0^\circ\text{C}$  також свідчать про суттєвий вплив вихідного середовища на їхні властивості (рис. 3).



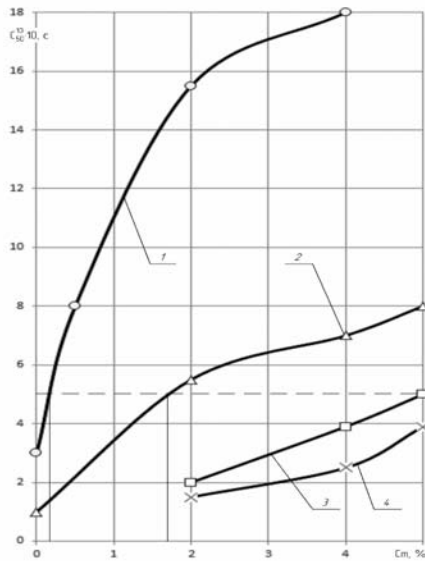
**Рис. 3.** Залежність еластичності  $E_0$  і дуктильності  $D_0$  модифікованих кам'яновугільних в'язучих від масової концентрації полістирольного пилу  $C_m$  при температурі  $0^\circ\text{C}$ : 1,2,3,4 – еластичність та  $1^*$ ,  $2^*$ ,  $3^*$ ,  $4^*$  – дуктильність на кам'яновугільних дьогтях в'язкістю  $C_{30}^{10}=47$  с;  $C_{30}^{10}=100$  с;  $C_{30}^{10}=200$  с;  $C_{30}^{10}=18$  с відповідно

Так, максимум еластичності (77 %) модифіковане в'язуче на вихідному середовищі в'язкістю  $C_{30}^{10}=47$  с досягає при 10 % за масою полістирольного пилу; для в'язкості  $C_{30}^{10}=100$  с  $E_0=74$  % - при 9 %; для в'язкості  $C_{30}^{10}=200$  с  $E_0=62$  % - при 7 %; для в'язкості  $C_{30}^{10}=18$  с  $E_0=52$  % - при 5 % полістиролу.

За зазначених концентрацій полімер має найбільшу гнучкість ланцюгів між вузлами сітки. У реалізованому діапазоні швидкостей деформування границю міцності зсуву і аномалію в'язкості модифікованих в'язучих при  $25^\circ\text{C}$ , що характеризує наявність просторової сітки, яка обумовлює еластичність та експлуатаційні властивості композиції в області позитивних температур, не виявлено. Просторова сітка формується лише за пониження температури до  $0^\circ\text{C}$ .

Зі значеннями ефективною і відносної в'язкостей модифікованих в'язучих (рис. 1) узгоджуються величини їхніх умовних в'язкостей (рис. 4).





**Рис. 4.** Залежність умовної в'язкості по  $C_{50}^{10}$  модифікованого кам'яновугільного в'язучого від масової концентрації полістирольного пилю  $C_m$  на кам'яновугільних дьогтях в'язкістю:  $C_{30}^{10}=29$  с;  $C_{30}^{10}=250$  с;  $C_{30}^{10}=150$  с;  $C_{50}^{10}=50$  с відповідно

Як видно на рис. 4, для рідкого вихідного кам'яновугільного середовища з концентрацією полімеру до 4 % за масою спостерігається лінійна залежність умовної в'язкості від неї.

Властивості модифікованих кам'яновугільних в'язучих відбиваються на механічних властивостях бетонів з горілопородної суміші на їхній основі, в тому числі й на температурній чутливості.

Зі зниженням умовної в'язкості вихідного кам'яновугільного середовища та з підвищенням концентрації відходів полістиролу в ньому (табл.) коефіцієнти температурочутливості бетонів на еквів'язких модифікованих полістиролом

кам'яновугільних в'язучих ( $C_{50}^{10}=50$  с для всіх чотирьох в'язучих, рис. 4) суттєво зменшуються (табл. ).

Таблиця

Механічні властивості органополімергорілопородних бетонів

Склад модифікованого відходом полістиролу кам'яновугільного в'язучого умовно в'язкістю $C_{50}^{10}=50$ с в органополімергорілопородній суміші	Коефіцієнт водостійкості при тривалому водонасиченні	Коефіцієнт температурної чутливості		
		$\frac{R_{20}}{R_{50}}$	$\frac{R_0}{R_{20}}$	$\frac{R_0}{R_{50}}$
Кам'яновугільний дьоготь $C_{50}^{10}=29$ с + 0,3 % полістиролу	0,65	3,6	3,4	12,4
Кам'яновугільний дьоготь $C_{30}^{10}=250$ с + 1,8 % полістиролу	0,66	3,5	3,3	11,6
Кам'яновугільний дьоготь $C_{30}^{10}=250$ с + 1,8 % полістиролу	0,67	3,4	3,2	11,2
Кам'яновугільний дьоготь $C_{30}^{10}=250$ с + 1,8 % полістиролу	0,68	3,1	3,1	10,3

Коефіцієнт водостійкості при тривалому водонасиченні є досить низьким, але за умов відсутності постійного впливу атмосферних опадів є достатнім.

Характерно, що модифікація кам'яновугільних речовин полістирольним пилом призводить до зниження оптимальної витрати в'язучого в органополімергорілопородній суміші. Наприклад, оптимальний вміст кам'яновугільного дьогтю з умовною в'язкістю  $C_{30}^{10}=50$  с становив 7,7 %, а оптимальний вміст модифікованого полістирольним пилом кам'яновугільного в'язучого - 6,5 % за масою.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Для виробництва кам'яновугільного в'язучого, модифікованого відходами виробництва полістиролу, як середовище, що модифікується, доцільно приймати кам'яновугільні дьогті з умовною в'язкістю  $C_{50}^{10}=10-30$  с (враховуючи і досить високу вартість полістирольного пилю). Раціональний вміст полімеру в таких модифікованих кам'яновугільних в'язучих має бути 0,5-2,0 % за масою. В'язкість одержаних систем становить 80-160 с по  $C_{50}^{10}$ .

Малов'язкі кам'яновугільні в'язучі, у яких енергія теплового руху дисперсійного середовища ( $\gamma$ -фракція) дорівнює або більша за енергію зв'язку у вузлах макромолекулярної сітки, утвореної за рахунок механічного зачеплення і переплетіння надмолекулярних структур полістиролу, слід зміцнювати ліофільними активними дисперсними наповнювачами.

Адсорбційна взаємодія полімерних молекул з твердими наповнювачами на границі розділу фаз зменшить рухливість макроланцюгів, що, очевидно, призведе до зміцнення системи.

## Список літератури

1. **Мозговой В.В.** Прогрессивные технологии капитального ремонта дорожных одежд / **В.В. Мозговой, А.Е. Мерзликин, Л.А. Мозговая** и др. // Дорожная техника. – 2007. – С. 126 – 139.
2. **Ольховий Б.Ю.** Проектування асфальтобетонних шарів підсилення при капітальному ремонті автомобільних доріг з врахуванням існуючого стану дорожнього одягу / **Б.Ю. Ольховий, О.М. Куцман, О.В. Прудкий** та ін. // Вісник ДонНАБА, 2010. – № 1 (81). – С. 174 - 180.
3. **Гамеляк І.П.** Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу: дис. на здобуття доктора техн. наук / **І.П. Гамеляк** – К.: 2005. – 550 с.
4. **Гамеляк І.П.** Про сезонне обмеження руху на автомобільних дорогах / **І.П. Гамеляк, Г.О. Решетнік** // Автошляховик України, 2007. - № 2. – С. 28 – 32.
5. **Радовский Б.С.** Проблемы механики дорожно – строительных материалов и дорожных одежд / **Б.С. Радовский** . – К.: ООО «ПолиграфКонсалтинг», 2003. – 240 с.
6. *Chaussees a lonGue de vie et cos de reussite // Rappot du Comite Technique 4.3 sur Chaussees Routieres AIPCR, 2007. – 42 p.*
7. **Радовский Б.С.** Концепция вечных дорожных одежд / **Б.С. Радовский** // Дорожная техника. – 2011. - 8.
8. **Споруди транспорту: Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В.2.3.-218-186-2004.** Офіц. вид. – К.: Укравтодор. – 2004. – 176 с.
9. **Богомолов В.О.** Щодо критеріїв міцності для дорожніх одягів нежорсткого типу / **В.О. Богомолов, В.К. Жданюк, С.В. Богомолов** // Автошляховий України. – 2011. - № 6 (223). – С. 29 – 33.
10. **Потапова Л.Б.** Механика материалов при сложном напряженном состоянии. Как прогнозируют предельные напряжения ? / **Л.Б. Потапова, В.П. Ярцев.** – Изд – во «Машиностроение – 1», 2005. – 244 с.
11. **Новаковський Д.М.** Оцінка методів визначення параметрів дорожньої конструкції, які характеризують її несучу здатність / **Д.М. Новаковський, І.В. Княшко** // Вестник ХНАДУ, 2006. – вып. 34-35.
12. **Приймак Н.В.** Взаимосвязь параметров упругости конструкций дорожной одежды с характеристиками кривой чаши прогибов / **Н.В. Приймак, В.Н. Ряпухин** // Вестник ХНАДУ, 2006. – вып. 34-35.
13. **Золотарев В.А.** О расчетных значениях модулей упругости асфальтобетонов / **В.А. Золотарев** // Вісник ДонНАБА. – 2010. - № 5 (85). – С. 73 – 78.
14. **Костельов М.П.** Опыт фирмы «ВАД» по устройству плотных, прочных и жестких щебеночных дорожных оснований / **М.П. Костельов, Д.В. Пахаренко** // Дорожная техника. – 2006. – С. 12-23.
15. **Салль А.О.** Возможности и пути повышения качества щебеночных оснований / **А.О. Салль** // Дорожная техника. – 2002.
16. **Кирюхин Г.Н.** Сдвигоустойчивость щебеночно - мастичного асфальтобетона / **Г.Н. Кирюхин** // Вестник ХНАДУ, 2008. – вып. 40.
17. **Уханева М.И.** Химическая оценка отходов угледобычи / **М.И. Уханева, Э.Б. Хоботова** // Вісник Харківського національного університету: серія «Хімія». – 2010. - № 895. – вип. 18 (41). – С. 260 - 268.
18. **Парфенюк А.С.** Альтернативное решение проблемы твердых отходов / **А.С. Парфенюк, С.И. Антонюк, А.А. Топоров** // Энерготехнологии и ресурсосбережение, 2002. - № 4. – С. 36 – 41.
19. **Žáček V.** Ca-Fe<sup>3+</sup>- rich Si-undersaturated buchite from Zelénky, North-Bohemian brown coal basin, Czech Republic / **V. Žáček., R. Skála, M. Chlupáková, Ž. Dvorák** // European Journal of Mineralogy, 2005. - Vol. 17. - pp. 623 - 633.
20. **Dokoupilová P.** The mineral assemblages at the abandoned burning spoil-heaps in the Rocice-Oslavany coal field, Czech Republic / **P. Dokoupilová, S. Houzar, J. Seikora** // Acta Mus. Moraviae, Ski. geol., 2010. - Vol. 95. - no. 1. - pp. 121-140.
21. **Sharygin V.V.** Mineralogy of Car-rich metacarbonate rocks from burned dumps of the Donetsk coal basin / **V.V. Sharygin** // In: Proceedings of "ICCFR2 - Second International Conference on Coal Fire Research". - Berlin, 2010. - pp. 162-170.
22. **Повзун О.І.** Горілі породи, укріплені кам'яновугільним в'язучим, – ефективний конгломерат в основах автомобільних доріг / **Повзун О.І., Вірич С.О., Кононіхін С.В.** // Вісник КНУ. – Кривий Ріг, 2015. – Вип. 39. – С. 8-13.

Рукопис подано до редакції 08.04.16

УДК 622.271.4.012.3

Е.А. НЕСМАШНЫЙ, д-р техн. наук, проф., Г.И. ТКАЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.,  
Криворожский национальный университет  
А.В. БОЛОТНИКОВ, канд. техн. наук, Академия горных наук Украины

### РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ УЧАСТКА ВОСТОЧНОГО БОРТА КАРЬЕРА ПАО «ИнГОК» В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТОЙ ТОЛЩЕ

Анализ информации о нормативных и расчетных показателях значений сопротивлению срезу песчано-глинистых пород восточного борта и результаты визуальных осмотров участков борта позволили систематизировать и выбрать показатели прочностных свойств пород месторождения, которые были использованы в геомеханических расчетах при оценке степени устойчивости. Выполнен расчет устойчивости участка восточного борта карьера ПАО «ИнГОК» в песчано-глинистой толще на основании анализа текущего состояния откосов. Для предотвращения опасных деформаций на участках восточного борта карьера сложенных песчано-глинистыми породами были выполнены

проверочные расчеты устойчивости в положении планируемом после проведения восстановительных горных работ. За базовые характеристики прочностных свойств песчано-глинистых пород приняты показатели, полученные в результате выполненных обратных расчетов по участку наблюдаемых деформаций, а также учтена вероятность снижения молекулярного сцепления в нижней части вероятной поверхности скольжения в результате значительного обводнения песчано-глинистых пород. Разработаны рекомендации и мероприятия по стабилизации деформаций участка восточного борта карьера расположенного в песчано-глинистой толще (гор. -15÷+40, м.о. 66-72). Ввиду значительной обводненности слоя песков в районе восточного борта рекомендовано выполнить частичную выемку песков с последующей пригрузкой скальной массой, которая помимо удерживающего эффекта также будет выполнять и дренирующую функцию.

**Ключевые слова:** расчетные показатели, прочностные породы, песчано-глинистые породы.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Геомеханическое обеспечение безопасности открытых горных работ с минимальными затратами на проведение вскрышных работ и одновременным обеспечением достаточной степени устойчивости бортов разрабатываемых карьеров, является приоритетным в общем объеме задач, направленных на обеспечение экономической эффективности добычи железорудного сырья.

Одним из основных факторов ограничивающих, с геомеханической точки зрения, генеральные углы наклона бортов карьеров, является значение прочностных свойств пород слагающих данные борта. В настоящее время для определения значения прочностных свойств пород проводятся специальные исследования, направленные на определения пределов прочности образцов пород с последующим расчетом угла внутреннего трения и сцепления для каждой из выделенной группы пород [1,5,6]. Классификации и структурирование значительных объемов инженерно-геологической информации дает возможность прогнозировать реакцию породного массива на различные техногенные воздействия.

Анализ исследований и публикаций. Восточный борт карьера сформирован весьма неудачно с точки зрения геомеханического обеспечения его устойчивости. Так на всем протяжении восточный борт пригружен дамбой, высотой 30-60 м, для защиты от возможных паводков на р. Ингулец, при этом северная часть борта карьера непосредственно примыкает к ярусам внешнего отвала № 3.

При этом песчано-глинистые породы восточного борта характеризуются значительной обводненностью, которая формируется за счет водоносного горизонта аллювиальных отложений. Источником питания этого горизонта является инфильтрация атмосферных осадков и подрусловый поток р. Ингулец. Все это приводит к оползневым процессам, вследствие которых ярусы отвала № 3 и уступы восточного борта, в границах профильных линий 63+00÷78+00 и 38+00÷42+00, оказываются сильно деформированными. Для ликвидации негативных последствий данных оползней широко применяется метод пригрузки песчано-глинистых уступов и ярусов скальной вскрышей для создания контрфорсов. Вследствие проведения таких работ значительная часть уступов восточного борта на граничном контуре представляет собой конгломерат разрушенных скальных и полускальных пород различной крупности и минерального состава.

Вследствие значительной обводненности песчано-глинистых пород восточного борта карьера на горизонтах -15 м, ±0 м наблюдаются многочисленные локальные деформации в виде оплывин, которые, не нарушая его устойчивости в целом, приводят к приостановке горных работ в связи с необходимостью проведения ремонтных работ на железнодорожных путях, перегрузочных пунктах и т.д.

Считается, что эти оплывины приурочены к районам влияния подруслового потока р. Ингулец. На горизонтах -15 м, ±0 м, +15 м в границах профильных линий 42+00÷58+00 с течением времени образовались значительные по площади заросли камыша.

На основании изложенного можно сказать, что устойчивое состояние песчано-глинистой толщи восточного борта Ингулецкого карьера достигло своего предельного состояния и дальнейшее увеличение его угла откоса невозможно без осуществления целого ряда мероприятий направленных на повышение, как прочностных параметров этих пород, так и степени устойчивости борта карьера в целом.

Анализ материалов геологоразведочных и доразведочных работ, проведенных на Ингулецком месторождении показывает, что накопленные сведения об инженерно-геологических условиях разработки месторождения, что необходимы для геомеханических расчетов степени устойчивости бортов карьера, недостаточны. Их объем и полнота существенно отстают от темпов

расширения границ открытых горных работ как по простиранию, та и по глубине. За последние 20-25 лет не было проведено ни одной комплексной научно-исследовательской работы по определению показателей физико-механических свойств пород месторождения.

На данном этапе можно говорить о имеющихся разрозненных данных, которые встречаются в ряде работ по разведке и доразведке Ингулецкого месторождения и отображающих, в основном, параметры продуктивной толщи месторождения [5-8]. Основываясь на анализе результатов, приведенных в этих работах, систематизированы и приведены в табл. 1 физико-механические свойства магнетитовых кварцитов и вскрышных пород Ингулецкого месторождения.

Таблица 1

Физико-механические свойства пород по рассматриваемым участкам

Группа пород	Объемный вес, Н/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Сцепление, МПа
Участок №1, Северный борт			
Мигматиты	27300	38,1	0,22
Железо-сланцевые	32700	34,5	0,26
ТХС	28800	18	0,10
Участок №2, Западный борт			
Мигматиты	27800	37,4	0,24
Железо-сланцевые	33200	31,7	0,23
ТХС	28800	18	0,10
Участок №3, Восточный борт			
Мигматиты	27200	35,7	0,62
Железо-сланцевые	28800	27,5	0,45
Участок №4, Юго-западный борт			
Мигматиты	27700	36,2	0,48 (0,16)*
Железо-сланцевые	31400	26,9	0,42 (0,16)*

\* - прочность по напластованию.

Анализ информации о нормативных и расчетных показателях значений сопротивления срезам песчано-глинистых пород восточного борта и результаты визуальных осмотров участков борта позволили систематизировать и выбрать показатели прочностных свойств пород месторождения, которые были использованы в геомеханических расчетах при оценке степени устойчивости.

**Постановка задачи.** Целью данной работы является оценка степени устойчивости участков восточного борта карьера в песчано-глинистой толще ПАО «ИнГОК», геометрические параметры которого определены соответствующими проектными решениями.

**Изложение материала и результаты.** На протяжении последнего года на восточном борту карьера ПАО «ИнГОК» проявлялись признаки деформационных процессов (трещины, заколы). Для оценки прочностных свойств пород на выделенных участках нами был использован метод обратных расчетов [2-4]. В большинстве случаев метод обратных расчетов для определения физико-механических свойств горных пород рекомендуется применять при оценке фактов, которые привели к нарушению устойчивости породного откоса, т.е. для установления реальных прочностных свойств горных пород в теле оползня.

Обратные расчеты по определению прочностных параметров песчано-глинистых пород выполнены для деформированных участков восточного борта карьера (гор. -15÷+40, м.о. 66-72). Расчеты проведены по инженерно-геологическому разрезу м.о. 68, который совпадает с центром нестабильного участка.

Высота и углы откоса рассматриваемых участков уже определены исходя из горнотехнических показателей, положенных в основу проектных решений, а также исходя из предварительных рекомендаций с учетом графика плоских откосов [3].

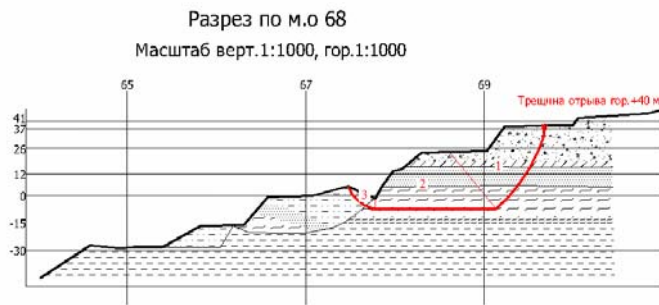
Руководствуясь методическими указаниями [6-8], для бортов карьера практически плоской или слегка выпуклой формы, в котором отсутствуют неблагоприятно ориентированные поверхности ослабления, необходимо использовать расчетные схемы V и VI. В случае наличия в лежачем боку борта карьера породных слоев крутого залегания, методическими указаниями [3] рекомендуется использовать схему X.

Таким образом, при расчете устойчивости временно нерабочих участков целесообразно использовать комбинацию выше указанных расчетных схем. При этом криволинейная поверхность сдвига строится, в верхней части призмы сдвига, с учетом наличия природных

или техногенных поверхностей ослабления, а в средней и нижней части поверхность сдвижения принимается близкой к круглоцилиндрической.

Форма поверхности скольжения в основании расчетных блоков установлена по результатам натуральных осмотров и инженерно-геологического строения рассматриваемого участка борта карьера.

Схема к данному обратному расчету приведена на рис. 1, а результаты выполненных обратных расчетов по определению прочностных свойств песчано-глинистых пород по сформировавшейся поверхности скольжения, приведены в табл. 2.



**Рис.1.** Схема к обратному расчету устойчивости деформированного участка восточного борта (гор. -15÷+40, м.о. 68)

В результате этих расчетов установлено, что по поверхности скольжения угол внутреннего трения песчано-глинистых пород составлял 18 град., а молекулярное сцепление - 40 кПа

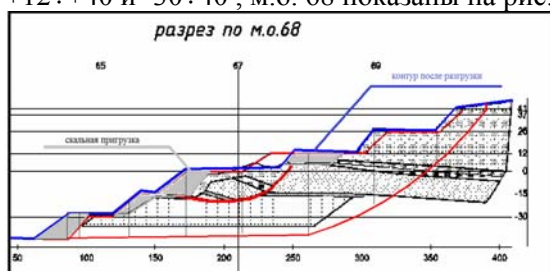
Таблица 2

Обратные расчеты по определению прочностных свойств песчано-глинистых пород по сформировавшейся поверхности скольжения на восточном борту Ингулецкого карьера (гор. -15÷+40, м.о. 68)

Номер блока	Объем, м <sup>3</sup> .	Длина дуги площадки, м	Наклон площадки, градус	Удельный вес, Н/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, градус	Сцепление, МПа	Силы удерживающие, Н	Силы сдвигающие, Н
1	1200	55	58	19000	18	0,04	6125731,505	19335496,59
2	1430	68	0	19000	18	0,04	11548068,15	0
3	50	20	40	19000	18	0,04	1647106,011	0
Итого по поверхности:							19320905,66	19335496,6
Коэффициент запаса устойчивости			1,00					

Для предотвращения опасных деформаций на участках восточного борта карьера сложенных песчано-глинистыми породами (гор. -15÷+40, м.о. 66÷72) были выполнены проверочные расчеты устойчивости в положении планируемом после проведения восстановительных горных работ.

За базовые характеристики прочностных свойств песчано-глинистых пород приняты показатели, полученные в результате выполненных обратных расчетов по участку наблюдаемых деформаций ( $\varphi=18^\circ$ ,  $C=40$  кПа), а также учтена вероятность снижения молекулярного сцепления в нижней части вероятной поверхности скольжения в результате значительного обводнения песчано-глинистых пород. Схемы к расчету устойчивости участка восточного борта карьера гор. +12÷+40 и -30÷+40, м.о. 68 показаны на рис. 2, а результаты выполненных расчетов в табл. 3.



**Рис. 2.** Схема к расчету устойчивости участка восточного борта (гор. -45÷+40, м.о. 68)

При возникновении трещин и заколов на поверхности борта рекомендуется следующий порядок ведения горных работ:

по скорректированным характеристикам прочности горных пород производят переоценку устойчивости борта на предельном контуре и ус-

танавливают в соответствии с результатами расчета его параметры;

численным расчетом определяют параметры рабочего борта с коэффициентом запаса устойчивости равным 1,15-1,2;

сконцентрировав горные работы в верхней части борта, оформляют рабочий борт по расчетному профилю;

контроль за деформациями на участке борта осуществляют с помощью маркшейдерских наблюдений по профилейным линиям;

при увеличении скоростей смещений реперов в районе заколов следует прекратить горные работы и сосредоточить усилия по разгрузке верхней части борта карьера.

Таблица 3

Результаты расчета устойчивости участка восточного борта (гор. -45÷+40, м.о. 68)

Номер блока	Объем, м <sup>3</sup>	Длина дуги площадки, м	Наклон площадки, град	Объемный вес, Н/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Сцепление, МПа	Силы удерживающие, сН	Силы сдвигающие, Н
1	603	50	46	19500	18	0,04	4653989,713	8458357,042
2	1680	56	35	19500	18	0,04	10959356,83	18790364,05
3	2275	53	25	19600	18	0,04	15250740,62	18844548,29
4	2330	48	4	19600	18	0,01	15282287,01	3185638,643
5	1850	42	4	19600	18	0,01	12172888,83	2529369,738
6	1395	42	4	22000	18	0,01	10367494,71	2140826,179
7	640	37	4	19600	18	0,01	4435864,243	875025,2066
8	340	34	4	28000	25	0,01	4768435,118	664081,63
Итого по поверхности:							77891057,07	55488210,78
Коэффициент запаса устойчивости			1,40					

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Полученные величины коэффициента запаса устойчивости 1,40-1,88 превышают нормативные показатели, а это свидетельствует о том, что реализация мероприятий по предотвращению деформационных процессов, позволит обеспечить устойчивое состояние участков восточного борта Ингулецкого карьера расположенных в песчано-глинистых породах.

Ввиду значительной обводненности слоя песков на гор. +6÷+12 м в районе восточного борта рекомендуется выполнить частичную выемку песков (гор. +6÷+12 м) с последующей пригрузкой скальной массой с учетом формирования бермы шириной 20 м в уступе +6 м, пригрузку уступа (0÷-15), уступа (-15÷-30 м) и уступа (-30÷-45 м) в проектных контурах скальными неветрелыми породами. Данная пригрузка помимо удерживающего эффекта также будет выполнять и дренирующую функцию.

#### Список литературы

1. **Ткаченко Г.І., Болотніков А.В.** Оцінка стійкості східного борта Глеєватського кар'єра №1 в зоні його підроблення підземними гірничими роботами / Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг: КНУ, 2012. - Вип. 30.- С. 34-39.
2. **Болотніков А.В., Биленко А.Е.** Определение возможности увеличения результирующих углов наклона бортов карьера, путем обратных расчетов прочностных свойств пород, на примере Глеєватского карьера ПАО «ЦГОК» Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг: КНУ, 2015. - Вип. 37.- С. 187-192.
3. Методичні вказівки з визначення оптимальних кутів нахилу бортів, укосів уступів і відвалів залізородних та флюсових кар'єрів // Під ред. проф. **А.Г. Шапаря** // -К: - 2009. – 201 с.
4. **Голуб В.В., Полищук С.З., Ветвицкий И.Л.** Новые подходы к оценке устойчивости откосов и склонов: теория и практика. -Днепропетровск: ЧМП «Экономика», 2011.- 172 с.
5. Узагальнення отриманих геолого-структурних, топографічних, графічних даних. Розробка геолого-структурної карти схеми Інгулецького родовища. Складання геолого-структурних карт вузлових ділянок.

Актуалізація існуючої геологічної моделі родовища / ТОВ «ВЕГАГН» відпов. виконавець **О.В. Плотніков**. –Кривий Ріг, 2013. –104 с.

6. **Фисенко Г.Л.** Методы количественной оценки структурных ослаблений массива горных пород в связи с анализом их устойчивости. – В кн.: Современные проблемы механики горных пород. Л., Наука, с. 21 - 29.

7. Доразведка окисленных кварцитов V железистого горизонта, магнетитовых кварцитов и вскрышных пород в контурах проектного контура карьера Ингулецкого ГОКа: / Криворожская ГРП КП «Южургеология»; рук. работы **А.Г. Задорожный**. -Кривой Рог, -2003 г., -277с.

8. Разработка технологичных и технических мероприятий по обеспечению безопасной отработки юго-восточного участка борта карьера ПАО «ИнГОК»: Отчет о НИР/ ИППЭ НАНУ; науч. рук. **А.Г. Шапарь**. – Днепропетровск, 2012. –88с.

9. Заключение на раздел ТЭО перспективных границ и производительности карьера ОАО «ИнГОК»: «Определение оптимальных параметров бортов карьера при отработке Ю.-В. борта карьера, Лихмановской синклинали» Отчет / ИППЭ НАНУ; рук. работы **А.Г. Шапарь**. - Днепропетровск, 2011. –40 с.

10. Разработка рекомендации по обеспечению устойчивости откосов и анализ реализации проектных решений по противооползневой защите Ингулецкого карьера и отвалов: Отчет о НИР/НТФ «НОВОТЕК – 2»; № 7/ Ин – 2001-34; рук. работы **Ю.М. Николашин**. -Харьков, 2002. –47 с.

11. Горнотехническая оценка состояния устойчивости уступов, сложенных тальк-хлоритовыми сланцами ниже гор. (-180 м) Ингулецкого карьера: Отчет о НИР / НОВОТЕК-2; рук. работы **Ю.М. Николашин**. -Харьков, 2007. -63 с.

12. Экспертная оценка устойчивости борта карьера ОАО «ИнГОК» для вариантов отработки запасов магнетитовых кварцитов: Отчет о НИР/НТФ «НОВОТЕК -2»; рук. работы **Ю.М.Николашин**. - Харьков, 2010. -42 с.

13. Расширение карьера ОАО «ИнГОК» в юго-восточном направлении. Рабочий проект. Определение допустимых результирующих углов наклона борта карьера при его расширении в юго-восточном направлении: Отчет о НИР(заключ.) / НТФ «НОВОТЕК»; рук. работы **Ю.М. Николашин**. -Харьков, 2010. -48 с.

14. Комп'ютерна програма «Комплекс комп'ютерних програм «РЕПЕР»: Свідчення про реєстрацію авторського права на твір. Україна, МОНУ / **Є.Я.Бехлер, А.В. Болотников, Є.О. Несмашний, О.В. Максимов, Г.І. Ткаченко**. – № 39943; Зареєстр. 02.09.11.

Рукопись поступила в редакцию 16.03.16

УДК 331.454:614.8(4/9)

**Н.Ю. ШВАГЕР**, д-р техн. наук, проф., **Д.П. ЗАЙКІНА**, аспірант  
Криворізький національний університет

## АНАЛІЗ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ОХОРОНОЮ ПРАЦІ ЗАРУБІЖНИХ КРАЇН

У статті проведено порівняльний аналіз систем управління охороною праці зарубіжних країн. Кількість нещасних випадків та професійної захворюваності є основним компонентом, який показує ефективність функціонування системи управління охороною праці на виробництві. В основі підходу до визначення цілей модернізації системи управління охороною праці в промислово розвинених країнах лежить розуміння того, що жодне підприємство не може обмежуватися турботою про виробництво товарів або послуг, не турбуючись про умови безпеки праці, здоров'я і благополуччя своїх працівників. І це відбувається не тільки через гуманні міркування, але також через розуміння прямого або непрямого впливу умов праці на ефективне функціонування працівників.

Аналіз організації роботи з охорони праці на рівні підприємств свідчить про те, що вона складається на базі спільних зусиль адміністрації та працюючих. У розвинених країнах відповідальність за законом за створення безпечних умов праці лежать на першому керівнику, який видає накази, організовує і контролює всю діяльність на підприємстві, в тому числі і з охорони праці. Перший керівник делегує свої владні повноваження з питань охорони праці конкретній особі з управлінського персоналу, який повинен організувати роботу з охорони праці. Крім того, створюються спеціальні служби безпеки та гігієни праці.

**Ключові слова:** охорона праці, виробничий травматизм, державний нагляд, безпека праці.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Важливість системного вирішення питань у сфері охорони праці об'єктивно визначається загально-низьким рівнем безпеки праці в Україні. Необхідною умовою вирішення цих питань є ефективне комплексне управління охороною праці та промисловою безпекою.

Створення належних умов праці на кожному робочому місці, безпека та охорона праці стали найактуальнішими проблемами управління охороною праці, оскільки має місце високий рівень захворюваності та смертності серед осіб працездатного віку, підвищений рівень виробничого травматизму, в тому числі й з летальними наслідками [1].

**Аналіз досліджень та публікацій.** За останні 15 років у світі напрацьовано великий досвід з розробки та впровадження системного підходу в галузі охорони праці, розробки та впрова-

дження методик, спрямованих на формування «запобіжних дій», що сприяють підвищенню безпеки виробничих процесів за рахунок виключення переростання небезпечних ситуацій в небезпечні події [1].

**Постановка завдання.** Метою даної статті є розгляд основних підходів до удосконалення організації охорони праці на українських промислових підприємствах за рахунок аналізу існуючих систем управління охороною праці на основі кращих світових практик (міжнародних стандартів ISO, IEC, BS, рекомендацій ILO) [1].

**Викладення матеріалів та результати.** Державна політика в галузі промислової безпеки здійснюється на основі відповідних законодавчих актів, виконання вимог яких контролюється компетентними органами. Нагляд держави за безпекою виробництва здійснюється практично в усіх країнах світу, і навіть у тих, які сьогодні перебувають на етапі розвитку. Правда, вирішується це завдання у кожній країні по-різному [1].

Так, у Європі все починалось 150 років тому – там система нагляду сформувалася в результаті довгої та жорсткої боротьби профспілок з роботодавцями за досить незначної участі держави. Саме тому багато європейських систем нагляду за охороною праці є дуже складними й громіздкими, а держава не завжди відіграє ключову роль у цьому процесі. Індивідуальність кожної з систем робить їх непридатними для копіювання в іншій країні. Проте досвід їх роботи дуже цікавий, і, можливо, деякі елементи можна використовувати і в українських умовах.

Розглянемо управління охороною праці в промислово розвинених країнах Європи, а також становлення цієї системи [2].

Законодавство у Великобританії вимагає, щоб роботодавці мали в розпорядженні відповідні заходи для управління і контролю безпеки та охорони праці на підприємстві. Для досягнення цих вимог роботодавці повинні мати ефективну систему управління охороною праці та безпеки, яка чітко визначена і точно задокументована.

Існує ряд систем управління охороною праці, які можуть бути застосовані, зокрема методична брошура ТБОЗ і ООС HS (G) 65 «Managing for health and safety», британський стандарт BS OHSAS 18001: 2007 «Occupational health and safety management systems - Requirements» і Міжнародне бюро праці ILO-OSH +2001 «Guidelines on occupational safety and health management systems». Кожна з цих систем управління заснована на моделі «план-дія-перевірка-акт», і втілює принцип постійного поліпшення [3].

Система управління охороною праці в цілому включає багато зацікавлених сторін, у які беруть участь у забезпеченні виконання або поліпшення стандартів безпеки та охорони праці. Серед зацікавлених сторін роботодавці, що працюють не за наймом, виробників, постачальників, працівників сторонніх організацій, ТБОЗ і ООС і органи місцевої влади [4].

Облік і аналіз стану охорони праці спрямовані на розробку і прийняття обґрунтованих рішень керівниками всіх рівнів.

В якості аналізованих використовуються дані про виробничий травматизм, причини нещасних випадків, професійної захворюваності, атестації робочих місць, приписи органів державного нагляду (рис. 1, табл. 1).

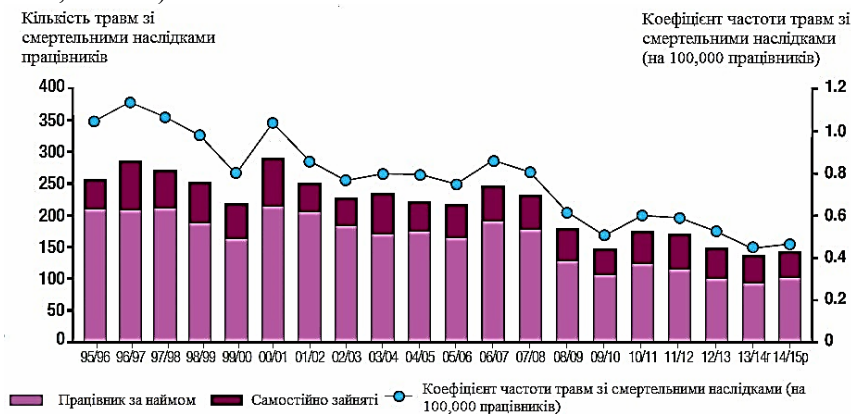


Рис. 1. Кількість і коефіцієнт частоти травм зі смертельними наслідками працівників (Великобританія)



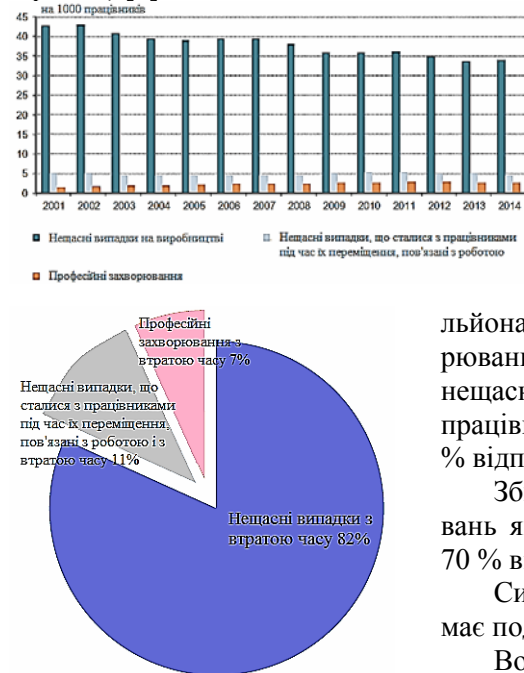
Кількість і коефіцієнт частоти травм працівників (Великобританія)

Роки	Працівники по найму		Самостійно зайняті працівники		Працівники підприємства	
	кількість	коефіцієнт частоти на 100,000 працівників по найму*	кількість	коефіцієнт частоти на 100,000 самостійно зайнятих працівників по найму*	кількість	коефіцієнт частоти на 100,000 працівників підприємства по найму*
2010/11	122	0,49	53	1,25	175	0,60
2011/12	114	0,45	57	1,31	171	0,58
2012/13	99	0,39	51	1,13	150	0,50
2013/14 рр.	92	0,36	44	0,96	136	0,45
2014/15 рр.	99	0,38	43	0,89	142	0,46
П'ятирічний період (2009/10 - 2013/14 рр.)	106	0,42	50	1,14	156	0,53

\* 2009/10 - 2013/14 коефіцієнти частоти були переглянуті (жовтень 2015 р.), як набори даних зайнятості, які переважують відображення оцінки чисельності і складу населення, які засновані на переписі 2011 року [5].

У Франції професійна техніка безпеки перебуває головним чином у сфері відповідальності Міністерства з питань праці, соціальних відносин, сім'ї, солідарності та розвитку міст [6].

Збільшення в сертифікованих компаній систем управління охороною праці (+20 %/рік у Франції) [7].



**Рис. 2.** Показник частоти нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань (Франція)

Розподіл нещасних випадків на виробництві, нещасних випадків, що сталися з працівниками під час їх переміщення, пов'язаними з роботою і професійних захворювань, які спричинили втрату, що були предметом основного регламенту в 2014 р. (рис. 2,3).

У 2014 р. були зареєстровані більше одного мільйона збитків від нещасних випадків та професійних захворювань, з яких 759 500 у результаті зупинки роботи: 82 %, як нещасні випадки, 11 %, як нещасні випадки, що сталися з працівниками під час їх переміщення, пов'язані з роботою, і 7 % відповідно професійним захворюванням.

Збитки від нещасних випадків та професійних захворювань які спричинили зупинення роботи становлять близько 70 % від загальних збитків, порівняно 63% в 2008 р. [8].

Система управління охороною праці на робочому місці має подвійну структуру в Німеччині.

Вона включає в себе державну безпеку і забезпечення здоров'я і страхування від нещасних випадків незалежно діючих установ.

**Рис. 3.** Розподіл нещасних випадків (Франція)

Німеччина має всесвітню національну систему управління охороною праці, слідуючи конвенції Міжнародної організації праці (МОП). Німеччина ратифікувала 83 конвенцій МОП, з яких 74 вступили в силу. 187 Конвенція МОП була ратифікована в 2010 р.

Усе законодавство з охорони праці погоджено з директивами ЄС. Спільне стратегія Німеччини з охорони праці (Gemeinsame Deutsche Arbeitsschutzstrategie, GDA) була розроблена, впроваджена і оцінена. [9]

Німецька позиція зрозуміла: стандарт управління охороною праці буде, безперечно, сприяти роботодавцю в інтеграції безпеки та гігієни праці в існуючі управлінські структури (наприклад, коефіцієнт якості і управління діяльністю в галузі навколишнього середовища).

І навпаки, вимоги, що стосуються стану безпеки та гігієни праці викладені в європейському та всесвітньому законодавстві, наприклад, у положеннях, прийнятими німецькими установами соціального страхування від нещасних випадків, і, отже, не відповідають змісту стандарту [10].

Спільна стратегія Німеччини з безпеки і охорони праці (GDA) є ініціативою німецького уряду, федерації ("Länder") та установи страхування від нещасних випадків.

Союз прагне модернізувати німецьку систему управління охороною праці та стимулювати для компаній, щоб посилити безпеку та охорону праці робочого місця [11,12].

Таблиця 2

Нещасні випадки на виробництві (Німеччина)

Рік	Звітні нещасних випадків на виробництві	Нещасні випадки на 1000 працівників з повною зайнятістю	Нещасні випадки на виробництві на 1000 застрахованих осіб	Нещасні випадки на виробництві на 1млн. праце-годин	Смертельні випадки на роботі
2010	63,206	21,9	17,3	13,7	34
2011	61,064	20,8	16,1	13,1	33
2012	61,544	20,5	16,3	13,0	33
2013	59,445	18,9	15,7	12,2	24
2014	57,993	18,4	15,3	11,8	30
Зміна в порівнянні з попереднім роком	- 2,4%	- 2,6%	- 2,5%	- 3,3%	25%

Відповідальність за безпеку і охорони праці на робочому місці в Австрії розподілена між різними організаціями. Правовою основою здійснюється безпека і охорона праці в чинному документі (Arbeitnehmer Innen schutzgesetz) та правилами, які відповідають їм.

В Австрії, безпека та охорона праці розуміється як захист життів і здоров'я працівників на робочому місці. Основна ідея цієї концепції полягає в захисті фізичних осіб, які перебувають в ситуації, в якій вони фінансово залежать від свого роботодавця.

Працюючі не за наймом, тому зазвичай не підпадають під дію правил з безпеки і охорони праці [13].

Фінська система для безпеки та охорони праці на робочому місці була створена, як частина європейської інформаційної системи безпеки та охорони праці, у тому числі і національний координаційний центр в кожній державі-члені ЄС. Національний координаційний центр у Фінляндії координує і управляє національною системою управління охороною праці [14].

У Швейцарії існує два основних закони, що регулюють охорону праці. Закон про працю передбачає години роботи, охорони здоров'я, будівельні норми на робочому місці та охорону особистісної цілісності.

Закон про страхування від нещасних випадків передбачає запобігання нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань, які викликані повною зайнятістю. Кантональні інспекції праці, SUVA (основний орган страхування від нещасних випадків) і Державний секретаріат з економічних питань (SECO), дотримуються законів.

Координаційна комісія (EKAS) здійснює контроль і фінансує систему запобігання нещасних випадків [15].

У Польщі основний законодавчий акт, який передбачає право на безпечні та здорові умови праці, є конституція республіки Польща.

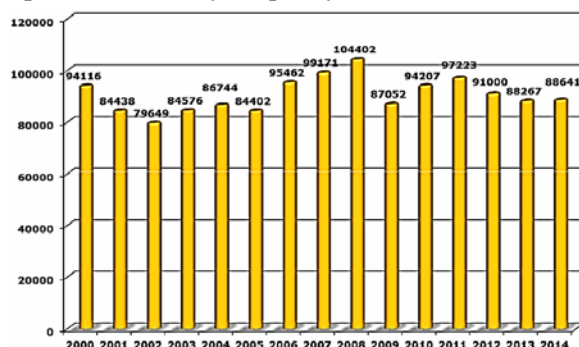


Рис. 4. Нещасні випадки на виробництві в періоду 2000-2014 рр. (Республіка Польща)

Спосіб здійснення цього права встановлено законом, а саме, Трудовим кодексом. Регламентация основного кодексу в галузі охорони праці та безпеки міститься в X розділі зводу законів, Про основи охорони праці, в VII розділі охорони жінок на робочому місці, і в IX розділі охорони молодих людей на робочому місці.

Організаційна система охорони праці може

бути розділена на єдину державну систему.

До перших відносяться парламент, уряд та інші державні установи, контролюючі та керуючі органи, які мають різні завдання.

Органи нагляду і контролю включають в себе Національну інспекцію праці, Державну інспекцію охорони здоров'я, Управління технічного нагляду, суди і прокуратуру. Важливу роль організаційної системи охорони праці відіграє Рада з охорони праці, який приймає рішення у Сеймі Республіки Польща, і спостерігає за Державною інспекцією праці [16,17].

Наразі, Європейська комісія прийняла нову стратегічну програму з питань охорони праці та безпеки на робочому місці 2014-2020 рр., яка визначає основні завдання і стратегічні цілі для охорони праці та безпеки на робочому місці, представляє основні дії і визначає інструменти для їх вирішення.

Ця нова система спрямована на те, щоб ЄС як і раніше відігравав провідну роль у просуванні високих стандартів для роботи і в Європі, і на міжнародному рівні, відповідно до Стратегії Європа 2020 [18].

**Висновок та напрямок подальших досліджень.** Однією з серйозних проблем в системах управління охороною праці промислових підприємств України є те, що вона в більшості випадків побудована на принципах «коригувальних дій», тобто реагування на небезпечні, випадки що вже трапилися, а не на принципах «запобіжних дій», тобто їх профілактики, що не дозволяє визначити найбільш важливі і першорядні профілактичні роботи з охорони праці і направляти на них в першочерговому порядку матеріальні та фінансові ресурси.

У результаті продовжують виникати нещасні випадки та небезпечні ситуації, що призводять до людських, матеріальних і фінансових втрат.

Тому методи, які вживають Великобританія, Франція, Фінляндія і багато інших економічно розвинених країн для оптимізації управління охороною праці актуально на сьогоднішній день і для нашої країни.

#### *Список літератури*

1. «Охорона праці і пожежна безпека»: Виробн. - прак. журнал. К.: Вид. дім «МЕДІА-ІРО», – 2011. – № 10. – с. 22-24.
2. **Тойшиєва А.К.** Оптимизация СУОТ на производстве в современных условиях: маг. дис./ **Тойшиєва Анар Калмаханкызы.** – Алматы, 2014. - 82 с.
3. Environment, Health and Safety Committee OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY MANAGEMENT SYSTEMS [http://www.rsc.org/images/Occupational-Health-and-Safety-Management-Systems\\_tcm18-240421.pdf](http://www.rsc.org/images/Occupational-Health-and-Safety-Management-Systems_tcm18-240421.pdf)
4. Health and Safety Executive A guide to health and safety regulation in Great Britain <http://www.hse.gov.uk/pubns/hse49.pdf>
5. <http://www.hse.gov.uk/statistics/overall/hssh1415.pdf>
6. [http://dnop.kiev.ua/web/index.php?option=com\\_content&task=view&id=6387&Itemid=137](http://dnop.kiev.ua/web/index.php?option=com_content&task=view&id=6387&Itemid=137)
7. [https://www.researchgate.net/profile/Marc\\_Favaro/publication/260035452\\_DRAIS\\_E\\_FAVARO\\_M\\_The\\_dynamics\\_of\\_culture\\_in\\_OSH\\_management\\_systems\\_Results\\_from\\_a\\_comparative\\_study\\_in\\_FrFren\\_companies\\_International\\_Symposium\\_on\\_Culture\\_of\\_Prevention\\_-\\_Future\\_Approaches\\_-\\_Helsinki\\_/links/0deec52f25fd9cbee7000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marc_Favaro/publication/260035452_DRAIS_E_FAVARO_M_The_dynamics_of_culture_in_OSH_management_systems_Results_from_a_comparative_study_in_FrFren_companies_International_Symposium_on_Culture_of_Prevention_-_Future_Approaches_-_Helsinki_/links/0deec52f25fd9cbee7000000.pdf)
8. [http://www.securite-sociale.fr/IMG/pdf/ministere\\_annexe\\_1\\_accidents\\_du\\_travail\\_0541\\_hd\\_int.pdf](http://www.securite-sociale.fr/IMG/pdf/ministere_annexe_1_accidents_du_travail_0541_hd_int.pdf)
9. Country Profile of Occupational Health System in Germany [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0010/178957/OSH-Profile-Germany.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0010/178957/OSH-Profile-Germany.pdf)
10. Safety and Health at Work: A Vision for Sustainable Prevention [http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms\\_301214.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_301214.pdf)
11. <http://www.gda-portal.de/en/AboutGDA/AboutGDA.html>
12. <https://www.bgetem.de/medien-service/.../file>
13. <https://osha.europa.eu/en/about-eu-osha/national-focal-points/austria>
14. <https://osha.europa.eu/en/about-eu-osha/national-focal-points/finland>
15. <https://osha.europa.eu/en/about-eu-osha/national-focal-points/switzerland>
16. <https://osha.europa.eu/en/about-eu-osha/national-focal-points/poland>
17. <http://home.agh.edu.pl/~nawstan/bhp/WYKLAD%204.pdf>
18. <http://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=151&langId=en>

УДК 622.232.5:622.2

Е.З. МАЛАНЧУК, д-р техн. наук, доц., В.Я. КОРНИЕНКО, канд. техн. наук, доц.,  
З.Р. МАЛАНЧУК, д-р техн. наук, проф.,  
Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно

## ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДОБЫЧИ ЯНТАРЯ В РОВЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

В работе описано сегодняшнее состояние и перспективы добычи янтаря в Украине, в частности, в Ровенской области. Отмечается, что ровенский янтарь отличается своим химическим составом. Он наиболее насыщенный примесями и включает 18 химических элементов. Кроме кремния, магния, железа, кальция, которые присутствуют почти во всех месторождениях, добавляются такие как свинец, цирконий и до 3.19% серы. Добыча янтаря в основном осуществляется двумя способами: механическим и гидравлическим. Однако все они сопровождаются выносом минерального грунта на поверхность месторождения, не обеспечивают полного извлечения янтаря с месторождений, энергоемкие, приводят к изменению структуры почв, образование полостей и соответственно оказывают значительное негативное техногенное воздействие на окружающую среду.

Для интенсификации процесса извлечения, при котором достигается высокая производительность и эффективность, а также уменьшается негативное экологическое воздействие на окружающую среду авторами разработана технология интенсификации процесса добычи янтаря из месторождений за счет использования гидромеханического способа подъема янтаря на поверхность песчаного месторождения.

Суть указанного способа заключается в том, что массив насыщается водой и активизируется путем механического вибровозбуждения до образования сплошного суспензного слоя такой плотности, при которой возникает выталкивающая сила, которая поднимает янтарь на поверхность месторождения.

Данная технология интенсифицирует процесс извлечения янтаря, при котором достигается высокая производительность и эффективность, а также уменьшается негативное экологическое воздействие на окружающую среду.

**Ключевые слова:** янтарь, гидромеханический способ, интенсификатор, извлечение.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** На Ровенщине, в ее северных районах, найдены большие залежи янтаря. Наиболее разведанным является Клесовское месторождение, в Сарненском районе. На территории Украины янтарь находят на Воляни, в бассейне р. Припять, в районе г. Киев и в Прикарпатье. Суммарные запасы оцениваются в 100 тыс. т, преимущественно залегают в песчаных и песчано-глинистых почвах на глубине до 15 м и достаточны для исследования и внедрение новых технологий.

Ровенский янтарь отличается своим химическим составом. Он наиболее насыщенный примесями и включает 18 химических элементов. Кроме кремния, магния, железа, кальция, которые присутствуют почти во всех месторождениях, добавляются такие как свинец, цирконий и до 3.19 % серы. Зольность Клесовского янтаря - 8.7 %. Это влияет на качество и цвет затвердевшей смолы. Янтарь - это минерал класса органических соединений, смола хвойных деревьев в основном палеогенового периода. Состав янтаря: воздушно ароматическое масло, две растворимые фракции смолы, янтарная кислота и 90 % нерастворимых фракций. Его химическая формула -  $C_{25}H_{40}O_4$ . Янтарь - аморфный полимер, имеет множество цветов, дает специфический ИК-спектр (в пределах  $700\div 1900\text{см}^{-1}$ ), что отличает его от других подобных смол. Температура плавления  $t=365\div 390$  °С. Удельный вес -  $1000\div 1100$  кг/м<sup>3</sup> (в Прибалтике встречается и 970 кг/м<sup>3</sup>, а в Прикарпатье - 1220 кг/м<sup>3</sup>). Хорошо поддается механической обработке. Не растворяется в воде (частично в спирте - 20÷25 %, эфире - 18÷23 %, хлороформе - до 20 %), но может набухать и увеличиваться в объеме до 8 % при длительном пребывании в ней. Полностью распадается в горячей концентрированной азотной кислоте, можно размягчить при  $t=100$  °С.

**Анализ исследований и публикаций.** В мире янтарь встречается по берегам Балтийского моря, в странах Прибалтики, Польши, Германии, Дании, Швеции, Белоруссии. Крупнейшим месторождением до сих пор было Приморское (Пальмникенское) в Калининградской области Российской Федерации.

Янтарь залегают в песчаных или песчано-глинистых почвах. Глубина залегания небольшая - до 10-15 м.

В Прибалтике и Калининградской области Российской Федерации для добычи янтаря используют карьерный способ, с разработкой месторождений земснарядами и с использованием

гидромониторов. На сегодня известен также гидравлический способ, который сопровождается закачкой жидкости в янтареносный массив с последующей откачкой грунтовой пульпы на поверхность месторождения.

В Клесовском месторождении добыча янтаря осуществляют открытым карьерным способом. Янтарь залегает в песчаном грунте. Глубина залегания - до 15 м. У месторождения находится гранитный карьер со значительным запасом воды. Месторождение расположено недалеко от дорог и электросети. В 2006 году добыча янтаря достигла 3200 кг за год за счет использования при извлечении янтаря нового экскаватора ЭШ-5/45 и стабильным финансированием из государственного бюджета. При этом за 2006 год объемы работ в карьере составляют: вскрышные работы - 23,6 т/м<sup>3</sup>; горная масса - 17,466 т/м<sup>3</sup>; рекультивация за месяц - 0,5 га. При стабильном финансировании объемы добычи растут.

Стоимость куска янтаря зависит от уникальности образцов и устанавливается экспертным путем.

Для определения стоимости разработана методика, которая включает в себя классификацию кусков янтаря по форме (форма А,В,С,Д), размеров (от 1 до 5) и цвета (Цвет 1, Цвет 2, Цвет 3 и Цвет 4).

Форма А - форма образца близка к изометрической, поверхность ровная, без бугорков и впадин. Соотношение от малых до больших показателей линейных размеров составляет величину не более 0,75.

Форма В - форма образца близка к изометрической, поверхность ровная имеющая впадины или бугорки (глубина которых не более 3 мм). Соотношение от малых до больших показателей линейных размеров составляет величину не более 0,5.

Форма С - форма образца не изометрическая, имеется сложная поверхность с углублениями до 5 мм. Соотношение от малых до больших показателей линейных размеров составляет величину не более 0,15.

Форма Д - форма образца совсем не изометрическая, сложная, необычная, искажена, пластинчатая, поверхность трещиноватая с глубокими углублениями, холмами и даже отверстиями. Соотношение от малых до больших показателей линейных размеров составляет величину не более 0,15.

Размер 1 - это уникальные образцы: более 100 мм по наибольшему линейному измерению.

Размер 2 - это большие образцы: более 50 мм по наибольшему линейному измерению.

Размер 3 - это средние образцы: более 25 мм по наибольшему линейному измерению.

Размер 4 - это маленькие образцы: более 10 мм по наибольшему линейному измерению.

Размер 5 - это мелкие образцы: меньше 10 мм по наибольшему линейному измерению.

Цвет 1 - редкий окрас. Прозрачный красный, зеленовато-лимонный, голубовато-зеленовато-желтый, полупрозрачный зеленовато-лимонный, белый с зеленым и голубым оттенком. Все цвета чистые без визуальных дефектов.

Цвет 2 - традиционно окрашен. Коричневый, золотисто-желтый, желтый без инклюзов и дефектов.

Цвет 3 - традиционный коричнево-желтый, желтый с оттенком сероватым с незначительным количеством микроскопических инклюзов, неравномерно окрашен.

Цвет 4 - загрязненный прозрачный, полупрозрачный и непрозрачный серо-коричневый, частота испорчена.

Стоимость колеблется от 3000 \$ за 1 кг янтаря формы А, размера 1 и цвета 1 до 5 \$ за кусок формы С или Д, размер 5 и цвет 1-4.

За готовую продукцию стандартов А,В,С,Д,Е стоимость колеблется от 0,4 0,5 до 1 \$ / гр.

Добыча янтаря в основном осуществляется двумя способами: механическим и гидравлическим.

Механический способ включает в себя механическую разработку массива грунта в открытом карьере или под землей.

Таким образом, добыча янтаря включает: вскрытие продуктивного слоя почвы, экскавационные работы, транспортировки породы от места разработки до грохота, где происходит отделение янтаря от породы путем мытья породы, рекультивацию земель.

Недостатками данного способа являются большие эксплуатационные и экономические затраты, вынос породы на поверхность и отрицательное экологическое воздействие на окружающую среду.

Способ скважинной гидравлической добычи полезных ископаемых включает вскрытие продуктивного горизонта скважинами по контуру добывающей камеры, их обсадку, установление в них гидродобычного оборудования с подъемным устройством, сообщение между скважинами, подрезание продуктивного горизонта и заполнения подрезаны щели водой, разрушение пород продуктивного горизонта в подрезную щель, гидроразрыв породы в затопленном забое и поднятия пульпы на поверхность по скважине самоизливом за счет постоянного поступления жидкости в рабочую зону в центре добычной камеры.

Способ реализуется следующим образом. В месторождение по контуру добывающей камеры бурят периферийные скважины глубже уровня продуктивного горизонта с диаметром достаточным для размещения в них гидродобычного оборудования. В центре добывающей камеры бурят дополнительную подъемную скважину диаметром, который бы обеспечивал свободное прохождение янтаря максимального диаметра. Скважины обсаживают обсадными трубами до границы продуктивного горизонта. Затем в периферийных скважинах размещают гидродобычное оборудование, включая гидромонитор и подъемное устройство. Гидромонитор выводят на уровень границы подстилающих пород, размывает, формируя на границе с продуктивным горизонтом, горизонтальную подрезную щель. Вращением гидромонитора в горизонтальной плоскости образуют в пределах добывающей камеры сектор размыва. Для уменьшения времени формирования подрезной щели размыв ведется в осушенном забое. При выдаче пульпы на поверхность используют подъемное устройство.

После образования подрезной щели гидромонитор выводят на уровень первого подрезного слоя продуктивного горизонта. Гидромониторами формируют подрезную щель с прямым уклоном в сторону дополнительной подъемной скважины, а нижний торец обсадных труб поднимают до верхней точки кровли первого подрезного слоя.

В процессе формирования наклонной подрезной щели горизонт заполняют водой до уровня подъемного устройства.

По мере углубления наклонной подрезной щели происходит обвал слоя продуктивного горизонта в выработанное пространство подрезной щели. После соединения подрезной щели с верхним торцом обсадных труб подъем пульпы останавливают и начинают размыв в забое обрушившегося слоя.

При этом обеспечивается дезинтеграция частиц породы и янтаря, освобождается от связей с массивом грунта. Глинистая фракция переходит в пульпу, плотность которой достигает  $1,2 \text{ г/см}^3$ . Песок выпадает в осадок, как более тяжелая фракция.

Поскольку удельный вес янтаря составляет  $1,00-1,11 \text{ г/см}^3$ , то он за счет выталкивающей силы и силы потока пульпы поднимается до нижнего торца обсадных труб.

После размыва первого обрушившегося слоя продуктивного горизонта гидромонитор выводят на уровень второго слоя, а обсадные трубы поднимают до верхней точки кровли второго подрезного слоя, формируют подрезную щель и размывают второй продуктивный горизонт.

Операции повторяют до полной разработки всего продуктивного горизонта [1-6].

В частных артелях добыча янтаря осуществляется именно гидравлическим способом с низким уровнем механизации и больших потерях янтаря из-за несовершенства технологии добычи полезных ископаемых из песчаных месторождений.

Известны и другие способы скважинной добычи полезных ископаемых, например, с использованием смесей различной вязкости.

Однако все они сопровождаются выносом минерального грунта на поверхность месторождения, не обеспечивают полного извлечения янтаря с месторождений, энергоемкие, приводят к изменению структуры почв, образованию полостей и соответственно оказывают значительное негативное техногенное воздействие на окружающую среду.

**Постановка задачи.** Таким образом, на сегодня добыча янтаря требует новых технологий и создание средств для интенсификации процесса извлечения, при котором достигается высокая производительность и эффективность, а также уменьшается негативное экологическое воздействие на окружающую среду.

**Изложение материала и результаты.** Для достижения этой цели Национальным университетом водного хозяйства и природопользования совместно с Институтом геотехнической механики им Н.С. Полякова НАН Украины разработана технология интенсификации процесса добычи янтаря из месторождений за счет использования гидромеханического способа подъема янтаря на поверхность песчаного месторождения [7,8].

Суть указанного способа заключается в том, что массив насыщается водой и активизируется путем механического возбуждения (вибровозбуждения) до образования сплошного суспензного слоя такой плотности, при которой возникает выталкивающая сила, которая поднимает янтарь на поверхность месторождения.

Механическим воздействием, при наличии в массиве воды, массив приходится к полной потере связей между частицами, высвобождение янтаря и достижения средой суспензного состояния с плотностью, которая больше от удельной силы притяжения янтаря, что позволяет последнему всплывать на поверхность месторождения за счет Архимедовой силы.

Для реализации способа необходимо в янтароносном массиве вибрационным методом погрузить штанги в виде труб из которых подается вода и на которых закреплены вибровозбудители. При этом массив насыщается водой и вибровозбудителями приводится в колебательное движение. Янтарь освобождается от связей со средой и всплывает на поверхность.

Реализация способа при полной добычи из месторождения янтаря позволяет исключить выход минеральной породы на поверхность месторождения, а тем и уменьшить негативное техногенное воздействие на окружающую среду, повысить производительность труда с уменьшением общих расходов.

Для реализации гидромеханического способа можно использовать вибрснаряд [9-11], который включает возбудитель колебаний и разнесены на вертикальных стержнях (выполненных пустотелыми) биконические виброизлучатели.

Максимальное разнесение по вертикали виброизлучателей, расположенных на одной оси, определяется контактом виброкипящих слоев виброизлучателей соседних высотных уровней. Это позволяет вокруг каждого биконического виброизлучателя создать зону кипения почвы, которая перекрывается соседней.

Виброснаряд закрепляется на специальную базу. Процесс сжижения почвы происходит следующим образом. В янтароносный массив вибрационным методом погружаются стержни с биконическими виброизлучателями при одновременной подаче через них воды и воздуха в массив грунта. Массив виброизлучателями приводится в колебательное движение, при этом образуется зона сплошного кипения почвы.

Янтарь отделяется от массива и под действием выталкивающей силы всплывает на поверхность. Суспензная среда позволяет свободно двигаться виброустройству в продольном направлении.

Использование виброснаряда для добычи янтаря с месторождений позволяет достичь полное извлечение янтаря с месторождения, увеличить производительность труда, уменьшить энергоемкость и отрицательное техногенно-экологическое воздействие на окружающую среду.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Для увеличения объемов добычи при снижении себестоимости отрасль требует внедрения современных технологий добычи янтаря.

В условиях тяжелого экономического положения в Украине инвестиции от государства отсутствуют. Добыча янтаря устаревшим способом требует затрат средств и времени на добычу и переработку значительных объемов грунта для получения янтаря. Изготовление новых установок тормозится отсутствием инвестиций в отрасль.

Необходимо привлечь иностранный капитал, который заинтересован в получении прибыли. С помощью современных технологий, возможно, полностью извлечь янтарь из месторождения. Для их внедрения необходимо сравнительно небольшие средства, что позволит за короткий период получить прибыль и окупить вложения.

#### *Список литературы*

1. **Иванов П.Л.** Грунты и основания гидротехнических сооружений. Механика грунтов / П.Л.Иванов. - М., Высш. шк., 1991.- 447 с.

2. **Савинов О.А.** Вибрационная техника уплотнения и формирование бетонных смесей / О.А. Савинов, Е.В.Лавринович // - Л.: Стройиздат, Лен.отд., 1986. – 278 с.
3. **Маслов Н.Н.** Основы инженерной геологии и механики грунтов/Н.Н.Маслов- М., Выща школа, 1982. – 511 с.
4. **Ляхов Г.М.** Волны в грунтах и пористых многокомпонентных средах/ Г.М. Ляхов.- М., Наука, 1982. – 288 с.
5. **Членов В.А.** Виброкопящий слой / В.А.Членов, Н.В. Михайлов. - М.: Наука. - 1972. – 344 с.
6. Теория турбулентных струй / **Абрамович Г.Н., Гиршович Т.А., Крашенинников С.Ю., Секундов А.Н., Смирнова И.П.** Изд. 2-е перераб. и доп. / Под ред. Г.Н.Абрамовича. - М.: Наука, 1984. – 745с.
7. Патент України №32201. Спосібвилученнябурштину з родовища /**Романовський О.Л., Нікітін В.Г., Корнієнко В.Я.** та інші/ НДЦПЕ, Київ, 2004, Бюл.№9.
8. **Malanchuk Z., Korniyenko V.** Modern condition and problems of extraction of amber in Ukraine. *Canadian Journal of Science and Education*, №2 (6), July-December, Volume I. "Toronto Press", 2014. P. 372 -376
9. **Корнієнко В.Я.** Дослідження сегрегації при видобутку бурштину з родовищ. Вісник НУВГП, Зб. наукових праць. Вип. 3 (67), Рівне, 2014, с. 120-126
10. **Булат А.Ф., Надутий В.П., Корнієнко В.Я.** Опыт применения вибрационных установок в технологии добычи янтаря. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрація в техніці та технологіях», м. Вінниця, №4(80) 2015, с.128-131
11. Патент України №84108. Вібропристрій / **Корнієнко В.Я., Романовський О.Л., Хітров І.О., Мачук Є.Ю./** ДСІВУ, Київ, 2013, Бюл.№19.

Рукопись поступила во редакцию 14.04.16

УДК 502.654

Т.Ф. ЯКОВИШИНА, канд. сільгосп. наук, доц.  
ДВНЗ “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”

## ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ПОЛІЕЛЕМЕНТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ҐРУНТІВ м. ДНІПРОПЕТРОВСЬКА

В статті проаналізовані існуючі в Україні та за кордоном підходи щодо нормування елементного та поліелементного забруднення ґрунтів важкими металами. Актуальність даної роботи стосується пошуку адекватної екологічної оцінки поліелементного забруднення важкими металами ґрунтів міст промислових агломерацій з прив'язкою до рівня здоров'я, що має велике науково-практичне завдання для забезпечення норм екологічної безпеки для населення при функціонуванні урбоєкосистем. Детально проаналізовані підходи щодо визначення коефіцієнтів концентрації, фактору забруднення за окремими хімічними елементами, а також сумарного показника забруднення та ступеня забруднення з подальшою його модифікацією, що дало змогу встановити між ними невідповідності. Обґрунтована доцільність використання сумарного показника забруднення Ю.В. Саста, як такого, що не зводить комплексний вплив важких металів до простої сумачі, проте відносно нього виявлена невідповідність визначеної категорій забруднення санітарно-гігієнічному нормативу – ГДК. На прикладі м. Дніпропетровська здійснена екологічна оцінка поліелементного та поліелементного забруднення ґрунтів урбоєкосистеми важкими металами. Досліджувані важкі метали (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni) відносились до пріоритетних забруднювачів ґрунтів, адже виконувались умови перевищення коефіцієнту концентрації у два рази. Встановлено, що ступень забруднення змінювався від дуже слабкого – 27, слабкого – 17, помірного – 17, до сильного – 4 ділянки відбору проб відповідно. Лівобережжя м. Дніпропетровська в меншій мірі було забруднено, ніж Правобережжя. Ареали сильного ступеня мають локальний характер і зумовлюються накладанням дії автотранспорту на зони впливу промислових підприємств машинобудівної та оброблювальної промисловостей.

**Ключові слова:** важкі метали, ґрунт, екологічна оцінка, поліелементне забруднення, урбоєкосистема, нормування, коефіцієнт концентрації.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Важкі метали (ВМ) є одними з самих небезпечних забруднювачів екологічних систем і біосфери в цілому, адже їх негативний вплив на здоров'я людини добре відомий, а саме: Cd блокує сульфгідрильні групи ферментів, порушує синтез ДНК, обмін Fe і Ca, призводить до цирозу печінки, протеїнурії; Pb блокує білки, інгібує ферменти, сприяє ураженню нервової системи; Zn викликає порушення розвитку; Cu - спричиняє руйнування кісткової тканини тощо [1]. За даними ВООЗ рівень здоров'я людини на 60 % визначається якістю навколишнього середовища, так згідно джерела [2] величина сумарного показника забруднення ґрунту ВМ обумовлює певні зміни показників захворюваності населення в осередках геохімічних аномалій техногенного походження, що знаходяться, а іноді навіть виходять за межі мегаполісів. В урбоєкосистемі за наявності значного антропогенного тиску міський ґрунт за Г.В. Мотузовою та О.С. Безуглою (2007) виконує наступні екологічні функції: по-перше, протекторну, що полягає в здатності поглинати й депону-



вати забруднювачі, тим самим виступати біогеохімічним бар'єром на шляху їх міграції, а, по-друге, медико-екологічну - спрямовану на підтримку безпечних умов життєдіяльності для всіх організмів і, насамперед, людини [3]. ВМ здатні накопичуватися в ґрунтах, передусім у їх верхньому гумусовому горизонті, й досить повільно виводяться шляхом вилуговування, поглинання кореневою системою рослин, за рахунок ерозії та дефляції, так період напіввиведення за В.В. Добровольським (1997) становить для Cd від 13 до 110 років, Zn - 70-510, Cu — 310-1500, Pb - 740-5900 років [4]. Саме тому виникає необхідність в проведенні екологічної оцінки поліелементного забруднення ВМ ґрунтів міст промислових агломерацій, що має велике науково-практичне завдання для забезпечення норм екологічної безпеки для населення при функціонуванні урбоєкосистем.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Екологічну оцінку рівня забруднення ґрунту ВМ здійснюють шляхом порівняння його вмісту в досліджуваному зразку до фонові концентрації або ГДК. Проте за наявності поліелементного характеру забруднення виникає потреба у пошуку інтегрального показника, який би враховував сумісну дію забруднювачів. У нашій країні широке розповсюдження отримав сумарний показник забруднення  $Z_c$ , який був запропонований Ю.В. Састом (1990) [5]

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n - 1), \quad (1)$$

де  $n$  - число сумарних елементів;  $K_c$  - коефіцієнт концентрації (або аномальності за В.В. Добровольським, 1999) хімічного елементу, який розраховують як відношення  $C_p$  - реального вмісту елементу в ґрунті (мг/кг) до  $C_\phi$  - його фонового вмісту в ґрунті (мг/кг) [5, 6]

$$K_c = \frac{C_p}{C_\phi} \quad (2)$$

Зазначені показники досить чітко наслідують риси фактора та ступеня забруднення, розроблені Л. Накансон (1980) [7, 8]. Фактором забруднення ( $c_f^i$ ) виступає разове перевищення усередненого вмісту ВМ із п'яти точкових проб ґрунту відібраних методом конверту ( $c_0^i$ ) до його концентрації за часів відсутності індустріального впливу ( $c_n^i$ ), якою може виступати геохімічний фон

$$c_f^i = \frac{c_0^i}{c_n^i} \quad (3)$$

Нормування гостроти екологічної ситуації за фактором забруднення було здійснено К. Loska зі співавторами (2004) [9]. Проте розроблені за значеннями  $K_c$  та  $c_f^i$ , шкали інтенсивності поелементного забруднення ВМ мають чітко виражену невідповідність (табл. 1).

Таблиця 1

Нормування поелементного забруднення ВМ ґрунту			
Коефіцієнт концентрації (аномальності)		Фактор забруднення	
категорія інтенсивності	межі коливань	категорія інтенсивності	межі коливань
Природна флуктуація вмісту ВМ та окремі сигнали забруднення	<0,5	Низький рівень забруднення	<1,0
Слабке забруднення	5-10	Помірний рівень забруднення	1-3
Помірне забруднення	10-30	Високий рівень забруднення	3-6
Сильне забруднення	>30	Дуже високий рівень забруднення	6≤

Ступень забруднення  $C_d$  запропоновано розраховувати як суму факторів забруднення для всіх досліджуваних ВМ

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_f^i \quad (4)$$

В подальшому формула була допрацьована [8] і отримала наступний вигляд

$$mC_d = \frac{\sum_{i=1}^n C_f^i}{n} \quad (5)$$

де  $mC_d$  - модифікований ступень забруднення ґрунту.

Одержана формула не враховує явища антагонізму та синергізму [10] при просуванні катіонів ВМ трофічними ланцюгами, починаючи з першого етапу – поглинання кореневою системою рослин, отже не відбиває всього ступеня екологічної небезпеки, що склалася при забрудненні конкретного ґрунту.

Як видно із наведених формул принцип оцінки поліелементного забруднення майже однаковий і ґрунтується на розрахунку суми додатків разового перевищення геохімічного фону по кожному елементу але слід звернути увагу на невідповідність подальшого нормування ступеня гостроти екологічної ситуації в Україні та за кордоном (табл. 2).

Таблиця 2

Нормування поліелементного забруднення ВМ ґрунту

Сумарний показник забруднення		Ступень забруднення		Модифікований ступень забруднення	
категорія інтенсивності	межі коливань	категорія інтенсивності	межі коливань	категорія інтенсивності	межі коливань
дуже слабка	$< 8$	низька	$< 8$	дуже низька	$< 1,5$
слабка	$8 < Z_c < 16$	помірна	$8 \leq C_d < 16$	низька	$1,5 \leq mC_d < 2$
помірна	$16 < Z_c < 32$	значна	$16 \leq C_d < 32$	помірна	$2 \leq mC_d < 4$
сильна	$32 < Z_c < 64$	дуже висока	$32 \leq C_d$	висока	$4 \leq mC_d < 8$
дуже сильна	$64 < Z_c < 128$			дуже висока	$8 \leq mC_d < 16$
надто сильна	$> 128$			екстремально висока	$16 \leq mC_d < 32$
				надто висока	$> 32$

Отже невирішеним зостається питання відповідності нормування поелементного забруднення поліелементному з прив'язкою до фонових концентрацій та нормативів ГДК.

**Постановка завдання.** Мета роботи полягала в екологічній оцінці поліелементного забруднення ґрунтів ВМ шляхом визначення  $K_c$  і  $Z_c$  з подальшим обґрунтуванням ступеня небезпеки за існуючими методиками та з урахуванням санітарно-гігієнічного показника - ГДК, що й було здійснено на прикладі м. Дніпропетровська.

**Методика досліджень.** Для екологічної оцінки поліелементного забруднення ґрунтів урбо-екосистеми м. Дніпропетровська ВМ була сформована мережа екомоніторингу шляхом нанесення сітки (2×2 км) на його території, що, в свою чергу, надало можливість виділити 65 ключових ділянок відбору проб з наступним розподіленням: лівобережжя - 21, правобережжя - 44; за районами - Амур-Нижньодніпровський - 13, Індустріальний - 5, Новокодацький - 12, Самарський - 8, Соборний - 8, Центральний - 3, Чечелівський - 9, Шевченківський - 7; за характером функціонального призначення - промислова зона - 9, висотна забудова - 13, приватний сектор - 26, зелена (рекреаційна) зона - 17. В ході проведення польового ґрунтово-геохімічного дослідження були обрані ключові ділянки, як найменші геоморфологічні одиниці ландшафту, котрі в достатній мірі відображали генезис і властивості ґрунту, ґрунтової породи, рельєфу, рослинності, гідрології території та її використання. Досліджувані ґрунти були представлені хемоземом, безпосередньо, територія промислових підприємств та урбаноземом, який відрізнявся за типом порушення ґрунтового профілю, а саме: перемішаний - санітарно-захисна зона промислових підприємств, насипний - висотна забудова, агрогенний - присадибні ділянки приватного сектору. Проби ґрунту відбирали методом конверту з глибини 0-10 см, репрезентативна проба складалася з 25 індивідуальних проб [11].

У відібраних зразках визначали валовий вміст Cd, Pb, Zn, Cu і Ni атомно-абсорбційним методом після кислотної обробки ґрунту за стандартними методиками [12, 13]. Екологічну оцінку поліелементного забруднення міських ґрунтів ВМ здійснювали за показниками  $K_c$  та  $Z_c$  Ю.В. Саєта (1998), з використанням методів математичної статистики [14].

**Результати досліджень.** У м. Дніпропетровськ знаходиться 28 крупних промислових підприємств, половина з яких здійснює викиди сполук ВМ в атмосферне повітря. З точки зору містобудівного планування, промислові зони на території міста розташовані досить хаотично, нерідко вони врізаються в житлову забудову приватного сектору в деяких випадках спостерігається недотримання меж санітарно-захисних зон, це, в свою чергу, пов'язано з історичним фактором, а саме: індустріалізацією України у 30-х роках та інтенсивною розбудовою після другої світової війни наприкінці 40-х років ХХ-го століття. Промислові зони м. Дніпропетровська зосереджені на житловому масиві Придніпровськ вздовж вул. Гаванська; по лівому берегу р. Дніпро (вул. Стівцова, вул. Маршала Малиновського до вул. Байкальська); при виїзді з міста

по вул. Донецьке шосе; між вул. Набережна Заводська, вул. Юрія Кондратюка, житловими масивами Західний та Новий; між вул. Криворізька вздовж пр. Богдана Хмельницького до житлового масиву Мирний; вздовж вул. Запорізьке шосе, тощо. Територію міста перетинають великі транспортні артерії (Донецьке шосе, пр. Богдана Хмельницького, Запорізьке шосе, Слобожанський проспект, вул. Набережна Заводська, вул. Набережна Перемоги, пр. Олександра Поля, пр. Дмитра Яворницького та ін.), що забезпечують сполучення між правим та лівим берегом, з'єднують адміністративний центр та промислові зони зі спальними районами. Через місто проходить транзитний вантажний транспорт внаслідок призупинення будівництва кільцевої об'їзної дороги.

Екологічна ситуація відносно забруднення ВМ ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпропетровська загострюється тим, що по-перше, викиди в атмосферу здійснюються нерівномірно, а переважно - в промислових зонах, де знаходиться велика концентрація підприємств металургійної, машинобудівної, хімічної промисловості, а по-друге, зумовлюється сезонною динамікою роботи автотранспорту, в теплу пору більш інтенсивніше, чим взимку.

За еталон для проведення екологічної оцінки поліелементного забруднення був обраний зональний ґрунт для Північного Степу України - чорнозем звичайний малогумусний важкосуглинковий, котрий знаходився в нативному стані (Ерастівська дослідна станція Інституту сільського господарства степової зони НААН України). Визначені концентрації становили для Cd - 0,39; Pb - 22,4; Zn - 39,6; Cu - 13,35; Ni - 11,5 мг/кг, що відповідало регіональному геохімічному фону.

Розрахунок  $K_c$ , свідчив про перевищення вмісту ВМ в ґрунтах урбоєкосистеми відносно їх фонових значень в зональному ґрунті - чорноземі звичайному. Встановлення середнього значення для  $K_c$  дало змогу визначити величину урбанізованого фону, який був вищим за геохімічний по Cd в 1,5; Cu - 2,2; Pb - 5,6; Zn - 7,4 рази, і, навпаки, стосовно Ni спостерігалась деконцентрація - 0,95, що зумовлювалось нівелюванням процесів надходження незначних кількостей цього елемента з викидами промислових підприємств за рахунок домінування сильного розбавлення його концентрації через порушення ґрунтового профілю шляхом перемішування генетичних горизонтів, привнесення піщаної та глинистої фракцій, будівельного сміття тощо. Досліджувані ВМ можна віднести до пріоритетних забруднювачів ґрунтів, адже виконувались умови ( $K_c > 2$ ), здебільшого по Zn та Pb і в найменшій мірі по Ni. За максимальними значеннями коефіцієнтів концентрації ВМ слід розташувати у вигляді наступного ряду Cu (27,23) > Zn (24,21) > Pb (17,10) > Cd (4,22) > Ni (2,32).

Таблиця 3

Поліелементне забруднення ВМ ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпропетровська

Адміністративна одиниця	Категорія забруднення ґрунту за $Z_c$			
	дуже слабка	слабка	помірна	сильна
Амур-Нижньодніпровський район	<u>3,84</u> 7	<u>11,3</u> 3	<u>22,44</u> 2	<u>45,99</u> 1
Індустріальний район	<u>3,51</u> 2	<u>10,46</u> 1	<u>22,86</u> 2	
Новокодацький район	<u>6,56</u> 6	<u>8,88</u> 1	<u>21,86</u> 4	<u>43,54</u> 1
Самарський район	<u>4,11</u> 5	<u>10,21</u> 2	<u>21,55</u> 1	
Соборний район	<u>4,08</u> 4	<u>13,68</u> 3	<u>16,60</u> 1	
Центральний район		<u>11,85</u> 2		<u>33,53</u> 1
Чечеловський район	<u>6,44</u> 1	<u>11,69</u> 4	<u>26,93</u> 3	<u>35,91</u> 1
Шевченківський район	<u>6,02</u> 2	<u>12,39</u> 1	<u>22,54</u> 4	
Лівобережжя	<u>3,89</u> 14	<u>10,80</u> 6	<u>22,43</u> 5	<u>45,99</u> 1
Правобережжя	<u>5,71</u> 13	<u>12,07</u> 11	<u>22,92</u> 12	<u>37,66</u> 3
Дніпропетровськ	<u>4,76</u> 27	<u>11,62</u> 17	<u>22,77</u> 17	<u>39,74</u> 4

Примітка: чисельник - середнє значення  $Z_c$  в ґрунтах відповідної категорії забруднення; знаменник - кількість ключових ділянок відбору проб ґрунту.

Поліелементне забруднення ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпропетровська мало дещо строкатий характер і коливалось в досить широких межах від дуже слабкого до сильного. Дуже слабкий та слабкий рівень забруднення були притаманні переважно рекреаційним зонам та приватному сектору периферійних районів міста, таких як Дійовка 1 і Дійовка 2, Ігринь та деяким ділянкам Амур-Нижньодніпровському району. Стосовно висотної забудови спостерігалась наступна тенденція, а саме, з віддаленням її від промислових зон та автомагістралей з інтенсивним рухом сумарний показник забруднення знижувався від помірного до слабкого. Найвищий рівень поліелементного забруднення мав локальний характер, так його ареали було зафіксовано в зонах впливу південно-західної групи заводів; ПАО “Дніпропетровський металургійний завод ім. Комінтерна” та ПАО “Дніпропетровський завод прокатних валків” вздовж лівого берега р. Дніпро; ООО “Дніпропетровський завод Продмаш”, що підсилювалося дією автотранспорту по пр. Олександра Поля. Лівобережжя м. Дніпропетровська в меншій мірі було забруднено, ніж Правобережжя. Розподілення СПЗ відносно категорій градації Ю.В. Саєта (1998) надало змогу класифікувати ступень забруднення від дуже слабкого – 27, слабкого – 17, помірного – 17, до сильного – 4 ділянки відбору проб відповідно (табл. 3).

Розрахунок поелементного показника  $K_c$  по Cu, Zn, Pb, Cd, Ni поряд з інтегральним  $Z_c$  надало можливість порівняти їх категорії за ступенем небезпеки з прив'язкою до геохімічного фону та значень ГДК (табл. 4). Широкі межі коливань між максимальним та мінімальним значенням перевищення геохімічного фону та ГДК зумовлюються чітко вираженою наявністю пріоритетних забруднювачів - Cu, Zn Pb на фоні деконцентрації за рештою елементів.

Між нормуванням за  $Z_c$  та відносно поелементного перевищення металом ГДК існує невідповідність, адже при помірному ступені забруднення ґрунту, надлишок ВМ більший за ГДК в 8,3 рази, що не відповідає санітарно гігієнічним нормам, а саме: перевищення в 1-3 ГДК - низький рівень, в 3-5 ГДК - середній та більш ніж 5 разів - високий рівень забруднення відповідно [6].

Отже при нормуванні поліелементного забруднення ґрунту за  $Z_c$  слід внести корективи і зважати також на ГДК, застосування якої надає можливість пов'язати якість навколишнього природного середовища з рівнем захворюваності населення, що мешкає на забрудненій території.

Таблиця 4

Градація ґрунтів за сумарним показником забруднення з урахуванням показників здоров'я населення

Категорія за $Z_c$	Перевищення фону		Перевищення ГДК		Показники здоров'я населення [15]
	min	max	min	max	
Дуже слабка (0-8)	0,3	3,00	0,05	0,75	Найбільш низький але достовірний рівень захворюваності дітей та мінімальна частота функціональних відхилень
Слабка (8-16)	0,85	9,85	0,12	3,90	
Помірна (16-32)	1,44	21,00	0,20	8,30	Збільшення загальної захворюваності населення
Сильна (32-64)	0,97	19,90	0,13	12,76	Збільшення загальної захворюваності, числа часто хворюючих дітей, дітей з хронічними захворюваннями, порушення функціонального стану серцево-судинної системи

**Висновки.** Обґрунтована доцільність використання сумарного показника забруднення Ю.В. Саєта, як такого що не зводить комплексний вплив важких металів до простої сумачії, проте відносно нього виявлена невідповідність визначеної категорій забруднення санітарно-гігієнічному нормативу - ГДК. Встановлено, що ступень забруднення ґрунтів м. Дніпропетровська змінювався від дуже слабкого - 27, слабкого - 17, помірного - 17, до сильного - 4 ділянки відбору проб відповідно. Визначено величину урбанізованого фону, який по Cd був в 1,5 рази; Cu - 2,2; Pb - 5,6; Zn - 7,4 рази вищий за геохімічний фон у зонального ґрунту - чорнозему звичайного. Запропоновано уточнити категорії при нормуванні сумарного показника забруднення і коефіцієнтів концентрації, як його складових, та скорегувати їх з ГДК.

**Напрямок подальших досліджень** потрібно зосередити на розробці системи екологічного моніторингу за рівнем поліелементного забруднення ВМ міських ґрунтів з обов'язковим залученням до неї міроприємств з детоксикації та фітотерапії, що забезпечить дотримання норм екобезпеки та комфортні умови життєдіяльності населення урбоєкосистем.

## Список літератури

1. Бушуев Н. Н. Тяжелые металлы в промышленном производстве и их влияние на здоровье человека / Н. Н. Бушев: труды VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 24-26 ноября 2011 г. Санкт-Петербург. – 2011. – Т. 6, № 1. – С. 115-116.
2. Тилекова Ж. Т. Оценка загрязнения почв Прибалхашья тяжелыми металлами / Ж. Т. Тилекова, М. С. Тонкопий, Б. Е. Тастанова // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2. – С. 3723-3726.
3. Мотузова Г. В. Экологический мониторинг почв / Г. В. Мотузова, О. С. Безуглова. – Москва: Академический проект Гаудеамус, 2007. – 237 с.
4. Добровольский В. В. Биосферные циклы тяжелых металлов и регуляторная роль почв / В. В. Добровольский // Почвоведение. – 1997. – № 4. – С. 431-441.
5. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Б. А. Ревич, Ю. Е. Сагет, Р. С. Смирнов. – М.: ИМГРЭ, 1990. – 15 с.
6. Добровольский В. В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами / В. В. Добровольский // Почвоведение. – 1999. – № 5. – С. 639-645.
7. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water Res 1980;14:975 – 1001.
8. Rahman S. H. Assessment of heavy metal contamination of agricultural soil around Dhaka Export Processing Zone (DEPZ), Bangladesh: implication of seasonal variation and indices / S. H. Rahman, D. Khanam, T. M. Adyel, M. S. Islam // Applied sciences. – 2012. – № 2. – P. 584-601.
9. Loska K. Metal contamination of farming soils affected by industry / K. Loska, D. Wiechula, I. Kornis // Environment international. – 2004. – № 30. – P. 159-165.
10. Степанок В. В. Влияние комплексов техногенных элементов на химический состав сельскохозяйственных культур / В. В. Степанок // Агрохимия. – 2003. – № 1. – С. 50–60.
11. Яковишина Т. Ф. Екологічний моніторинг: контроль і детоксикація важких металів в ґрунтах урбоєкосистем / Т. Ф. Яковишина. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2013. – 101 с.
12. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – Москва: 1992. – 61 с.
13. Методи аналізу ґрунту і рослин: методичний посібник / За заг. ред. С.Ю. Булигіна. – Харків: Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. О.Н. Соколовського, 1999. – 157 с.
14. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – Москва: Высшая школа, 1990. – 351 с.
15. СанПиН 4266-87. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. – Москва, 1987.

Рукопись поступила во редакцию 14.04.16

УДК 332.6

М.А. МАЛАШЕВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., ВСП ІПО КНУБА

## ОПОДАТКУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ПІДЗЕМНОГО КОМЕРЦІЙНОГО ПРОСТОРУ

З розвитком сучасних технологій будівельної галузі, особливо такі тенденції характерні для міст, спостерігається інтенсивний розвиток підземного комерційного будівництва. В статті розглянута законодавча та нормативно-правова база реєстрації земельних ділянок як об'єкту нерухомого майна. Відповідно до норми податкового кодексу передбачено об'єкти за які справляється плата, та ті об'єкти які звільнені від такої плати. Проведений аналіз законодавчого забезпечення оподаткування об'єктів комерційного простору засвідчив, що існують підземні об'єкти які використовуються в комерційних цілях, але на сьогоднішній день не оподатковуються. Також встановлено що відсутні відомості про підземні об'єкти в Державному земельному кадастрі, та право на землю для таких об'єктів не оформлюється. Виконано розрахунки об'єкту підземного комерційного простору на прикладі міста Києва за які на сьогоднішній день земельний податок, або орендна плата не сплачується. Розраховано нормативно-грошової оцінку одного з підземних торговельних комплексів яка урахуванням особливостей місцезнаходження та розраховано орендну ставку. Представлено надходження коштів який отримає бюджет міста Києва від плати за землю за договором оренди на прикладі досліджуемого об'єкта. Дослідження в даній роботі невід'ємно пов'язане з формуванням національної податкової системи в Україні, та просторовим впорядкуванням земель. Налагодження механізмів реєстрації та оподаткування об'єктів підземного комерційного простору невід'ємно пов'язано з державною цільовою програмою розвитку земельних відносин. Державна реєстрація права власності на підприємство як єдиний майновий комплекс, житловий будинок, будівлю, споруду або їх окремі частини проводиться незалежно від того, чи зареєстроване право власності на земельну ділянку, на якій вони розташовані.

**Постановка проблеми.** Здійснювана в Україні земельна реформа спрямована на створення умов для розвитку інституту приватної власності на землю, приватизації землі, переведення земельних відносин на ринкові засади, створення прозорого ринку земель, складовою якого є

об'єктивне визначення реальної, справедливої ціни землі шляхом проведення експертної грошової оцінки. Створене в державі правове поле становлення та розвитку ринку землі дало змогу на регіональному рівні забезпечити формування первинного ринку землі, включення їх у ринковий обіг, адже земля є матеріальною та фінансовою основою самоврядування, головним складовим компонентом ресурсного потенціалу населених пунктів. На сьогоднішній день в Україні проходить вдосконалення національної податкової системи, успішна реалізація якої дасть можливість істотно підтримати бюджетні показники. Освоєння підземного простору та його багатофункціональне використання, особливо в умовах щільної забудови у великих містах та постійної нестачі земельних ресурсів, з кожним роком набуває все більшої поширеності в Україні. У зв'язку з цим постає проблема реєстрації та оподаткування земельних ділянок, у підземному просторі яких розташовані об'єкти, що використовуються у комерційних цілях.

**Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями.** Дослідження в даній роботі невід'ємно пов'язане з формуванням національної податкової системи в Україні, та просторовим впорядкуванням земель. Налагодження механізмів реєстрації та оподаткування об'єктів підземного комерційного простору невід'ємно пов'язано з державною цільовою програмою розвитку земельних відносин [12].

**Викладення основного матеріалу дослідження.** У сьогоднішніх умовах розвитку міст можна констатувати тенденцію інтенсивного освоєння підземного простору.

Останнім часом в Україні через гострий дефіцит території ведуться роботи по підземному будівництву площ і доріг у центральних районах, але процес зведення поодиноких об'єктів та розробки попередніх проектних пропозицій ускладнюється не тільки умовами ринкової економіки, за якими вибір ділянок для проектування і будівництва підземних торговельних комплексів диктується переважно комерційними цілями замовників.

У сучасному підземному будівництві переважають об'єкти до яких відносяться підземні торговельні комплекси, торговельні площі в підземних пішохідних переходах; тунелі, інженерні мережі та комунікації, трубопроводи, метро, підземні паркінги та ін..

Стаття 67 Конституції України встановлює норму відповідно до якої кожен зобов'язаний сплачувати податки і збори в порядку і в розмірах, встановлених законом [10].

Відповідно до статті 79 Земельного кодексу України земельна ділянка - це частина земної поверхні з установленими межами, певним місцем розташування, з визначеними щодо неї правами. Право власності на земельну ділянку поширюється в її межах на поверхневий (грунтовий) шар, а також на водні об'єкти, ліси і багаторічні насадження, які на ній знаходяться, якщо інше не встановлено законом та не порушує прав інших осіб. Право власності на земельну ділянку розповсюджується на простір, що знаходиться над та під поверхнею ділянки на висоту і на глибину, необхідні для зведення житлових, виробничих та інших будівель і споруд [1,5].

Згідно з статтею 125 Земельного кодексу України право власності на земельну ділянку, право постійного користування та право оренди земельної ділянки виникають з моменту державної реєстрації прав.

Також статтею 79 Земельного кодексу України встановлено, що земельна ділянка може бути об'єктом цивільних прав виключно з моменту її формування (крім випадків суборенди, сервітуту щодо частин земельних ділянок) та державної реєстрації права власності на неї.

Державна реєстрація речових прав на земельні ділянки здійснюватиметься після державної реєстрації земельних ділянок у Державному земельному кадастрі.

Державна реєстрація прав суборенди, сервітуту, які поширюються на частину земельної ділянки, здійснюватиметься після внесення відомостей про таку частину до Державного земельного кадастру [3,5].

Зазначимо що необхідно враховувати, що земельна ділянка підлягає державній реєстрації у Державному земельному кадастрі в порядку, встановленому Законом (стаття 202 Земельного кодексу України). Відповідно до абзацу п'ятого пункту 4 Постанови «Про затвердження Порядку державної реєстрації прав на нерухоме майно та їх обтяжень і Порядку надання інформації з Державного реєстру речових прав на нерухоме майно» державна реєстрація речових прав на земельні ділянки здійснюється після державної реєстрації земельних ділянок у Державному земельному кадастрі.

При цьому необхідно звернути увагу що в абзаці третьому пункту 4 даного Порядку державна реєстрація права власності на підприємство як єдиний майновий комплекс, житловий

будинок, будівлю, споруду або їх окремі частини проводиться незалежно від того, чи зареєстроване право власності на земельну ділянку, на якій вони розташовані [6].

Статтею 120 Земельного кодексу України встановлено, що у разі набуття права власності на жилий будинок, будівлю або споруду, що перебувають у власності, користуванні іншої особи, припиняється право власності, право користування земельною ділянкою, на якій розташовані ці об'єкти. До особи, яка набула право власності на жилий будинок, будівлю або споруду, розміщені на земельній ділянці, що перебуває у власності іншої особи, переходить право власності на земельну ділянку або її частину, на якій вони розміщені, без зміни її цільового призначення.

Аналогічне положення міститься також у статті 377 Цивільного Кодексу [7].

Відповідно до статті 191 Цивільного кодексу України підприємство є єдиним майновим комплексом, що використовується для здійснення підприємницької діяльності.

До складу підприємства як єдиного майнового комплексу входять усі види майна, призначені для його діяльності, включаючи земельні ділянки, будівлі, споруди, устаткування, інвентар, сировину, продукцію, права вимоги, борги, а також право на торговельну марку або інше позначення та інші права, якщо інше не встановлено договором або законом.

Слід враховувати, що єдиний майновий комплекс згідно зі статтею 188

Цивільного Кодексу є складною річчю (нерухомим майном) до складу якої, зокрема, входять інші нерухомі речі, речові права на які підлягають державній реєстрації. У зв'язку з цим, при проведенні державної реєстрації права власності на підприємство як єдиний майновий комплекс, подаються документи, що підтверджують виникнення, перехід та припинення права власності щодо кожного об'єкта нерухомого майна, що входить до складу єдиного майнового комплексу [1, 8].

Статтею 380 Цивільного Кодексу передбачено, що житловим будинком є будівля капітального типу, споруджена з дотриманням вимог, встановлених законом, іншими нормативно-правовими актами, і призначена для постійного у ній проживання.

Аналогічне визначення міститься в Податковому кодексі України.

Так, можна виділити такі основні ознаки, сукупність яких визначає будівлю як житловий будинок, а саме:

будівля капітального типу;

споруджена з дотриманням вимог, встановлених законом, іншими нормативно-правовими актами;

призначена виключно для постійного у ній проживання фізичних осіб.

Відповідно до підпункту 14.1.129 пункту 14.1 статті 14 Податкового кодексу України житлові будинки поділяються на житлові будинки садибного типу та житлові будинки вартирного типу різної поверховості.

Так, Порядком прийняття в експлуатацію індивідуальних (садибних) житлових будинків, садових, дачних будинків, господарських (присадибних) будівель і споруд, прибудов до них, громадських будинків I та II категорій складності, які збудовані без дозволу на виконання будівельних робіт, і проведення технічного обстеження їх будівельних конструкцій та інженерних мереж, затвердженим наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства від 24.06.2011 № 91, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 11.07.2011 за № 830/19568, передбачено, що індивідуальний (садибний) житловий будинок - будівля капітального типу, споруджена з дотриманням вимог, встановлених законом, іншими нормативно-правовими актами, поверховість якої не повинна перевищувати чотирьох поверхів, призначена для постійного у ній проживання та яка складається із житлових та допоміжних (нежитлових) приміщень [9].

Відповідно до розділу XI Податкового кодексу України [1]. «Плата за користування надрами» справляється плата за користування надрами для видобування корисних копалин та в цілях, не пов'язаних з видобуванням корисних копалин.

Платниками за користування надрами в цілях, не пов'язаних з видобуванням корисних копалин, є юридичні та фізичні особи - суб'єкти господарської діяльності, які використовують у межах території України ділянки надр для:

зберігання природного газу, нафти, газоподібних та інших рідких нафтопродуктів;

витримування виноматеріалів, виробництва і зберігання винопродукції;

виращування грибів, овочів, квітів та інших рослин;  
зберігання харчових продуктів, промислових та інших товарів, речовин і матеріалів;  
провадження інших видів господарської діяльності.

Згідно ст. 264.2.1. Податкового кодексу України, об'єктом оподаткування платою за користування надрами в цілях, не пов'язаних з видобуванням корисних копалин, є обсяг підземного простору (ділянки) надр, а саме:

активний об'єм зберігання газу в пористих чи тріщинуватих геологічних утвореннях (пластах-колекторах);

об'єм спеціально створених та існуючих гірничих виробок (відпрацьованих і пристосованих), а також природних порожнин (печер);

площа підземного простору, що надана у користування в спеціально створених та існуючих гірничих виробках (відпрацьованих і пристосованих), а також природних порожнинах (печерах).

Отже, в Податковому кодексі ні де не згадується про використання підземного комерційного простору міст.

Підставою для нарахування земельного податку є дані державного земельного кадастру[3]. На сьогоднішній день у Державному земельному кадастрі відсутні відомості про підземні об'єкти, право на землю для таких об'єктів не оформлюється. Як наслідок, плата за землю під підземними об'єктами не справляється.

Дослідимо один з найбільших підземних торговельних комплексів в місті Києві(рис. 1). Торговельний комплекс «Метроград» займає 20 тис. кв.м. торгівельних площ підземного простору від станції метро Льва Толстого до вулиці Хрещатик.



Рис. 1. План-схема торгового центра Метроград

Грошова оцінка земельної ділянки визначається на основі базової вартості одного квадратного метра землі з урахуванням коригуючих коефіцієнтів, що відображають зміни прибутковості землі при дії різних факторів на локальному рівні і застосовуються згідно з рішенням [4].

Виходячи з вищевикладеного, грошова оцінка ТЦ «МЕТРОГРАД» землі з урахуванням особливостей місцезнаходження даної земельної ділянки в межах економіко-планувальної зони становить [11-15]

$$Ц_{н} = 21000 \times 1975,30 \times 2,50 \times 1,50 \times 1,028 \times 1,152 \times 1,059 = 130057056,6 \text{ грн.}$$

Передача об'єктів в оренду здійснюється на платній основі, оскільки проведення оренди пов'язане з формуванням грошових потоків, які мають розподілятися між суб'єктами орендних відносин.

На земельних ділянках на яких розташовані будівлі в яких використовується нежиле приміщення яке передано в оренду НГО розраховується пропорційно займаній площі. Орендна ставка розраховується згідно видів економічної діяльності [2].

Балансоутримувач ТЦ «Метроград» здає свої приміщення в оренду, виходячи з цього приймаємо розрахунок операції з нерухомим майном згідно видів економічної діяльності ставка якої становить 10 відсотків. Виходячи з викладеного проводимо розрахунок орендної ставки для ТЦ «МЕТРОГРАД» становитиме, грн

$$Ц_{н} = 13005705,66 / 10\% = 1300570,56.$$



**Висновки та напрямок подальших досліджень.** В умовах розвитку земельних відносин залишається актуальним питання сплати земельного податку за об'єкти, розташовані у підземному просторі. Такими об'єктами можуть бути як об'єкти комунального господарства, так і ті, що використовуються в комерційних цілях. Зважаючи на те, що права на землю для таких об'єктів не оформлюється, а відомості про них не вносяться до Державного земельного кадастру, база для оподаткування зазначених об'єктів відсутня. Вирішення поставленої проблеми сприятиме удосконаленню механізмів земельного моніторингу, особливо у крупних містах, та, зокрема, удосконаленню національної податкової системи та збільшення коштів, що потрапляють до місцевих бюджетів від справляння плати за землю.

#### Список літератури

1. Податковий кодекс України. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2011, № 13-14, № 15-16, № 17, ст.112.
2. Класифікація видів економічної діяльності / наказ Держспоживстандарту від 11.10.2010 № 457 .
3. Закон України “Про державний земельний кадастр” Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2012, N 8, ст.61.
4. Рішення Київської міської ради від 26.07.2007 №43/1877 «Про затвердження технічної документації з нормативної грошової оцінки земель міста Києва та Порядку її визначення».
5. Земельний кодекс України № 2768-III від 14 травня 2013 р.
6. Про затвердження Порядку державної реєстрації прав на нерухоме майно та їх обтяжень і Порядку надання інформації з Державного реєстру речових прав на нерухоме майно. Постанова Кабінету Міністрів України № 703 від 22.06.2011 р.
7. Цивільний кодекс України № 435-IV від 16 січня 2003 р.
8. Про затвердження Порядку державної реєстрації прав на нерухоме майно та їх обтяжень і Порядку надання інформації з Державного реєстру речових прав на нерухоме майно. Постанова Кабінету Міністрів України № 703 від 22.06.2011 р.
9. Про затвердження Порядку прийняття в експлуатацію індивідуальних (садибних) житлових будинків, садових, дачних будинків, господарських (присадибних) будівель і споруд, прибудов до них, громадських будинків I та II категорій складності, які збудовані без дозволу на виконання будівельних робіт, і проведення технічного обстеження їх будівельних конструкцій та інженерних мереж. Наказ, Порядок Мінрегіон України №91 від 24.06.2011 р.
10. Конституція України № 254к/96 від 28.06.1996 року.
11. Про Порядок нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення та населених пунктів. Спільний наказ Держкомзему, Мінагрополітики, Мінбудархітектури та УААН № 18/15/21/11 від 07.01.2006, зареєстрований у Мін'юсті 05.04.2006 за № 388/12262. -[htr://zakon.rada.gov.ua/go/z0388-06](http://zakon.rada.gov.ua/go/z0388-06).
12. Концепція Державної цільової програми розвитку земельних відносин в Україні на період до 2020 року: Розпорядження // Відомості Кабінету Міністрів України від 17.06.2009 № 743-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/743-2009-%D1%80>
13. **Малашевський М.А., Горпиніч Л.В.** Підходи до визначення наднормативних площ під промисловими об'єктами // Інженерна геодезія: науково-технічний збірник. – Вип. 60 / Відповідальний редактор С.П. Войтенко. – К.: КНУБА, 2014.
14. **Zimmermann W.** Effective and Transparent Management of Public Land: Experiences, Guiding Principles and Tools for Implementation. – International Federation of Surveyors, December 2008. – 17 p.
15. FAO (2009) Compulsory acquisition of land and compensation. FAO Land Tenure Studies 10. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Рукопись поступила во редакцию 14.04.16

УДК 69.059-027.45: 622.012.2

Б. М. АНДРЕЄВ, д-р техн. наук, проф.,  
Д. В. БРОВКО, В. В. ХВОРОСТ, кандидати техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

### **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО КОМПЛЕКСУ МЕТОДОМ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД**

Викладено концепцію технічного нагляду за об'єктами на поверхні шахт та виробничої безпеки як складової частини промислової безпеки. Наведено основні терміни та визначення надійності, вказані основні небезпеки технічного стану прогнотивних будов шахто видобувних підприємств. Розглянуто основні положення теорії надійності. Наведено математичні формулювання, що використовуються при оцінці та розрахунку основних властивостей і параметрів надійності технічних об'єктів. Виконано аналіз напружено-деформованого стану прогнотивних будов за умови переходу їх на полегшені огорожувальні конструкції. Розрахунок виконано за допомогою проектно-обчислювального комплексу SCAD. Комплекс реалізує скінчено-елементне моделювання статичних і динамічних

розрахункових схем, перевірку стійкості, вибір невідгідних поєднань зусиль, підбір арматури залізобетонних конструкцій, перевірку несучої здатності сталевих конструкцій. За результатами проведених досліджень встановлено, що власна частота коливань прогонової будови перебуває в обернено пропорційній залежності від маси його елементів і довжини прогону. Закономірності, отримані в результаті теоретичних, експериментальних досліджень і в комп'ютерному моделюванні, використано для розробки рекомендацій з визначення раціональних конструктивних параметрів прогонових будов при переході на полегшені огорожувальні конструкції. За результатами комп'ютерного моделювання була виведена залежність верхньої та нижньої границь резонансної зони від поєднання статичних навантажень. Так, чим меншим є статичне навантаження, тим вищим є значення резонансних зон. У результаті проведених досліджень отримано ряд залежностей, завдяки яким значно спрощуються перевірені розрахунки на стадії проектування реконструкції прогонових будов. За допомогою даної методики та завдяки проведеним дослідженням і накопиченому практичному досвіду сформовано перспективний напрямок розвитку технології реконструкції галерей.

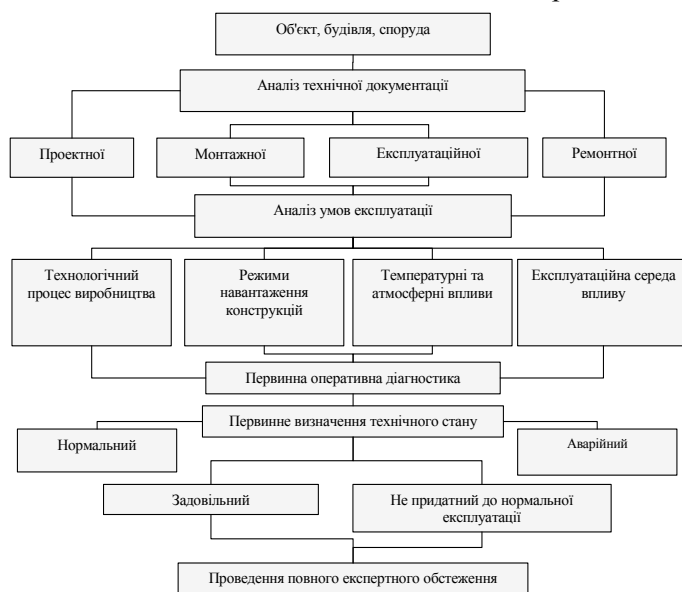
**Ключові слова:** надійність; реконструкція; поверхня шахт; прогонові будови; динамічні характеристики; відмова об'єкта; резонанс.

**Проблема і її зв'язок з практичними завданнями.** Згідно статистики приблизно в 80% випадків аварій об'єктів поверхні з обваленням несучих конструкцій відбувається в результаті людських помилок, допущених при проектуванні, зведенні та експлуатації будівель і споруд. Ці помилки формують не тільки термін служби об'єкта, але і розмір збитків в разі його аварії. Розглянемо методику, яка містить принципові положення визначення залишкового ресурсу і встановлює вимоги щодо визначення прогнозованого ресурсу будівель [4]. Методика призначена для використання при діагностуванні та визначенні технічного стану і прогнозованого ресурсу об'єктів поверхні, в яких, згідно проекту та нормативної документації, вироблений термін експлуатації і потрібне проведення ремонтно-відновлювальних робіт для продовження цього терміну. Відповідно до даного підходу діагностика об'єкта здійснюється за параметрами технічного стану, що забезпечує його надійну і безпечну експлуатацію згідно нормативно-технічної і проектною документації, а залишковий ресурс - по визначальним параметрам технічного стану. В якості останніх приймаються параметри, зміна яких (окремо або в деякій сукупності) може привести об'єкт в непрацездатний або граничний стан. Залежно від критеріїв граничного стану і умов експлуатації об'єкта параметрами його технічного стану служать: характеристики матеріалів; коефіцієнти запасів міцності; технологічні показники.

**Постановка задачі.** Оцінка параметрів технічного стану та вибір критеріїв здійснюється за результатами аналізу технічної документації, даних діагностики та експертного обстеження [5].

Прогнозування залишкового ресурсу або встановлення призначеного ресурсу здійснюється відповідно до закономірностей зміни визначальних параметрів, що отримані при аналізі механізмів розвитку ушкоджень та за результатами вимірювання функціональних показників [6]. На підставі отриманих результатів приймається одне з рішень: продовження експлуатації; ремонт; реконструкція; зміна експлуатації.

**Викладення матеріалу і результатів.** На першому етапі проводиться загальна первинна діагностика, основні етапи якої показані на рис. 1.



**Рис. 1.** Основні етапи загальної первинної діагностики об'єкту

Ціль загальної первинної діагностики - отримання повних даних про технічний стан об'єкта, що обстежується, на момент виникнення питання. Здійснюється аналіз технічної документації, аналіз умов експлуатації і виконується первинне визначення технічного стану. Результатом первинної діагностики є дефектна відомість із зазначенням технічного стану конструкцій та висновками про необхідність проведення повного експертного обстеження.

Далі, за необхідності, проводиться повне експертне обстеження. Мета - отримання інформації про реальний

технічний стан об'єкта, наявності в ньому ушкоджень, виявлення причин і механізмів їх виникнення та розвитку. Повне експертне обстеження, основні етапи якого показані на рис. 2, включає в себе три основні блоки: обстеження відповідності проекту; експериментальні дослідження; розрахунок за граничними станами.

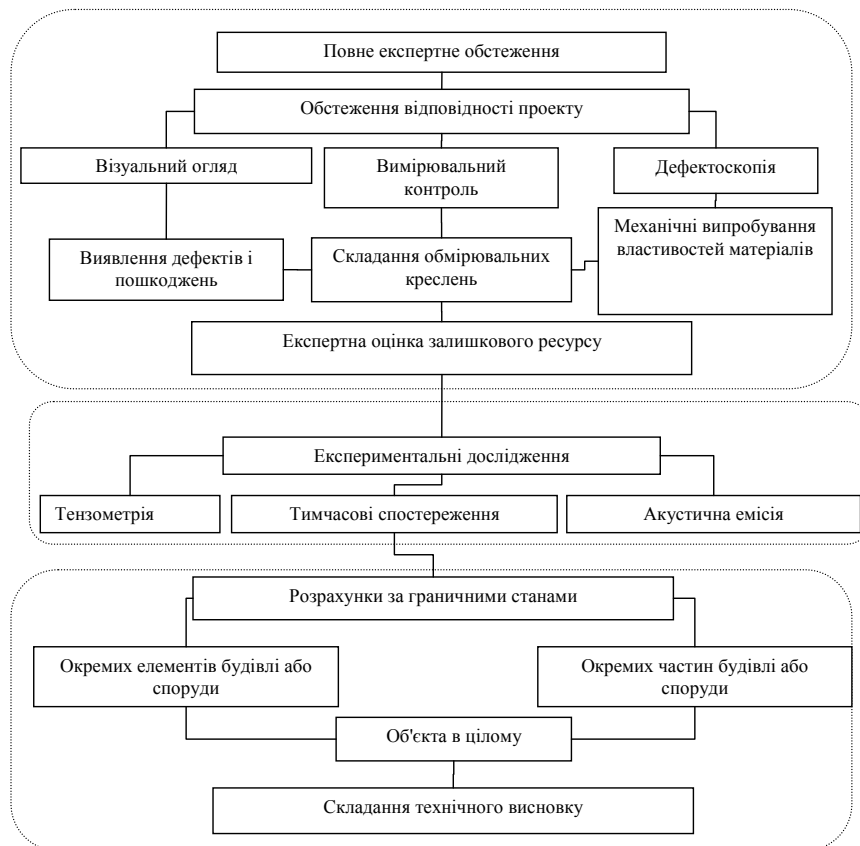


Рис. 2. Основні етапи повного експертного обстеження

На підставі отриманих результатів приймається одне з рішень: продовження експлуатації; ремонт; реконструкція; зміна експлуатації.

Основні етапи прийняття рішення та виконання робіт показані на структурній схемі рис. 3.

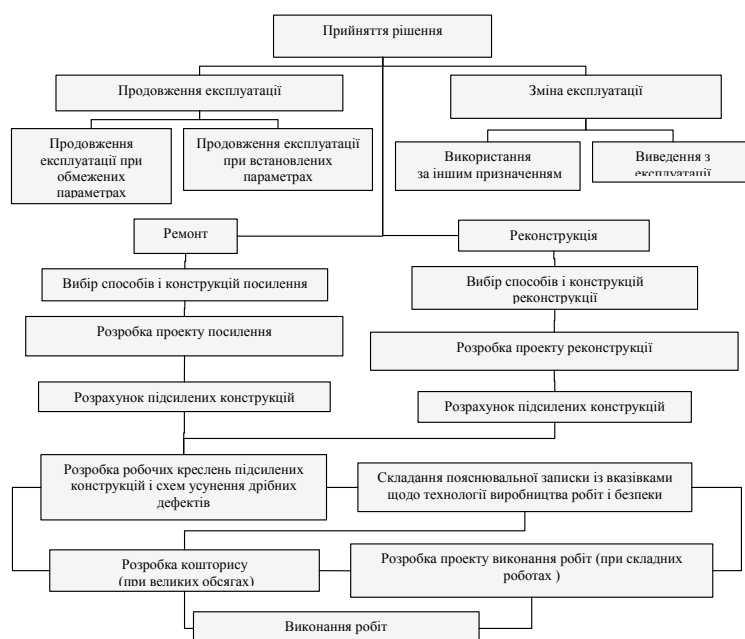


Рис. 3. Основні етапи прийняття рішення та виконання робіт

За допомогою даної методики та завдяки проведеним дослідженням і накопиченому практичному досвіду сформовано перспективний напрямок розвитку технології реконструкції галерей, який полягає у заміні старих залізобетонних огорожувальних конструкцій на сучасні полегшені матеріали.

Найважливішою динамічною характеристикою прогонової будови галереї є частота власних поперечних коливань. При динамічних розрахунках галерей можна враховувати тільки першу частоту власних коливань, середнє ймовірне значення якої може бути ви-

значене за формулою

$$\theta = \alpha \frac{\beta}{l} \sqrt{\frac{Ehq_1}{R_0 q_2}}, \quad (1)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт, який дорівнює для галерей з розташуванням транспортера по низу ферм 9, а по верху - 10,5;  $\beta$  - коефіцієнт, який дорівнює одиниці при розрахунку середньої прогонової будови і за монограмою - крайньої прогонової будови з консоллю;  $q_2$  - розрахункова вага прогонової будови з усіма навантаженнями, які мають масу, за винятком навантажень від натовпу, просипу і деталей;  $q_1$  - розрахункова вага прогонової будови з усіма тимчасовими навантаженнями, які мають масу;  $R_0, E$  - розрахунковий опір і модуль пружності матеріалу поясів головних ферм;  $h, l$  - розрахункова висота і довжина прогону головних ферм.

При розрахунку несучих конструкцій на дію періодичних навантажень точність розрахунку суттєво залежить від точності вихідних даних.

Оскільки вихідні дані (конструктивні схеми, навантаження, жорсткості елементів і стиків, маси) для будівельних конструкцій задаються з порівняно невеликою точністю, похибка розрахунку поблизу резонансу може в багато разів перевищити звичайні для інженерних розрахунків межі, особливо при малих значеннях коефіцієнта непружного опору.

Тому при розрахунку на гармонійні й періодичні навантаження обов'язково повинна враховуватися можлива похибка у визначенні власних частот, а також можливість зміни власних частот конструкцій у процесі експлуатації будівлі або споруди.

Ця похибка враховується введенням частотних зон, усередині яких перебуває розрахункове значення власної частоти.

Ширина резонансної зони (область  $\theta_1' \div \theta_1''$  значень нижчої частоти власних вертикальних коливань прогонової будови) становить

$$\theta_1' = 0,9 \theta_{1\min} \div \theta_1'' = 1,1 \theta_{1\max}. \quad (2)$$

де  $\theta_{1\min}$  и  $\theta_{1\max}$  – відповідно, мінімальне і максимальне значення нижчої власної частоти вертикальних коливань прогонової будови.

Значення  $\theta_{1\min}$  и  $\theta_{1\max}$  відповідають найменшій і найбільшій масі прогонової будови.

Заміна огорожувальних конструкцій спричиняє зниження постійних навантажень на відповідні елементи галереї, такі як: перекриття, покриття та стіни.

Для того щоб простежити, як зміни навантажень будуть впливати на міцнісні й динамічні характеристики галереї теоретичні дослідження проводилися в декілька етапів.

У результаті заміни залізобетонних конструкцій на полегшені постійне навантаження на стіни зменшилося на 33,7 %, що у свою чергу призвело до зниження маси прогону галереї на 8 %.

Решта навантажень залишилися без зміни.

При заміні перекриття постійне навантаження зменшилося на 53,3 %, а маса прогону - на 16 %.

Коли замінили покриття галереї, тоді знизилася постійне навантаження на 14,93 %, а маса на 16,5%.

На останньому етапі проводилася заміна всіх огорожувальних конструкцій, що в кінцевому результаті знизило масу прогону на 40,5 %.

Отже, полегшені огорожувальні конструкції залежно від їх жорсткості й маси збільшують величину власних вертикальних коливань на 5-36 %.

На підставі проведених досліджень впливає, що в галереях з довжиною прогону 24 і 30 м систематичні резонансні коливання виключено навіть при повній заміні огорожувальних конструкцій.

Небезпечним є прогін завдовжки 18 м, в якому може реалізуватися резонансний режим. Виходячи з цього, розрахунки на міцність, стійкість і витривалість необхідно виконувати тільки для цього прогону.

Подальші дослідження проведені за допомогою комп'ютерного моделювання міцнісних і динамічних характеристик прогонових будов.

Розрахунок виконано за допомогою проектно-обчислювального комплексу SCAD.

Комплекс реалізує скінчено-елементне моделювання статичних і динамічних розрахункових схем, перевірку стійкості, вибір невідгінних поєднань зусиль, підбір арматури залізобетонних конструкцій, перевірку несучої здатності сталевих конструкцій.

За результатами проведених досліджень встановлено, що власна частота коливань прогонової будови перебуває в обернено пропорційній залежності від маси його елементів і довжини прогону.

Подібна залежність спостерігається для прогонів завдовжки 18, 24 і 30 м.

Також було встановлено залежність внутрішніх зусиль в елементах ферми від маси прогону. При розрахунку від статичної складової навантаження простежується пряма залежність внутрішніх зусиль від маси прогону. Зі зменшенням маси зусилля від статичного навантаження зменшуються. Що стосується динамічної складової навантаження, то тут простежується зворотна залежність.

Величина динамічних зусиль в елементах ферми зростає при зменшенні маси прогону, а при близькості частоти вимушених коливань - до першої частоти вільних коливань, тобто при режимах, близьких до резонансу, навіть перевищує величину статичних зусиль.

Аналіз динамічного розрахунку показав, що в умовах резонансу зусилля в елементах зростають на 30 %. Це може привести до аварійної ситуації, тому необхідно виконати перевірені розрахунки на міцність, стійкість і витривалість.

Експериментальні дослідження динаміки прогонової будови виконані на діючій транспортній галереї.

Огороджувальні конструкції, плити підлоги та покриття галереї до заміни являли собою збірні залізобетонні плити, стіни, виконані із залізобетонних тришарових панелей. Галерею об'єднано стрічковим конвеєром.

Порівняльний аналіз результатів теоретичних розрахунків з визначення динамічних характеристик прогонової будови галереї з результатами експериментальних досліджень вихідної будови вказує на те, що: експериментальне значення частоти динамічного обурення від конвеєра трохи вище за розрахункове  $35,4 > 31,4 \text{ с}^{-1}$ ; середня розрахункова частота динамічного збурення від конвеєра для ферм Ф1, Ф2, Ф3, Ф4 і балок покриття та перекриття не потрапляє в першу резонансну зону, що виключає реалізацію резонансного режиму.

Подальші експериментальні дослідження вібрації ферм проводилися на прогонових будовах транспортної галереї з полегшеними огорожувальними конструкціями.

Аналіз амплітудних спектрів і графіків віброприскорень показує, що коливання у фермах формуються на низьких частотах (3-100 Гц).

Аналіз результатів замірів віброприскорень для прогону завдовжки 18 м показав, що при роботі конвеєра істотно збільшується максимальне значення віброприскорення, віброшвидкості і переміщень як у вертикальному, так і поздовжньому напрямках. Збільшення віброприскорень у вертикальному напрямку становить 30-35 разів, а в поздовжньому напрямку - 6-9 разів, що свідчить про потрапляння частоти динамічного збурення від конвеєра в першу резонансну зону, що призводить до реалізації резонансного режиму.

Аналіз результатів замірів показав, що максимальне значення віброприскорень перевищує на 10-15 % допустимі значення.

Закономірності, отримані в результаті теоретичних, експериментальних досліджень і в комп'ютерному моделюванні, використано для розробки рекомендацій з визначення раціональних конструктивних параметрів прогонових будов при переході на полегшені огорожувальні конструкції.

За результатами комп'ютерного моделювання була виведена залежність верхньої та нижньої границь резонансної зони від поєднання статичних навантажень. Так, чим меншим є статичне навантаження, тим вищим є значення резонансних зон.

У результаті проведених досліджень отримано ряд залежностей, завдяки яким значно спрощуються перевірені розрахунки на стадії проектування реконструкції прогонових будов.

**Висновки і напрямки подальших досліджень.** Запропонована методика дозволяє більш якісно проводити діагностування та визначення технічного стану і прогнозованого ресурсу об'єктів поверхні та визначення проведення потрібних ремонтно-відновлювальних.

Встановлено, що у галереї з довжиною прогонів 24, 30 м значення частоти від динамічного збурення конвеєра не потрапляє всередину резонансної зони. Небезпечним є прогін завдовжки 18 м, у якому при повній заміні огорожувальних конструкцій реалізується резонанс.

Доведено, що відношення напружень від динамічних і статичних навантажень, що враховується коефіцієнтом динамічності прогонової будови, знаходиться в лінійній залежності від

відношення максимального поєднання навантажень цієї будови до мінімального і не повинно перевищувати 1,7, що необхідно враховувати при розрахунку зусиль в елементах прогонової будови для визначення його міцності, стійкості і довговічності.

### Список літератури

1. Руководство по проектированию транспортерных галерей / Липницкий М. Е. Пасынков Б. П, Ним А. Д. и др.// - М.:Стройиздат, 1979.-131 с.
2. Пособие к СНиП 2.09.03-85 - Пособие по проектированию конвейерных галерей. Стройиздат, 1989.
3. СН 245-71 Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. – М. Стройиздат, 1972.
4. ДБН В.1.2-14-2009. Общие принципы обеспечения надёжности и конструктивной безопасности зданий, сооружений, строительных конструкций и оснований. /Минрегионстрой Украины. 2009
5. Диллон Б. Инженерные методы обеспечения надежности систем / Диллон Б., Сингх Ч. -М.: Мир, 1984. 318 с.
6. Томаков В.И. Прогнозирование техногенного риска с помощью "Деревьев отказов": Учебн.пособие / Курск.гос.техн.ун-т. Курск, 1997. -99 с.
7. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. Затв. спільним наказом Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України та Держнаглядохоронпраці України від 27 листопада 1997 р. за №32/288. – К.: НДІБВ, 2003. – 145 с.
8. Правила оцінки фізичного зносу житлових будинків КДП 75.11 – 35077234. 0015 :2009 Київ – 2009. Затв. наказом №21 від 03.02.2009. – 50 с.
9. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. – К.: ВПП «Компас», 2001. – 448 с.
10. Болотин В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надёжности в расчётах сооружений. -М.: Стройиздат, 1971.
11. НПАОП 45.2-1.01-98 Правила обстежень, оцінки технічного стану та паспортизації виробничих будівель і споруд.
12. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. К. 2009. 45 с
13. Мельчаков А.П. Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов. (Теория, методики и инженерные приложения): учебное пособие. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2006. –49 с.
14. Борджес Дж.Ф., Равара А. Проектирование железобетонных конструкций для сейсмических районов. – М.: Стройиздат, 1978.
15. Мартынянов А.И. Проектирование и строительство зданий и сооружений в сейсмических районах. - М.: Стройиздат, 1985.
16. Курмаев А.М. Сейсмостойкие конструкции зданий. Справочник. – Кишинев: Картя Молдовеняска, 1989.

Рукопись поступила во редакцию 14.04.16

UDC 661.52: 662. 2

I. L. KOVALENKO<sup>1</sup>, Ph.D., Assoc.Prof., N.I. STUPNIK<sup>2</sup>, Doctor of Science, Prof., Rector, V. Z. NEBOGIN<sup>3</sup>, Director, M. K. KOROLENKO<sup>4</sup>, General Director, I. A. KARAPA<sup>4</sup>, Head of Technical Department, E. P. ONOPRIYENKO<sup>5</sup>, Director, V. S. RYCHKO<sup>6</sup>, Technical Director  
<sup>1</sup> Ukrainian State University of Chemical Engineering, <sup>2</sup>Kryvyi Rih National University,  
<sup>3</sup> Co.Ltd “NTT Tehnotron”, <sup>4</sup> PrJSC “Zaporiz’kyi Zalizadorudnyi Kombinat”, <sup>5</sup> Co.Ltd “Ukrvzryvtsehnologiya”, <sup>6</sup> PJSC “Kryvoriz’kyi Zalizadorudnyi Kombinat”

## DEVELOPMENT OF NATIVE EQUIPMENT AND TECHNOLOGY OF DRILLHOLES CHARGING WITH EMULSION EXPLOSIVES OF MARK UKRAINIT

The absence in Ukraine of native technology and compact mixing-charge equipments restrains the use of bulk emulsion explosives in the tunnel faces in underground mining. The solution to this problem is the relevance of this work. The aim is to develop technology and native mixing-charge equipment for charging drillholes with emulsion explosives of mark Ukrainit. A special feature of the emulsion explosive Ukrainit is peroxide gas generation of "cold" emulsion, which ensures its high detonation characteristics and operability as well as minimum harmfulness of explosion gases. Gas filling time of the emulsion is reduced to 15-25 minutes due to the introduction of the catalyst in the structure of gas-generating additive, and the detonation velocity is increased to 5000-5200 m/s. Portable mixing-charge equipment “СЗС-1”, compact chargers “ЗЭП-15”, “ЗЭП-10” and self-propelled charger “ЗЭВС-1”, equipped with dosing pumps of the original design, which provides a balanced dosage (within 0.8-1.2% in the gas-generating additive) and high-quality mixing in the necessary proportions, are developed. A distinctive feature of the self-propelled charger “ЗЭВС-1” from the existing analogs is the usage of an additional low-power diesel engine providing the work of dosing pumps while charging drillholes in poorly ventilated faces. This reduces fuel consumption and waste gases emissions, which is extremely important for conducting blasting work in dead-end faces.

Completely standalone and does not requiring connection to the mine pneumatic and electric grids, self-propelled charger “ЗЭВС-1” should occupy a niche in conducting tunnel blasting works in mines with section 9-15 m<sup>2</sup> and charging 2-3 faces per shift.

**Keywords:** emulsion explosives, mixing-charge equipment, drillholes.

**The problem and its connection with scientific and practical tasks.** Improvement of blasting works using bulk emulsion explosives (BEE) for mining with underground method is one of the most promising trends, which has gained significant spread in the global mining practice [1-3] in the last decade. Bulk emulsion explosives most fully satisfy all the modern requirements to the explosive materials used in underground conditions.

**Analysis of studies and publications.** An analysis of scientific, technical and patent information on the technics and technology of underground mining with the use of bulk emulsion explosives as well as visiting foreign mines implementing the technologies of emulsion explosives charging in underground conditions have shown that the creation of mechanization means of such blasting works is a long and complicated process requiring joint efforts of scientific, engineering, industrial and technological structures.

The world's leading companies – «Orica», «AEL», «BME» – have designed self-propelled and portable chargers, which are successfully used by foreign mining companies for charging drillholes with emulsion explosives. There were no such equipment and technology in native practice of underground mining and the problem of implementation of BEE in underground conditions due to the acquisition of made mixing-charge equipment cannot be solved.

The success of the application of any emulsion explosives is enabled due to the effectiveness of the whole complex, which includes: “*The explosive and the principle of its sensibilization*” and “*mixing-charge equipment and charging technology*”. In this case, the components of this complex are so interrelated that it is meaningless to talk about the acquisition of mixing-charge equipment separately from technology of emulsion explosives.

Therefore, in the world practice company developers sell manufacturing technology of emulsion base and its sensibilization to obtain explosives and, as a rule, pass charging equipment to the rent (leasing).

Another factor in Ukraine limiting the development of emulsion technology for underground application is significantly smaller volumes of explosives consumption (from 1.5 to 3.5 thousand tons/year) compared with the open pit mining with significant financial costs at the initial stage.

The group of companies “Turstroy” together with Co.Ltd “Ekkom” and Co.Ltd “NTT Tehnotron” has successful experience in complex implementation of bulk emulsion explosives technology Ukrainit and mixing-charge trucks of series “Ukrainit” on mining and processing combines of Kryvbas (annual volume of about 45.0 thousand tons) [3]. This allowed these companies to initiate in terms of domestic iron ore and uranium mines the implementation of BEE Ukrainit as an alternative to toxic TNT-containing materials.

The main advantages of emulsion explosive Ukrainit are:

the use of an aqueous solution of non-organic peroxides as the gas-generating additive (GGA) that provides emulsion gas filling with microbubbles of oxygen;

the absence of toxic products of explosion due to the balanced composition and to almost 100% completion of all chemical reactions of explosive decomposition of emulsion explosives;

the possibility of a "cold" gas-generation and weakly alkaline nature of the emulsion, which provide a sufficient safety level of the use in sulfide-containing rocks [4, 5];

high detonation velocity (at least 4500 m/s), and as a consequence – the powerful destruction of the rocks of any hardness with a qualitative fragmentation (the complete absence of oversized and defects of the soles);

the formation of water vapor in the gas composition after the explosion that precipitates the harmful emissions, which is particularly important for underground conditions.

Modern mixing-charge machines (MCM) for the producing of emulsion explosives using gas-generation offered by foreign manufacturers [1, 2] have various design features, but the concept schemes usually assume the following equipment: a screw pump of emulsion supplying with feed of gas-generating additive with screw pump into a suction tract of a screw pump of emulsion supplying, a

static mixer of emulsion explosives components, a control system of components dosing (according to the number of rotations of screw pumps), a control system of dosing process, etc.

The screw pumps are widely used in MCM due to their high reliability, the ability to change the productiveness of the components feeding over a wide range, the presence of "dry run" (body heat) sensors and so on. However, screw pumps have significant drawbacks. In applied schemes the exact dosing of the components is provided through the matching and control of rotations of the emulsion feeding screw pump and the GGA feeding screw pump. This requires the use of expensive system of proportional hydraulics and quite complex system of control and automation of MCM. Despite the high cost of MCM attached equipment, reaching 500 thousand dollars, the use of screw pumps does not provide complete safety in the producing of emulsion explosives since GGA is fed into the suction pipe of the emulsion pump. In this time explosive, which remains in the system when the pump is switched off, already begins to form in the pump.

In addition, screw pumps according to weight and dimensions are not suitable for the creation of a compact self-propelled mixing-charge equipment for the forming of drillholes charges. It is also necessary to note that the systems of deposits development and mining technologies in underground mining are fundamentally different from the work in the quarries and the conditions of application of mixing-charge equipment is much stronger and tougher.

**Statement of the problem.** Develop the technology and native mixing-charge equipment for charging the drillholes with emulsion explosives of mark Ukrainit.

**The material and results.** The GGA task dosing when mixing with the emulsion in a portable charger is resolved on a principally new scheme of piston pump with hydraulic control and rigid mechanical connection of the main emulsion pump and dosing pump of gas-generating additive feed with the possibility of its smooth regulation [6]. At the first stage the prototype of the proposed piston pump of "simple" action with ability of GGA insertion directly into the emulsion at the outlet of the pump with high quality mixing of emulsions and GGA is designed.

Later the specialists of "NTT Tehnotron" have developed the design of the piston dosing pump of "double" actions "НД-200", on its base the prototype of the portable experimental mixing-charge stand of model "С3С-1" is produced. It should provide high quality of automatic dosing and mixing of the components with mechanized feeding the resulting emulsion explosives into drillholes.

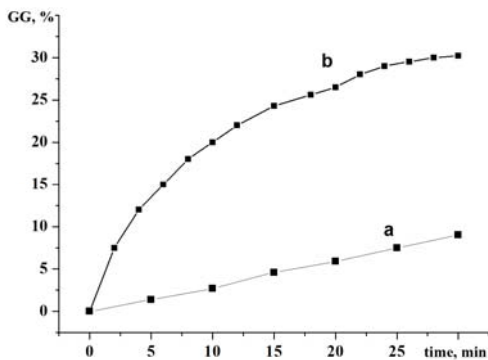
The basic mining enterprises for industrial testing of drillholes charging technology with stand "С3С" are Pr.JSC "Zaporiz'kyi Zalazorudnyi Kombinat" and SE "VostGOK" – the companies with the most advanced technologies of mining having self-propelled tunneling complexes and significant amounts of use of regular TNT-containing explosives (Ammonite No. 6 ZhV and Grammonite 79/21).

In March 2009 at the mining shaft "Operational" for the first time in the history of Ukraine's mining operations there were conducted experimental explosions of bulk emulsion explosive Ukrainit-PP-2B, as a result, the commission noted the following: full detonation of borehole charges, high efficiency (at the level of Ammonite No. 6 ZhV) and water resistance of emulsion explosive Ukrainit, uniform crushing of the rock mass and compliance of mine contour line with the project, coefficient of borehole use is about 0.9-0.95 on shales, quartzites and hematite-martite and martite ore (with a hardness on scale of prof. Protodyakonov from 8 to 18), low level of seismic action and gas contamination of the mine after the explosion, high productiveness and safety of drillholes charging as well as the reliability of the mixing-charge stand. Later the process of testing was continued at the VostGOK's mines "Ingul's'ka" and "Smolinski" on rocks with hardness up to  $f = 20$ .

According to test results it was initiated complex of research and development works to eliminate the identified deficiencies. In particular, there arose a question of increasing the velocity of gas-generation of "cold" emulsion under conditions where the time from the drillholes charging till the explosion is 15-20 minutes. Tests at VostGOK's mines also showed the need to increase the detonation velocity of drillholes emulsion explosive charges up to 5000-5200 m/s, which can be achieved by increasing the rate of chemical reaction of explosive transformation of explosive's components [7].

The conducted studies have shown that the solution to this problem can be achieved due to the change of the composition of both the emulsion composition and the gas-generating additive ("ТГД-У") [8] by introducing into its composition a catalyst (hydrochloric acid). Fig. 1 shows the data on the degree of gas-generation (GG) of emulsion explosive Ukrainit-PP-2 in presence of catalyst.





**Fig. 1.** The dynamics of peroxide gas-generation of emulsion Ukrainit-PP-2: *a* – without catalyst; *b* – in presence of catalyst

Researches have shown that the introduction of the hydrochloric acid into the gas-generating additive “ТГД-У” both increases the rate of gas-generation and ensures the formation in the system (at the initial moment of explosion) the nitrosonium chloride ( $\text{NO}_2\text{Cl}$ ), which has a catalytic effect on the thermal decomposition of ammonium nitrate and emulsions based on it [9].

According to the research complex there are modified compositions of emulsion (TC U 24.6-19436711-

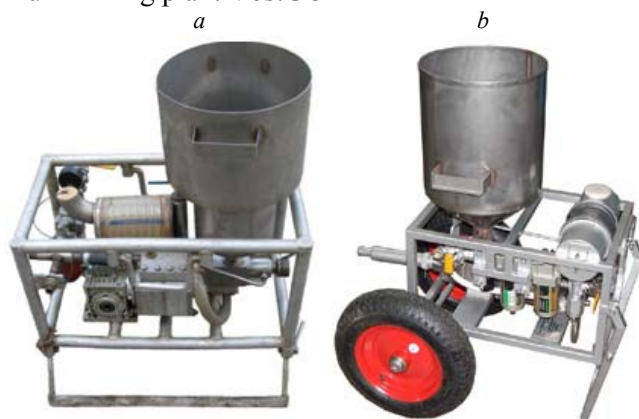
006: 2006) and the gas-generating additive (TC U 24.6-19436711-005: 2006) applying to the underground conditions

The next step was the development of compact borehole chargers “ЗЭП-15” made by specialists of “NTT Tehnotron”, “Ukrvzryvtehnologiya” and “Zaporiz’kyi Zalizorudnyi Kombinat”.

Compact charger of model “ЗЭП-15” [10] has the original water drive of dosing pump connected to the shaft water supply. This almost silent unit in 2009-2010 years had several complex industrial tests in various hydro and geological conditions at the mines “Heading” and “Operational” (PrJSC “Zaporiz’kyi Zalizorudnyi Kombinat”, Dniprorudne), “Smolinski” and “Ingul’s’ka” (SE “VostGOK”), “New” (LLC “East-ore”, Zhovti Vody), “Kryvoriz’kyi Zalizorudnyi Kombinat” and “Sukha Balka” (Kryvyi Rih).

Totally during the period of industrial tests (from 2009 to 2013 year) eight chargers of model “ЗЭП-15” (TC U 28.9-23647075-016:2012) prepared and charged in mechanized way into drillholes over 220 tons. of emulsion explosive of Ukraine-PP-2 (TC U 20.5-32613399-002:2012). In 2013 charger “ЗЭП-15” was allowed to constant use and exploitation by State Service of Mining Supervision and Industrial Safety of Ukraine.

Further development of the native line of mixing-charge equipment for mine workings sinking was the development of two modifications of charger of model “ЗЭП-10” [11]. In the period from 2011 to 2015 years the design documentation has been developed, prototypes have been successfully produced and full-scale industrial tests have been successfully held under conditions of iron ore mines of “Zaporiz’kyi Zalizorudnyi Kombinat” and “Kryvoriz’kyi Zalizorudnyi Kombinat” as well as uranium mining plant VostGOK



**Fig. 2.** Compact portable charges: *a* - model “ЗЭП-10”; *b* - model “ЗЭП-10-01”

The four-years experience in prototypes testing of mixing-charge stand “С3С” and portable chargers of models “ЗЭП-15” and “ЗЭП-10” showed that along with the advantages and benefits of a small-sized portable mixing-charging equipment for mechanized charging of bore holes this direction has a number of drawbacks. So, small size and minimal weight of chargers also cause low power of their drives. In addition, the use of

such chargers places high demands on the pressure stability, on the flow rate and the degree of contamination of the mine compressed air (process water), on the accuracy of components and parts manufacturing, on the stability of emulsion explosives components by the rheological and physico-chemical parameters.

In 2010-2012 years with financial and technical support from manufacturers of components of emulsion explosives Ukrainit-PP-2 (Co. Ltd “Ukrvzryvtehnologiya”, Kharkiv) further development work for the implementation of the underground bulk emulsion explosives has led to the design of the self-propelled mixing-charge machine of model “ЗЭВС-1” (Fig. 3).



Fig. 3. Self-propelled charger of model “ЗЭВС-1М”

Self-propelled charger of model “ЗЭВС-1” [12] as standard has two-stage waste gas cleaning system, automatic fire-extinguishing system of the running diesel engine, the compartment for transportation of cartridges and initiation means.

The design of the self-propelled charger of model “ЗЭВС-1” for charging drillholes with emulsion explosives without significant increasing of the cost and with maintaining the small size has two mixing-charge circuits with two becomponent piston dosing pumps of double action of the original design of model “НД-30”. Construction of these dosing pumps provides balanced dosing (within 0.8-1.2% by GGA) and high quality mixing of emulsion and GGA in the required proportion. Mixing is realized in a special chamber at the inlet of the static mixer and the charging hose and dosing principle allows to eliminate expensive proportional hydraulic equipment and programming electronics. Automatic blocking of the process takes place in case of absence of GGA supply, heating and pressure increase in the paths of preparation-filing emulsion explosive.

The second distinguishing feature of the charger “ЗЭВС-1” from the existing analogs is the use of additional low-power diesel engine providing the work of dosing pumps when loading drillholes in poorly ventilated faces. In existing analogs of mine MCM the oil station drive is actuated by diesel of running gear, which is in an order more powerful than the oil station diesel of attached pumping equipment.

Application in the “ЗЭВС-1” design of additional low-power diesel engine reduces the consumption of diesel fuel and emission of waste gases, which is extremely important for conducting blasting works in dead-end faces.

Preliminary tests conducted in the hardest conditions of the mine under construction of “Zaporiz’kyi Zalizorudnyi Kombinat” (Pereverzevskoe ore field) confirmed the compliance of the design of the prototype to requirements of “Uniform Safety Rules”. During the nine months of exploitation of charger of model “ЗЭВС-1” 60 tons of emulsion explosive Ukrainit-PP-2 were produced and charged in extremely flooded drillholes. It was noted the effectiveness of the catalytic neutralizers of the running engine and the engine of pump equipment oil station and the water scrubber for neutralization of waste gases.

Completely standalone and not requiring connection to the mine pneumatic and electric systems the modernized self-propelled charger of model “ЗЭВС-1М” due to the relatively low cost, ease of maintenance and small size must occupy a niche of conducting tunnel blasting works in mines with section 9-15 m<sup>2</sup> and charging 2-3 faces per shift.

The table shows the characteristics of the developed native mixing-charge equipment for charging drillholes with emulsion explosives compared with foreign models.

Comparative characteristics of the mixing-charge equipment for tunneling using emulsion explosives

Characteristics	The name and model of mixing-charge equipment						
	Stand “СЗС”	ЗЭП-15	“ЗЭП-10	ЗЭВС-1	Mini Loader	PCU	PP-4
Manufacturer, country	Co.Ltd “NTT Tehnotron”, Ukraine				ORICA,	AEL, RSA	BME, RSA
Mark of emulsion explosive	Ukrainit-PP-2				Subtek, Civec	UG100, UG200	Mega-pamp TM
Productivity, kg/min.	20,0-80,0	10,0-15,0	10,0-15,0	30,0x2=60,0	15,0	27,0	20,0
Volume of the emulsion tank, l	7,0-150,0	15,0	20,0	360,0	from 600,0 of cubic containers	n/d	12,0x2=24,0
Volume of the GGA tank, l	up to 5,0	1,4	2,0	up to 10,0	n/d	n/d	~1,0

Drive unit	Electrohydraulic/ pneumohydraulic	water /pneumo	pneumo	disel- hydraulic	pneumo	hydro/ pneumo	pneumo
Dimensions, LxWxH, mm	1100x1000x 1200	800x700 x600	500x990x 850	4500x1900x 2300	900x510x 560	n/d	700x420 x 290
Mass, kg	from 300,0	up to 40,0	from 37,0	3400,0	48,0	n/d	14,0

**Conclusions and directions for further research:** An effective technology as well as native and portable self-propelled mixing-charge equipment for charging drillholes with emulsion explosive brand of markUkrainit are developed.

Further studies involve the development of technology and native equipment for charging drillholes with emulsion explosive Ukrainit in underground conditions.

#### Список литературы

1. **Guang, Wang Xu** Emulsion explosives / **Wang Xu Guang**. – Beijing: Metallurgical Industry Press, 1994. – 388 p.
  2. **Колганов, Е. В.** Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества. В 2 кн. Кн. 1. Составы и свойства. / **Е. В. Колганов, В. А. Соснин**. — Дзержинск.: ГосНИИ «Кристалл», 2009. — 592 с.
  3. Розробка і впровадження емульсійних вибухових речовин на кар'єрах України / під ред. **В. П. Купріна, І. Л. Коваленка**. — Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2012. — 243 с.
  4. Взаимодействие эмульсионных взрывчатых веществ и их компонентов с сульфидными минералами/ **И. Л. Коваленко, В. П. Куприн** //Взрывное дело. – 2010. – Вып. №103/60. – С. 154-170. – ISSN 0372-7009.
  5. Ингибирование взаимодействия пирита с аммиачноселитренными ВВ/ **И. Л. Коваленко, В. П. Куприн** // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – 2013.– Вип. 1 (11).– С.84-91. – ISSN 2074-1537.
  6. Пат. 19784 Україна МПК7 F04B 13/00. Пристрій для дозованої подачі одного компоненту в потік іншого / **Крисін Р. С., Колесасв М. Б., Купрін О. В., Небогін В. З., Савченко М. В.** (Україна). - № u200610277; заявл. 26.09.2006; опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12.
  7. Физика взрыва: в 2 т. [под ред. **Л. П. Орленко**].-Т.1 - М.: Физматлит, 2002. — 832 с.
  8. Пат. 82960 Україна МПК C01B 15/00, C06B 31/00. Газогенеруюча добавка до емульсійних вибухових речовин/ **Коваленко І. Л., Купрін В. П.** (Україна). – № u201301321; заявл. 04.02.2013; опубл. 27.08.2013, Бюл. №16.
  9. Влияние хлоридов феррума (III) и купрума (II) на термическое разложение энергонасыщенных систем на основе аммиачной селитры/ **И. Л. Коваленко** // Праці Одеського політехнічного університету.— 2013.— Вип. 3(42).— С. 233—237. – ISSN 2076-2429.
  10. Пат. 62192 Україна МПК F42D 1/10, C06B 21/00. Зарядник емульсійних вибухових речовин ЗЕП-15/ **Зубко, А. М., Карапа, І. А., Колесасв М. Б., Небогін В. З.** (Україна). - № u2011105501; заявл. 29.04.2011; опубл. 10.08.2011, Бюл. № 15.
  11. Пат. 67340 Україна МПК F42D 1/10, C06B 21/00, F04B 9/00. Пневмонасос-зарядник емульсійних вибухових речовин ЗЕП-10/ **Колесасв М.Б., Небогін В.З., Онопріснко Є.П., Савченко М.В.** (Україна). - № u201111226; заявл. 21.09.2011; опубл. 10.02.2012, Бюл. № 3.
  12. Пат. 82519 Україна МПК F42D 1/10, C06B 21/00. Зарядник емульсійних вибухових речовин самохідний ЗЕВС-1/ **Небогін В. З., Онопріснко Є. П., Шкарін В. В.** (Україна). - № u201111226; заявл. 21.09.2011; опубл. 10.02.2012, Бюл. № 3.
- A manuscript entered release 18.04.16

УДК 622.831

А.В. СОЛОДЯНКИН, д-р техн. наук, С.В. МАШУРКА, инженер  
ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

## ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ И УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОТЯЖЕННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Показано, что с увеличением глубины разработки и отработкой запасов в сложных горно-геологических условиях, существенно ухудшилась геомеханическая ситуация при ведении горных работ. В статье делается анализ подходов к оценке устойчивости протяженных горных выработок и общих затрат при их строительстве и эксплуатации. Учитывая стохастическую природу выработки, как сложного подземного объекта, рассматривается вероятностная модель выработки. Для оценки состояния конкретного сечения выработки предлагается использование коэффициента устойчивости. В качестве параметра для оценки состояния протяженного участка выработки рассматривается показатель устойчивости. На основе обобщения данных об объемах ремонтных работ по выработкам шахт объединения «Добропольуголь», показана возможность определения показателя устойчивости ремонтируемой выработки на каждом этапе ее эксплуатации. Вводится понятие интенсивности ремонтных работ в выработке. Получены зависи-

мости интенсивности ремонтных работ, и изменения показателя устойчивости от времени эксплуатации выработки. Получено выражение для определения показателя устойчивости выработки от времени, а также его связь со смещениями породного контура. Дальнейшие исследования в этом направлении будут направлены на обоснование таких параметров систем крепления, которые позволят максимально уменьшить объемы требуемых ремонтных работ, в том числе и за счет снижения кратности ремонтов.

**Ключевые слова:** подготовительная выработка, ремонт, показатель устойчивости, смещения породного контура

**Введение.** Постоянное увеличение глубины разработки месторождений полезных ископаемых, отработка запасов в сложных горно-геологических условиях, повышение техногенной нарушенности массива горных пород, существенно ухудшили геомеханическую ситуацию при ведении горных работ. Проявления горного давления в подземных выработках становятся все более тяжелыми и интенсивными. По этим причинам при сооружении и поддержании протяженных выработок очень большой объем ремонтных работ.

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** В настоящее время протяженность перекрепляемых выработок достигает 50 % по отношению к пройденным, а отремонтированных - в 1,7 раза превышает протяженность пройденных. При этом более 40 % протяженных выработок ремонтируется еще до сдачи в эксплуатацию, 52 % действующих выработок деформировано. Ухудшение состояния выработок из-за процесса пучения составляет 45 % от общего объема деформированных [1].

В Донбассе ежегодно ремонтируется свыше 30 % выработок от их общей протяженности. Расходы на ремонт и поддержание выработок на шахтах Украины составляют около 15% суммарных затрат на добычу угля, при этом задействовано до 15 % штата подземных рабочих [2]. Очевидно, что вопросам проектирования безремонтного поддержания выработок или минимизации их объемов уделяется повышенное внимание, особенно в сложных горно-геологических условиях.

Эксплуатационные затраты за весь период функционирования протяженной выработки составляют значительную часть суммарных финансовых расходов предприятия. Так, например, этот показатель для всех шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» составляет по разным оценкам 500-600 млн грн. в год. Снижение этих затрат существенно повысит конкурентоспособность товарного угля, добываемого на шахтах Украины.

**Анализ исследований и публикаций.** Вопросы проектирования крепи с минимальными затратами на поддержание занимали важное место среди актуальных научно-технических задач и часто были предметом серьезных исследований и обсуждений [3-8 и др.]. Ряд аспектов при проектировании подземных сооружений рассматривался К.А. Ардашевым [3]. По его мнению, необходимо изменение организации проектных работ путем перехода к двухстадийному проектированию, включающему обязательное уточнение проектных решений при строительстве, что обеспечит надежное рабочее состояние выработок с минимальными затратами на их проведение и крепление в сложных горно-геологических условиях и на больших глубинах.

Вопрос правильной оценки стоимости строительства выработок неоднократно поднимался К.В. Кошелевым, Ю.А. Петренко [4] и др. В частности, ошибочно, по их мнению считается проектирование и строительство выработок с учетом только начальных затрат, когда последующие затраты на ее поддержание обычно не учитываются. Правильно говорить о снижении затрат на последующее поддержание выработки в эксплуатационном состоянии в течение всего периода ее использования или о достижении их наименьших величин.

В [6] решена задача оптимального проектирования протяженных выработок с учетом затрат при сооружении выработки и ее последующем поддержании.

Суть решения заключается в определении таких параметров крепления выработки для конкретных горно-геологических условий при которых соотношение затрат капитальных - на сооружение выработки и эксплуатационных - на последующий ее ремонт в запланированных объемах, является оптимальным.

В настоящее время, в связи с ростом глубин разработки месторождений и существенном ухудшении геомеханических условий часто возникает необходимость проведения многократных ремонтов для обеспечения устойчивости выработок главных направлений.

Как указывается в [4], в условиях глубоких шахт Донбасса при столбовой системе разработки пластов, кратность ремонта в подготовительных выработках составляет 3 и более, а в других не менее 2.

Примером такой практики может служить случай, приведенный в [9] (рис. 1).

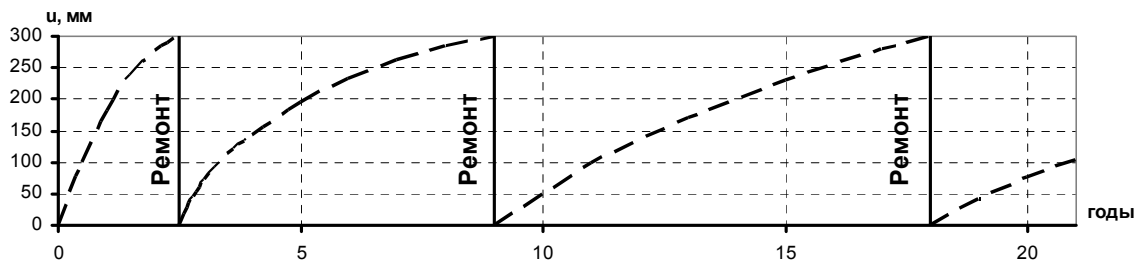


Рис. 1. Смещения контура выработки с металлобетонной крепью на шахте им. Артема (гор. 860 м) ПО «Дзержинскуголь» через 20 лет после сдачи в эксплуатацию [9]

**Постановка задачи.** С учетом сказанного, одной из задач данного направления исследований является оценка состояния протяженной выработки на текущий момент времени ее эксплуатации с учетом объемов ремонтных работ и деформаций приконтурного массива пород.

**Изложение материалов и результатов.** При оценке состояния выработки и необходимости выполнения ремонтных работ необходимо учитывать следующие условия:

затраты, связанные с содержанием подземных выработок, состоят из двух частей: капитальных и эксплуатационных, которые формируются в течение, соответственно, времени строительства и эксплуатации рассматриваемых объектов;

состояние выработок на различных участках зависит от множества случайных факторов из совокупности горно-геологических условий и конструкции крепи;

процесс поддержания выработок в рабочем состоянии носит ярко выраженный временной характер с разными объемами ремонтных работ по длине выработки.

В качестве исходной может быть использована стохастическая модель выработки, описанная в [10]. Основным параметром, определяющим состояние выработки в произвольном сечении, полагается отношение несущей способности крепи к действующей нагрузке - коэффициент устойчивости  $K_y$ . В любой момент времени в выработке по длине можно выделить участки двух типов.

К первому типу относятся такие, в пределах которых  $K_y > 1$ . Здесь устойчивость выработки на данный момент считается обеспеченной. Второй тип - участки, на которых действующая нагрузка превышает предельно допустимую величину ( $K_y < 1$ ). Устойчивость выработки здесь не обеспечивается, в пределах участка имеет место разрушение крепи или пучение почвы. Распределение коэффициента  $K_y$  по длине выработки носит случайный характер (рис. 2).

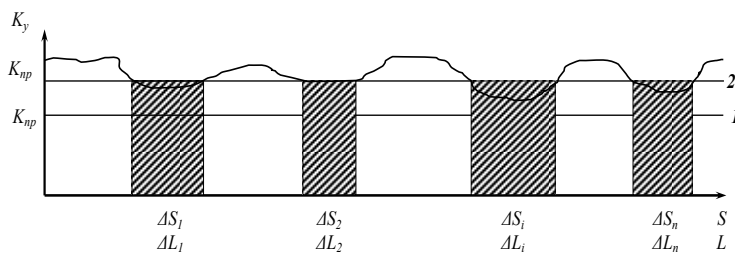


Рис. 2. Стохастическая модель протяженной горной выработки

Заштрихованные участки соответствуют значениям  $K_y < 1$ , они требуют выполнения ремонтных работ. Отношение суммарной длины не требующих ремонта участков  $\bar{S}$  к полной длине выработки  $S$  -

параметр, характеризующий в интегральном смысле состояние выработки в целом

$$\omega = \bar{S} / S \quad (1)$$

называемый показателем устойчивости. Величина  $\omega$  изменяется в пределах от 0 до 1. Выработка полностью устойчива при  $\omega=1$  или полностью разрушена при  $\omega=0$ .

Интересующие данные о состоянии выработки для оптимизационной модели можно получить путем отслеживания динамики процесса разрушения-восстановления выработки в течение всего периода эксплуатации. С этой целью были обобщены данные об объемах ремонтных работ в 58-ми выработках шахт «Алмазная» и «Белозерская» ГХК «Добропольеуголь», взятые из месячных актов маркшейдерских замеров.

Интенсивность ремонта выработки за промежуток времени  $\Delta t_i$  равна

$$r(\Delta t_i) = \frac{S_{рем}(\Delta t_i)}{S} \quad (2)$$

где  $S_{рем}(\Delta t_i)$  - длина отремонтированного за промежуток времени  $\Delta t_i$  (месяц, квартал, год и т.п.)

участка выработки.

Средняя интенсивность ремонта выработки за весь период эксплуатации  $T$  равна

$$r = \frac{1}{TS} \sum_{i=1}^n S_{рем}(\Delta t_i), \quad (3)$$

$$r = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n r(\Delta t_i), \quad (4)$$

где  $n=T/\Delta t$ .

На рис. 3 и 4 представлены характерные графики интенсивности ремонта выработок.

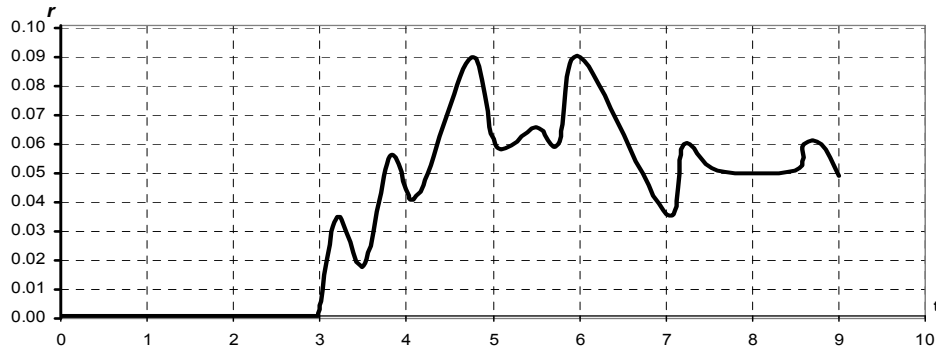


Рис. 3. График интенсивности ремонта 3-го южного вентиляционного штрека шахты «Белозерская»

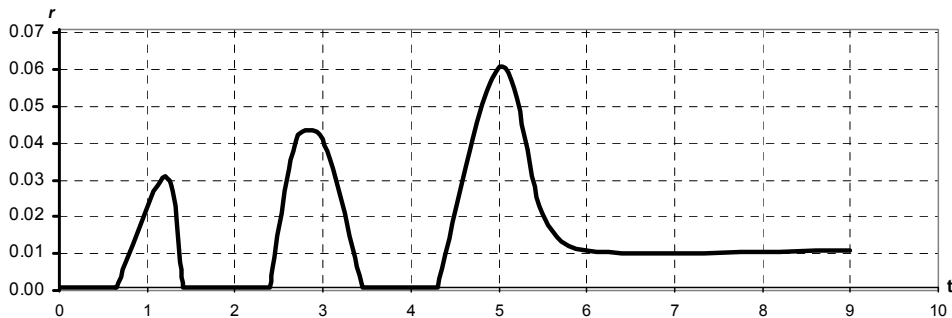


Рис. 4. График интенсивности ремонта коренного откаточного штрека шахты «Алмазная»

Как указывалось выше, устойчивость выработки в конкретный момент времени определяется показателем устойчивости по (1). Величину переменной  $\bar{S}$  можно определить визуальным обследованием состояния крепи по всей выработке. Но если в промежутке времени  $T$  проводились ремонтно-восстановительные работы на участке длиной  $S_{рем}(T)$ , то наблюдаемая в момент времени  $T$  длина ненарушенных участков выработки равна

$$\bar{S}_{набл} = \bar{S} + S_{рем}(T), \quad (5)$$

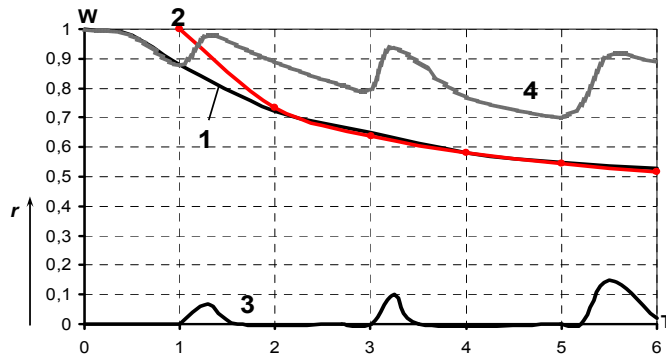
и предполагается, что на перекрепляемых участках вторичный ремонт не проводился. Тогда показатель устойчивости ремонтируемой выработки в момент времени  $T$  будет равен

$$\omega = \frac{\bar{S}_{набл}}{S} - \frac{\bar{S}_{рем}}{S} = \omega_{набл} - \sum_{i=1}^n r(\Delta t_i). \quad (6)$$

Кроме того, определив в результате визуального обследования выработки показатель  $\omega_{набл}$ , и имея данные по ежемесячным объемам ремонтных работ за время ее эксплуатации, отраженные в актах маркшейдерских замеров, можно по (6) восстановить динамику изменения показателя устойчивости  $\omega$  за весь период эксплуатации (рис. 5).

Как видно из графика, постепенное накопление нарушенных участков выработки (уменьшение  $\omega$ ) вызывает необходимость проведения ремонтных работ определенной интенсивности  $r$  (рис. 5, поз. 3), в результате чего изменение величины  $\omega_{набл}$  приобретает периодический характер (рис. 5, поз. 4).

Без проведения ремонтных работ показатель устойчивости выработки  $\omega$  со временем постоянно снижался бы до какой-то минимальной величины, которая бы не позволила эксплуатировать выработку (рис. 5, поз. 1).



**Рис. 5.** Динамика изменения показателя устойчивости выработки: 1 - зависимость, полученная по результатам обработки объемов ремонтно-восстановительных работ; 2 - зависимость показателя устойчивости, как функция смещений контура выработки от времени эксплуатации, после стабилизации геомеханических процессов; 3 - график интенсивности проведения ремонтных работ; 4 -  $\omega_{набл}$  выработки в момент времени  $T$

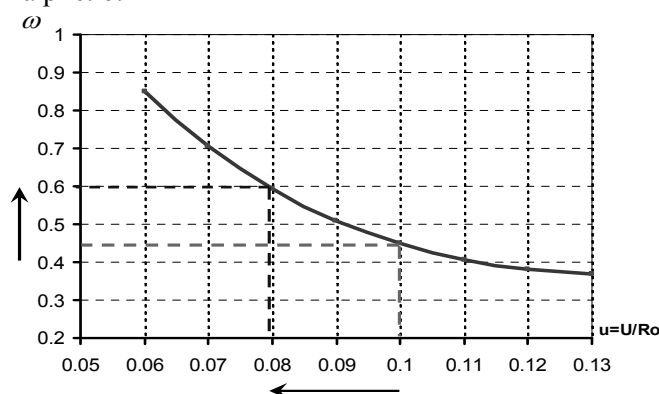
них факторов на деформационные процессы в массиве пород и, соответственно, реакцию крепи, служат смещения контура выработки. Известно, что кинетика смещений породного контура после проведения выработки может быть разделена на два периода. Первый период характеризуется активным процессом трещинообразования и формированием вокруг выработки зоны неупругих деформаций (ЗНД). К концу этого периода интенсивность смещений породного контура снижается, происходит относительная стабилизация деформационных процессов. Идеальным случаем является стабилизация геомеханических процессов при достигнутых размерах ЗНД и смещениях контура выработки. Полной стабилизации деформационных процессов, как правило, не происходит, о чем свидетельствуют незатухающие, длительные деформации окружающего породного массива. Очевидно, что смещения контура выработки в этот период будут определять эксплуатационное состояние крепи, выработки в целом, а также объемы требуемых ремонтно-профилактических работ.

Допустим, что к концу первого периода, после стабилизации деформационных процессов и установления равновесия системы «массив-крепь», рассматриваемый участок выработки обладает полной устойчивостью ( $\omega=1$ ). По мере эксплуатации выработки, продолжающиеся деформации массива пород будут увеличивать нагрузку на крепь. В силу того, что коэффициент устойчивости вдоль выработки  $K_y$  носит случайный характер, в определенных сечениях выработки его величина будет снижаться и приводить к деформированию элементов крепи ( $K_y < 1$ ). Таким образом, смещения контура выработки  $u$ , подчиняющиеся установленному закону изменения во времени, будут приводить к соответствующему снижению устойчивости выработки  $\omega(T) = f(u(T))$ . Приняв за  $\omega=1$  момент стабилизации деформационных процессов, запишем

$$\omega(t) = 1 / \left( \frac{u(t)}{u_c} \right), \quad (7)$$

где  $u(t)$  - смещения контура выработки после точки стабилизации, рассчитываемые по известным методикам;  $u_c$  - смещения контура выработки в точке стабилизации геомеханических процессов.

Динамика изменения показателя устойчивости выработки  $\omega$ , рассчитанная по ф. (7) показана на рис. 6.



**Рис. 6.** Зависимость показателя устойчивости, как функция смещений контура выработки, после стабилизации геомеханических процессов

Зависимости, полученные по результатам обработки объемов ремонтных работ (см. рис. 5) и по величине смещений контура выработки после стабилизации геомеханических процессов (см. рис. 6) достаточно близки. При этом показатели, характеризующие объемы ремонтно-восстановительных работ являются следствием смещений породного контура – причины, вызывающей снижение устойчивости выработки. В этом смысле эти показатели связаны между собой.

**Выводы и результаты дальнейших исследований.** Полученные результаты позволяют проводить прогноз степени устойчивости выработки и, соответственно, на стадии проектирования планировать объемы ремонтных работ. Поскольку смещения контура выработки в про-

цессе ее эксплуатации определяются типом крепи и способами, предупреждающими деформации приконтурного массива, дальнейшие исследования в этом направлении будут направлены на обоснование таких параметров систем крепления, которые позволят максимально уменьшить объемы требуемых ремонтных работ, в том числе и за счет снижения кратности ремонтов.

#### Список литературы

1. Кошелев К.В., Игнатович Н.В., Полтавец В.И. Поддержание сопряжений горных выработок. – К.: Техника, 1991. – 176 с.
2. Мизин В.А., Сытник А.В., Нагорный А.В. Творческое сотрудничество института, завода и шахты – залог успеха // Уголь Украины. – 2003. – № 8. – С. 43-44.
3. Ардашев К.А. Анализ применения нормативных документов по проектированию крепей капитальных выработок // Шахтное и строительство. – 1982. – № 4. – С. 14-17.
4. Кошелев К.В., Петренко Ю.А., Новиков А.О. Охрана и ремонт горных выработок. – М.: Недра. 1990. – 218 с.
5. Кошелев К.В., Томасов А.Г. Поддержание, ремонт и восстановление горных выработок. М.: Недра, 1985. – 216 с.
6. Шашенко А.Н. Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве: Дисс. ... докт. техн. наук: 05.15.04.– Днепропетровск, 1988.– 507 с.
7. Друцко В.П., Шаповал Ю.С., Гнездилов В.Г. Технология проведения горных выработок с поэтапным возведением крепи // Технология и проектирование подземного строительства: Вестник. – Харьков: РИП «Оригинал», 2000. – С. 25-30.
8. Смирнов А.В., Григорьев А.Е. Экономическая оценка применения систем комбинированной крепи капитальных выработок угольных шахт // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2015. – № 21 (218). – Вып. 33. – С. 132-136.
9. Современные проблемы проведения и поддержания горных выработок на глубоких шахтах / Монография под ред. С.В. Янко. – Донецк: ДУНВГО, 2003. – 256 с.
10. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. – К.: Универ. вид-во “Пульсари”, 2002. – 304 с.

Рукопись подана в редакцию 26.04.16.

УДК 622.831

А.В. СОЛОДЯНКИН, д-р техн. наук, И.В. ДУДКА, аспирант,  
Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ УЧАСТКОВЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ОП «ШАХТА «ПАРТИЗАНСКАЯ» ГП «АНТРАЦИТ»

В статье приведены результаты шахтных исследований деформационных процессов в выемочных выработках ОП «Шахта «Партизанская» ГП «Антрацит». Выполнен анализ производственной деятельности шахты «Партизанская» и состояния выработок, испытывающих влияние очистных работ. Рассмотрены перспективы развития шахты с применением бесцеликовых способов охраны выработок и переходом на комбинированные рамно-анкерные крепи. Комплекс исследований включал визуальное обследование состояния выработок и инструментальные измерения деформаций металлической рамной крепи. В качестве объектов исследований выбраны подготовительные выработки, испытывающие влияние очистных работ и предназначенные для повторного использования при отработке второй лавы. Выявлены характерные виды деформаций крепи и объемы ремонтных работ. Установлены основные факторы, которые определяют степень сложности эксплуатации выработок. Предложено новое устройство для измерения параметров поперечного сечения выработки, которое снижает трудоемкость выполнения замеров и повышает точность результатов. Для разных этапов эксплуатации выработки получены зависимости изменения ее сечения от расстояния до лавы. Отмечены особенности деформирования поперечного сечения выработки. Намечены пути снижения деформаций крепи и повышения устойчивости подготовительных выработок для их повторного использования при отработке лав.

**Ключевые слова:** подготовительная выработка, шахтные исследования, деформация крепи, лава.

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** Государственное предприятие «Антрацит» сформировано и ведет добычу антрацита с 1981 г. Промышленные запасы угля на 01.2012 - 95,6 млн т, проектная мощность - 2500 млн т/год, производственная - 1670 млн т/год.

ГП «Антрацит» расположено на территории Антрацитовского района Луганской области. В состав государственного предприятия входит 9 обособленных подразделений, в том числе две действующие шахты - «Комсомольская» и «Партизанская».



ОП «Шахта «Партизанская» введена в эксплуатацию в 1913 г. Последняя реконструкция шахты проводилась в 1967 г. Промышленные запасы угля составляют 21,82 млн т, проектная мощность - 400 тыс.т/год, производственная - 270 тыс.т / год. Способ подготовки шахтного поля - панельный. Система разработки: столбовая, сплошная, комбинированная. Средняя длина лавы 250 м. Максимальная глубина разработки на настоящее время составляет 1193 м.

Проектом развития шахты «Партизанская» предполагается освоение проектной мощности 600 тыс.т/год, что возможно при отработке запасов шахтного поля двумя очистными забоями с суточной нагрузкой основной 207 западной лавы 1500 т в сутки, и резервно-действующей 206 верхней западной лавы - 500 т в сутки. Планируемый срок службы шахты - 32 года.

Шахта в последнее время работает нестабильно из-за несвоевременной подготовки линии очистных забоев вследствие большого физического износа горного оборудования, отсутствия средств на его замену и огромных затрат на поддержание выработок.

Традиционно для охраны подготовительных выработок шахты при отработке лав использовались угольные целики. В связи с повышенным горным давлением ширина охранных целиков угля достигала 30 м (202 пром.штрек). При этом потери угля при охране данной выработки на глубине 1040 м составили 58 618 тонн. Уменьшение ширины угольных целиков при отработке последующих лав (203, 204, 205 западные лавы пл.  $h_{10}$ ) до 5-7 м привело к существенному ухудшению состояния выработок. При подходе второго очистного забоя сечение выемочных штреков уже не соответствует требованиям технической эксплуатации.

В связи с этим на шахте планируется внедрение бесцеликовой отработки выемочных участков, с повторным использованием выработок и применением комбинированных рамно-анкерных крепей, что позволит уменьшить потери угля в целиках, увеличить темпы подвигания лав за счет сокращения времени на выполнение концевых операций в забоях, а также снизит металлоемкость крепи. Техническая реализация этих решений требует оценки характера работы крепи на всех этапах эксплуатации подготовительной выработки с момента ее проведения, прохождения волны опорного давления от первой лавы и воздействия очистных работ при повторном использовании.

**Анализ исследований и публикаций.** Вопросы поддержания выработок при отработке угольных запасов рассматривались многими научными школами и организациями. В настоящее время имеется целый ряд решений, позволяющих, в отдельных случаях, надежно и эффективно проводить отработку угля с сохранением выработок в эксплуатационном состоянии [1-7 и др.]. Однако в каждом конкретном случае необходимо учитывать специфику горнотехнических факторов и горно-геологических условий, что предполагает проведение комплекса исследований для обоснования соответствующих параметров способа крепления и охраны.

**Целью исследований**, результаты которых изложены в статье, являлось изучение деформационных процессов, происходящих в подготовительных выработках добычного участка под влиянием очистных работ.

**Изложение материалов и результатов.** На первом этапе, на основании анализа горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации, данных маркшейдерской службы, а также данных про объемы ремонтных работ, были установлены основные факторы, которые определяют состояние выработок на шахте «Партизанская».

Шахтные исследования выполнялись в выработках действующей 205 западной лавы пл.  $h_{10}$  и включали их визуальное обследование и инструментальные измерения. Очистной забой 205 западной лавы отрабатывался прямым ходом по простиранию, система разработки - комбинированная. Угольный пласт  $h_{10}$  имеет двухпачечное строение. Мощность пласта  $m=1,35-1,69$  м.

Вмещающие породы. Основная кровля - сланец песчаный,  $m=18-23$  м, крепостью  $f=7-9$ . Непосредственная кровля - сланец песчано-глинистый,  $m=2,9-8,3$  м, крепостью  $f=6-7$ , темно-серый, слоистый, трещиноватый с большим количеством слюдяного материала по наслоению. Ложная кровля - сланец глинистый  $m=0-0,3$  м, крепостью  $f=3-4$ . Непосредственная почва - сланец песчаный, тонкослоистый, прилегающий к пласту слой комковатой структуры «кучерявичик»  $m=1,06-4,0$  м.

В качестве объектов исследований были приняты (рис. 1):

пром. штрек 204-й западной лавы пл.  $h_{10}$ , который эксплуатировался повторно и служил вентиляционным штреком 205 зап. лавы при отработке подготовленного участка прямым ходом. Штрек погашался сразу после прохода очистного забоя;

пром. штрек 205-й западной лавы пл.  $h_{10}$ , предназначенный для транспортирования угля. Проводился с некоторым опережением линии очистного забоя.

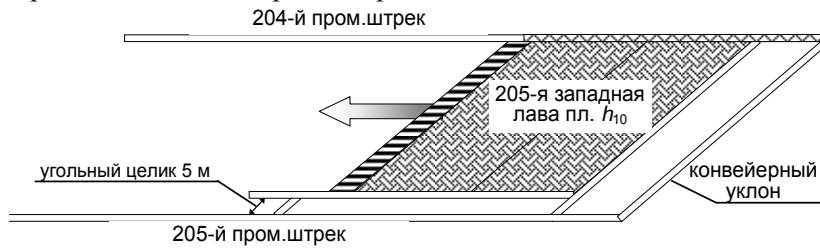


Рис. 1. Схема отработки 205-й западной лавы пласта  $h_{10}$

Пром. штрек 204 западной лавы проводился по пласту угля с верхней подрывкой пород. Крепление выработки – металлическая

арочная крепь КМП-А3/11,2 из СВП-22 с деревянной затяжкой. Площадь сечения  $S_{пр}=12,9 \text{ м}^2$ ,  $S_{св}=10,4 \text{ м}^2$ . Ширина выработки в проходке  $B_{пр}=4,5 \text{ м}$ , высота  $H_{пр}=3,36 \text{ м}$ . Выработка проводилась на глубине 1143 м. Исследованный участок повторно используемой выработки составлял 285 м.

Визуальное обследование выработки показало следующее. Хорошее состояние крепи отмечено лишь вначале наблюдаемого участка (до ПК3). По мере приближения лавы состояние выработки ухудшается. С ПК4 форма выработки изменяется, поперечное сечение уменьшается, отсутствуют межрамные стяжки и рамы завалены к устью.

На отрезке ПК8+7 – ПК8+17 наблюдаются вывалы пород кровли и боков. С ПК10 сечение пром. штрека значительно уменьшается с разрушением замков и верхних частей стоек. С отметки ПК13 и до окна лавы под каждую нижнюю стойку крепи для сохранения минимальной высоты выработки устанавливаются ремонтини. Рабочая печь находится на ПК14, и уже с ПК13+17 сечение выработки составляет не более  $3 \text{ м}^2$ .

Замерная станция (пункт) для проведения измерений представляет собой несколько контрольных точек, нанесенных краской на раму крепи. Количественно оценка состояния выработки по ее длине производилась путем замеров высоты  $H$  и ширины  $B$  сечения на замерных рамах через определенные расстояния по всей длине выработки (по возможности, в пределах каждого пикета). По полученным значениям определялась примерная площадь поперечного сечения выработки. Также контролировалась величина нахлеста профилей в замках податливости крепи  $Z_n$  и  $Z_n$ .

Следует отметить, что получение данных о состоянии массива пород или деформаций крепи представляет достаточно сложный, трудоемкий процесс, а сами результаты не всегда достоверны, что вызвано спецификой проведения измерений в действующей выработке при наличии в ней эксплуатационного оборудования.

С целью снижения трудоемкости выполнения замеров и получения более точных результатов, было разработано устройство, предназначенное для оценки изменений параметров внутреннего контура выработок, закрепленных металлической арочной крепью.

Устройство состоит из блока крепления и шарнирно соединенной с ним площадкой, на которой расположены на одном уровне лазерный дальномер и лазерный уровень, с возможностью измерения высоты выработки относительно горизонтально спроектированного луча. Схема измерительного пункта в выработке с установленным устройством и инструментами показана на рис. 2.

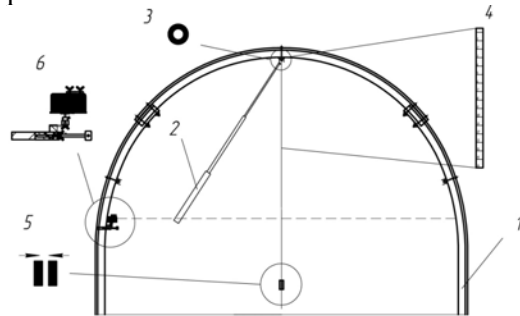


Рис. 2. Схема измерительного пункта и применяемые инструменты: 1 – рама крепи; 2 – телескопический удлинитель для закрепления магнита на верхняке; 3 – магнит для закрепления ленты рулетки в верхней точке крепи; 4 – лента рулетки; 5 – магниты-грузы закрепленные на нижней точке ленты рулетки; 6 – измерительное устройство

Схема закрепления измерительного устройства на стойке металлической крепи показана на рис. 3.

На рис. 4 приведены поперечное сечение металлической крепи 1, и параметры выработки которые

измеряются или вычисляются.

Устройство используется следующим образом (см. рис. 2 и 3).



Рис. 3. Установка измерительного устройства на стойке металлической крепи

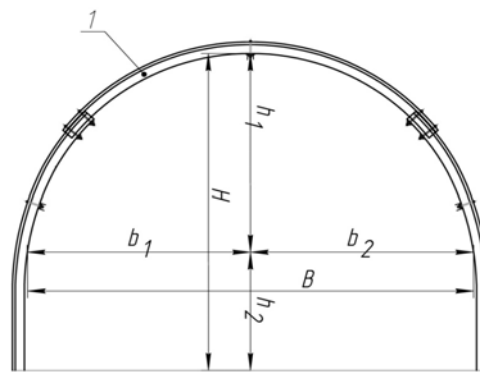


Рис. 4. Схема проведения замеров и измеряемые геометрические параметры

Блок крепления устройства благодаря раздвижке скоб, фиксируется на заданном уровне металлической стойки крепи с помощью зажимного винта. Площадка, которая соединена шарниром с блоком крепления, придвигается к стойке и выравняется по уровню. Лазерным дальномером, который расположен на площадке, измеряется ширина выработки  $B$ , как расстояние до противоположной стойки. С помощью телескопического удлинителя и магнита, к верхняку крепи подвешивается измерительная ленточная рулетка, которой измеряется высота выработки  $H$ . Далее ленточная рулетка используется в качестве отвеса благодаря закрепленным на свободном нижнем конце магнитов-грузов. Измеряется одна полуширина выработки  $b_1$  - от прибора к отвесу (рулетке), а вторая вычисляется:  $b_2 = B - b_1$ .

Высота от горизонта измерения до верхняка  $h_1$  находится с помощью лазерного уровня, расположенного на площадке, горизонталь которого отсвечивается на ленте рулетки. Полувысота от горизонта измерения до почвы вычисляется:  $h_2 = H - h_1$ .

Предлагаемое устройство позволяет отказаться от постоянных отвесов, трудоемкого и длительного проведения условного горизонтального уровня с помощью шнура, увеличивает точность измерений, а также позволяет работать в одной части выработки без перемещения через шахтное оборудование (конвейер) в другую. Все операции может выполнять один человек. Время на снятие необходимых параметров по одной раме крепи составляет 2-3 минуты, что позволяет за небольшой промежуток времени, провести серию измерений на протяженном участке выработки.

Результаты шахтных измерений деформаций крепи представлены на рис. 5.

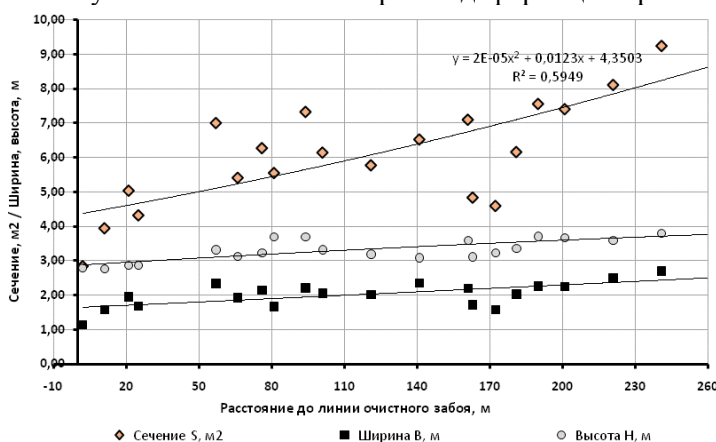


Рис. 5. Изменение параметров сечения 204 пром. штрека по мере подхода очистного забоя

Пром. штрек 205-й западной лавы проводится по пласту  $h_{10}$  с подрывкой пород кровли и почвы. Выработка предназначена для транспортирования угля при отработке 205 западной лавы. Предполагается сохранение выработки для повторного использования в качестве вентиляционной при работе планируемой

нижерасположенной лавы.

Способ проведения выработки - буровзрывной. Уборка породы и бурение шпуров осуществляется буропогрузочной машиной 2ПНБ-2Б. Транспортировка горной массы от забоя выполняется скребковым СП-202 и ленточным 1Л-1000Д конвейерами. Сечение выработки  $S_{св} =$

13,4 м<sup>2</sup>,  $S_{вч}=15,6$  м<sup>2</sup>; высота выработки  $H_{св}=3,62$  м,  $H_{вч}=3,84$  м. Крепь - КМП-АЗР3-13,4 с деревянной затяжкой. Замки М-24 без упорных хомутов. Шаг крепи - 0,8 м. Отметка проведения 205 пром. штрека составляет - 1193,0 м.

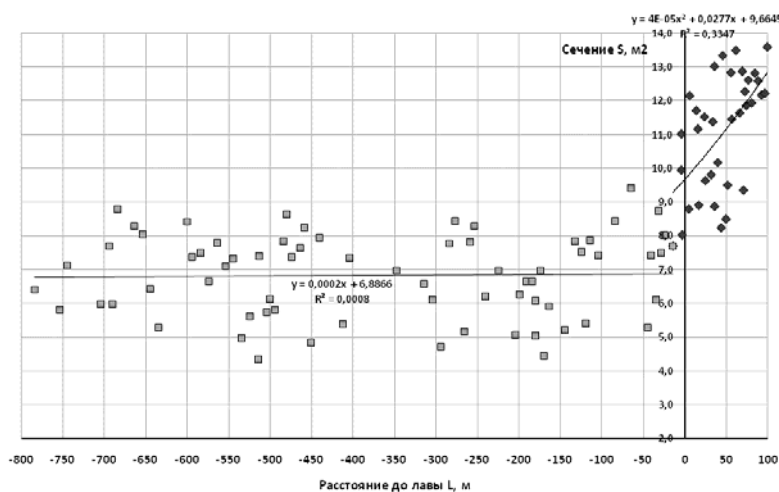
В результате визуального обследования выработки установлено следующее.

В начале выработки крепь установлена с шагом 0,5 м и имеет хорошее состояние. Этому способствует наличие целика для охраны конвейерного уклона.

После разрезной печи состояние выработки резко ухудшается. Комплектность металлической крепи не соответствует паспорту крепления: расстрельных и крепежных хомутов не хватает. На ряде рам штрека в замках податливости устанавливается только по одному хомуту. Хомуты применяются разных типов. Затяжка во многих местах отсутствует. Это приводит к быстрой деформации и разрушению крепи.

Усиление крепи ремонтными по линии лавы делается нерегулярно и является недостаточным, о чем свидетельствует поломка ремонтин, значительные деформации металлической крепи, разрывы хомутов и спецпрофиля стойки в узлах податливости.

По результатам выполненных инструментальных исследований установлено, что влияние лавы на участок сечения выработки начинается за 70–80 м до подхода очистного забоя (рис. 6).



**Рис. 6.** Изменение сечения 205 пром. штрека по мере приближения очистного забоя

На протяжении этого участка выработки и до сопряжения его с линией очистного забоя, сечение выемочного штрека уменьшается по степенной зависимости вида

$$S_{св}=0,0005L^2+0,028L+9,66,(2)$$

где  $L$  - расстояние от замерной точки до линии очистного забоя, м.

При этом сечение выработки снижается от  $S_{св}=13,6$  до

$S_{св}=7,1$  м<sup>2</sup>, что на сопряжении с лавой составляет 52,2 % от первоначального сечения.

За лавой, на протяжении почти 800 м, сечение выработки практически не уменьшается (всего на 0,5 м<sup>2</sup>). Тем не менее, остаточное сечение пром. штрека после прохода первой лавы является недостаточным, поскольку, влияние второй лавы приводит к снижению площади этого сечения еще на 50%. Необходимо также учесть, что потеря сечения выработки в зоне влияния первой лавы происходит неравномерно.

В зоне влияния движущейся лавы ширина выработки снижается от  $B=4,44$  до  $B=3,66$  м, что составляет 83,2% от первоначальной ширины. За лавой на протяжении 800 м ширина выработки уменьшается до значения  $B=3,58$  м, т.е. еще на 2%.

Высота выработки до подхода лавы уменьшается от  $H=3,85$  до  $H=2,4$  м, что составляет 62,4% от первоначальной высоты. За лавой высота выработки уменьшается до значения  $H=2,32$  м - всего на 2%.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Установлено, что одной из основных причин плохого состояния обследованных штреков является несоблюдение паспорта проведения и крепления выработки. Это существенно уменьшает несущую способность крепи, провоцирует расслаивание приконтурных пород, значительно увеличивая нагрузку на крепь. Вследствие этого, рамная крепь выработки теряет работоспособность и требует перекрепления после прохода лавы.

В результате исследований, выполненных в выемочных выработках на разных этапах их эксплуатации, установлено, что при подходе первой лавы и в зоне влияния второй лавы, изменение поперечного сечения пром. штрека подчиняется степенной зависимости. При этом влияние движущегося очистного забоя заметно на расстоянии 70...80 м, а конечная площадь сечения составляет 50% от его первоначальной величины.

В большей степени поперечное сечение уменьшается за счет смещений кровли, что предопределяет выбор конструктивных средств повышения устойчивости выработки, направленных на предупреждение деформаций пород кровли, в том числе, за счет создания прочной опоры для поддержания толщи пород на сопряжении «лава-штрек» после выемки пласта угля. Выполнение всех мероприятий по повышению устойчивости подготовительной выработки целесообразно проводить до влияния первой лавы.

Полученные в ходе шахтных исследований результаты являются исходными данными для численного моделирования поведения системы «лава - подготовительная выработка» на различных стадиях ведения горных работ при разных параметрах крепи и способах охраны объекта.

#### Список литературы

1. Скипочка С.И., Усаченко Б.М., Куклин В.Ю. Элементы геомеханики углепородного массива при высоких скоростях подвигания лав. – Днепропетровск: ЧП «Лира ЛТД», 2006. – 248 с.
2. Байсаров Л.В. Новые условия хозяйствования требуют новых технологических решений // Уголь Украины. – 2007. – № 7. – С. 3-6.
3. Ильяшов М.А. Перспективы использования комбинированного способа охраны сопряжений лав // Уголь Украины. – 2008. – № 4. – С. 8-11.
4. Majcherczyk T., Szaszenko A., Sdwizkowa E. Podstawy Geomechaniki. – Krakow: AGH Uczelniane wydawnictwa naukowo-dydaktyczne. – 2006. – 293 s.
5. Prusek S. Monitoring of a longwall gate road maintained behind the caving extraction front / S. Prusek, Z. Lubosik // Bergbau in Polen und Deutschland-Chancen für Innovationen und Kooperation: Freiburger Forschungsforum 57. – Bergund Huttenmannischer Tag. – 2006. – P. 84-95.
6. Солодянкин А.В., Машурка С.В., Дудка И.В. К вопросу об эффективности повторного использования выработок в сложных геомеханических условиях // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – 2015. – № 2 (16). – С. 99-109.
7. Обоснование параметров крепления участковых выработок в условиях ГП «Шахтоуправление «Южнодонбасское №1» / Е.А. Сдвижкова, А.В. Солодянкин, Д.В. Бабец, С.В. Машурка, О.А. Кузиева // Вісник Криворізького національного університету. – 2015. – Вип. 39. – С. 19-23.
8. Попович І.М. Обґрунтування параметрів способу забезпечення стійкості підготовчих виробок глибоких шахт, що використовують повторно. Автореферат дис... канд. техн. наук, НГУ, Дніпропетровськ. – 18 с.

Рукопись подана в редакцию 18.04.16.

УДК 662.612.3: 504

А.В. СИЗОНЕНКО, старший преподаватель

Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СЖИГАНИЯ МАЗУТНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Рассмотрены оптимальные организации процесса сжигания водоэмульсионных топлив, с помощью которых можно добиться снижения содержания  $\text{NO}_x$  в процессе горения за счет ввода пара или впрыскивании воды в зону горения. Применение водо-топливной эмульсии позволяет значительно повысить эффективность использования углеводородных топлив и намного уменьшить выброс вредных веществ в окружающую среду. При этом экономия топлива составляет 15-20 % при сохранении той же механической или тепловой мощности, а уменьшение выбросов по некоторым видам загрязнений составляет 2-3 раза.

Содержащиеся в топливе высокодисперсные частицы водной фазы, при прогреве в камере сгорания превращаются в паровые пузырьки, дробящие топливные капли на мельчайшие частицы, которые быстрее прогреваются, интенсивнее взаимодействуют вначале с кислородом, образующимся в результате диссоциации воды, воспламеняются и перемешиваясь с кислородом воздушного заряда, сгорают с большей интенсивностью (в 5-6 раз быстрее), чем чистый мазут.

При дополнительном дроблении капель эмульсии достигается ускорение их испарения и улучшается процесс перемешивания топлива с воздухом, в результате чего с учетом наличия в зоне горения продуктов диссоциации воды процесс сгорания мазута существенно интенсифицируется. Эти особенности сжигания водотопливной эмульсии в литературных источниках представлены только качественно. Поэтому целью данной работы является поиск функциональной взаимосвязи влияния различных факторов и параметров эмульсии на количество  $\text{NO}_x$  в отработанных газах. Приведены результаты работы эксперимента по сжиганию водоэмульсионных топлив, доказан эффект сокращения выбросов  $\text{NO}_x$ .

**Ключевые слова:** экология, мазутная эмульсия, сжигание.

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** Понятие экологизации технологий производства состоит в проведении мероприятий, направленных на предотвраще-

ние отрицательного воздействия производственных процессов на окружающую среду. В отношении применения жидких топлив, являющихся основными составляющими в балансе потребления при производстве энергии, экологизация означает предотвращение выбросов в атмосферу образующихся при сжигании различных вредных веществ, а также предотвращение загрязнения гидросферы и литосферы сточными водами, содержащими нефтепродукты.

В настоящее время природоохранные мероприятия, проводимые на действующих ТЭС и котельных, направлены на снижение выбросов оксидов азота, оксида углерода, а также оксидов серы. Многие широко применяемые сейчас методы организации процесса сжигания топлив преследуют цель подавления образования  $\text{NO}_x$ : ступенчатое сжигание, рециркуляция дымовых газов, сжигание топлива при пониженных избытках воздуха.

Выполненные исследования показывают, что одной из таких технологий для теплоэнергетики, направленной на защиту атмосферного воздуха от выбросов различных ингредиентов  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ , сажи, многоядерных углеводородов и других вредных веществ является сжигание мазута в виде водомазутных эмульсий.

**Постановка задачи.** Методы сжигания водомазутной эмульсии широко известны. В исследованиях, посвященных этому вопросу [1-4], установлено, что для достижения поставленной задачи ВМЭ должна быть приготовлена в виде однородной смеси мазута и добавляемой влаги по типу "вода-масло", в которой вода как дисперсная фаза в виде частиц диаметром несколько микрометров находится внутри топливной оболочки. Повышенная эффективность процесса горения эмульсии (даже при предельно низких избытках воздуха) обусловлена микровзрывом ее капель вследствие различия температур кипения воды и мазута. При дополнительном дроблении капель эмульсии достигается ускорение их испарения и улучшается процесс перемешивания топлива с воздухом, в результате чего с учетом наличия в зоне горения продуктов диссоциации воды процесс сгорания мазута существенно интенсифицируется. Эти особенности сжигания водотопливной эмульсии в литературных источниках представлены только качественно. Поэтому целью данной работы является поиск функциональной взаимосвязи влияния различных факторов и параметров эмульсии на количество  $\text{NO}_x$  в отработанных газах.

**Изложение материала и результаты.** С помощью физико-химических методов анализа продуктов сгорания топлива можно определить их количественный состав. Для реализации этой методики измерения используют прибор «Газохром 3201», который фиксирует в отработанных газах наличие  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  и т.п.

Обработку полученных данных по содержанию  $\text{NO}_x$  в продуктах сгорания водомазутной эмульсии с добавками дизельного топлива производили с использованием методов планирования экспериментов. Принимаем, что  $\text{NO}_x$  определяется отношением содержания мазута к содержанию воды, содержанием дизельного топлива, выдержкой эмульсии и коэффициентом избытка воздуха. Условия экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Условия экспериментов

Фактор	Код	Уровни варьирования					Интервал варьирования, Δ
		-1,414	-1	0	1	+1,414	
Отношение содержания мазута к содержанию воды, %	$X_1$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,1
Содержание дизельного топлива, %	$X_2$	0	5	15	25	30	10
Выдержка эмульсии, час	$X_3$	0	1	6	11	12	5
Коэффициент избытка воздуха	$X_4$	1	1,1	1,25	1,4	1,5	0,15

В качестве зависимой переменной  $Y$  рассматривали содержание  $\text{NO}_x$  в продуктах сгорания. Для исключения систематической ошибки устанавливали случайный порядок постановки опытов во времени.

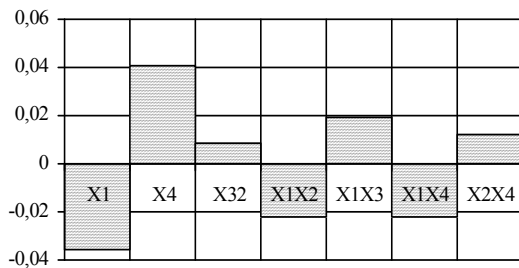
Для описания многофакторной зависимости выбран ортогональный многокомпозиционный план  $2^4$  и квадратичная модель. Математико-статистическую обработку экспериментов производили по принятой методике [5]. Проверку воспроизводимости опытов проводили по критерию Кохрена. Значимость полученных коэффициентов уравнения регрессии определяли критерием Стьюдента. Адекватность полученной математической модели оценивали с помощью  $F$ -

критерия Фишера. После обработки результатов экспериментов получено уравнение регрессии для вычисления параметра оптимизации с точностью до 0,7%.

$$Y = 1,387 - 3,6 \cdot 10^{-2} X_1 + 4,08 \cdot 10^{-2} X_4 + 8,54 \cdot 10^{-3} X_3^2 - 2,187 \cdot 10^{-2} X_1 \cdot X_2 - 0,0194 X_1 \cdot X_3 - 2,187 \cdot 10^{-2} X_1 \cdot X_4 + 0,0118 X_2 \cdot X_4 \quad (1)$$

Влияние исследуемых факторов показано на диаграмме (рис. 1).

Рис. 1. Диаграмма значимости факторов модели

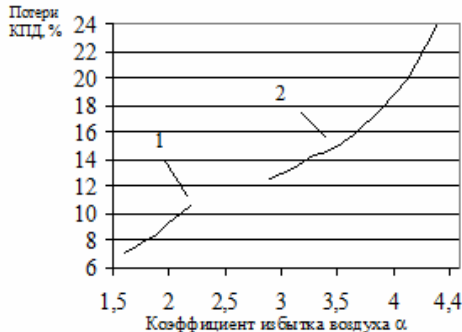


Анализ полученных результатов показывает, что наибольшее влияние на содержание  $\text{NO}_x$  в продуктах сгорания оказывает отношение содержания мазута к содержанию воды ( $X_1$ ), причем это влияние проявляется и во взаимодействии с  $X_2$  (содержание дизельного топлива) и  $X_4$  (коэффициент избытка воздуха).

Очевидно, что с увеличением количества воды в соотношении  $C_m/C_v$  содержание  $\text{NO}_x$  в

продуктах сгорания уменьшается. Сравнительный анализ процесса горения мазута и водомазутной эмульсии показал, что диспергированная влага оказывает как физическое, так и химическое воздействие на топочные процессы [6]. Физическое воздействие заключается в явлении микровзрывов мельчайших капелек воды, находящихся внутри топливной оболочки. При этом происходит дополнительное перемешивание топлива с воздухом. Диссоциация водяных паров, высвободившихся в результате микровзрывов, приводит к увеличению концентрации активных центров реакции. Значительные концентрации гидроксильного радикала увеличивает скорость выгорания окиси углерода. Дополнительно улучшает выгорание водомазутной эмульсии реакция водяного пара- реакция между паром и раскаленным углеродом. Улучшение перемешивания частиц топлива и воздуха за счет «микровзрывов» позволяет снизить избыток воздуха до критического значения и таким образом повысить КПД котла (рис. 2).

Рис. 2. Зависимость потерь КПД от коэффициента избытка воздуха: 1 - работа на водомазутной эмульсии; 2 - работа на мазуте



Сжигание эмульсий приводит к уменьшению окислов азота в продуктах сгорания, так как снижается температура пламени. Кроме того, увеличение количества активных центров реакции активизирует горение и соответственно снижает концентрацию атомарного кислорода. В результате этого снижается скорость окисления азота.

Что касается влияния фактора  $X_4$  - коэффициента избытка воздуха, отметим следующее.

По степени влияния на  $Y$  он доминирует и проявляется прямопропорциональная зависимость. В работе экспериментально установлено, что она имеет экстремальный характер. Увеличение выхода  $\text{NO}_x$  до критического значения объясняется повышением концентрации свободного кислорода. При дальнейшем повышении  $\alpha$  на выход  $\text{NO}_x$  оказывает влияние температура горения. При изменении  $\alpha$  изменяется также и теоретическая температура горения. График на рис. 3 представляет собой зависимость  $\text{NO}$  не только от  $\alpha$ , но также и от температуры. При постоянной температуре с увеличением  $\alpha$  выход  $\text{NO}$  увеличивается. Было установлено, что в факеле  $\text{NO}$  образуется в основном в зоне максимальных температур и в сравнительно узком их диапазоне на участке малой длины. При форсировании факела концентрация  $\text{NO}$  возрастает пропорционально  $q_F^{0,5}$  (где  $q_F$  - поверхностная плотность тепловыделения,  $\text{МВт}/\text{м}^2$ ).

Применение этих методов сжигания будет способствовать также повышению надежности работы парогенераторов на мазуте. Высокие температуры горения, характерные для сжигания газа и мазута, обуславливают большие тепловые напряжения поверхностей нагрева, что вызывает угрозу пережога экранных труб. Понижением температурного уровня в нижней части топочной камеры эта угроза может быть снята. Зависимость  $Y$  от выдержки эмульсии  $X_3$  имеет

нелинейный характер, обусловленный скорее всего кинетикой коагуляции частиц дискретной фазы.

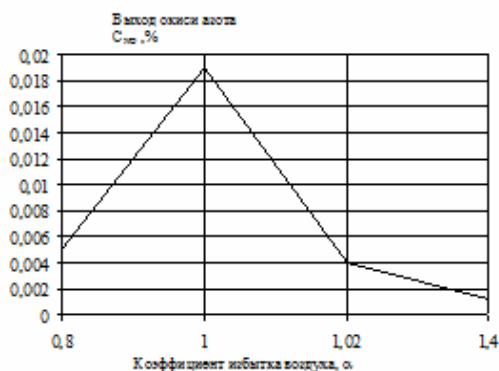


Рис. 3. Выход окислов азота в зависимости от коэффициента избытка воздуха

Установлено, что при значительной устойчивости ЭТС это влияние практически незначимо. В эффектах взаимодействий проявляется влияние доминирующего фактора. Исключение составляет  $X_1 \cdot X_4$ . Видимо увеличение концентрации воды в ЭТС способствует образованию дополнительного атомарного кислорода в реакции горения при диссоциации воды или снижению температуры. В результате уменьшается и выход окислов азота. Таким образом, чем большие значения принимает со-

отношение  $X_1, X_4$ , тем меньше  $Y$ .

**Выводы и направление последующих исследований.** Сжигание ВМЭ приводит к интенсификации выгорания топлива, уменьшению длины факела и увеличению надежности работы пароперегревателя. Температура уходящих газов при переходе на ВМЭ практически не изменилась. Расчетные оценки [5] показали, что экономические показатели работы котла для традиционного и рекомендуемого вариантов практически одинаковы.

Следует особо подчеркнуть, что высокий уровень влажности ВМЭ целесообразно устанавливать только в целях огневого обезвреживания большого количества сточных вод. Если такой необходимости нет, то для значительного снижения газообразных вредных выбросов вполне достаточно поддерживать соотношение объемов воды и топлива на уровне 3-5 % при соответствующей организации процесса сжигания топлива. В этом случае увеличение потери теплоты с уходящими газами (из-за испарения добавляемой влаги) незначительно и вполне компенсируется интенсификацией процесса сжигания топлива и возможностью перехода на более, низкие значения коэффициента избытка воздуха. При соблюдении описанных выше условий увеличения интенсивности низкотемпературной коррозии не наблюдается.

#### Список литературы

1. Иванов В.М. Топливные эмульсии. М.: Изд-во Академии наук СССР. 1962.
2. Акчури Р.Ю., Балахничев Н.А. Подготовка мазута к сжиганию в кавитационном реакторе / Р.Ю. Акчури, Н.А. Балахничев // Энергетик. 1986. №9. - С. 8-9.
3. Попов А.И., Голубь Н.В., Ерофеева В.И., Харитонов А.К., Щупарский А.И. Уменьшение вредных выбросов при сжигании водомазутной эмульсии / А.И. Попов, Н.В. Голубь, В.И. Ерофеева, А.К. Харитонов, А.И. Щупарский // Энергетик. 1983. №2. - С 11-14.
4. Кормилицын В.И., Лысков М.Г., Третьяков Ю.М. Экономичность работы парового котла при управлении процессом сжигания топлива вводом влаги в зону горения / В.И. Кормилицын, М.Г. Лысков, Ю.М. Третьяков // Теплоэнергетика. 1988. № 8. - С. 13-15.
5. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1976. - 279 с.
6. Хзмалян Д. М., Каган Я. А. Теория горения и топочные устройства. Под ред. Д. М. Хзмаляна. М., «Энергия», 1976 - 488 с.
7. Павленко А.М. Стійкість емульсій при технологічних впливах / А.М. Павленко // Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2001. - 140 с.
8. Павленко А.М. Структурообразование и дезинтеграция эмульсий в вихревых аппаратах / Павленко А.М., Басок Б.И. // Днепродзержинск: ДГТУ, 2009. - 205с.
9. Бородин В.А., Дитякин Ю.Ф. Распыливание жидкостей / В.А. Бородин, Ю.Ф. Дитякин // М.: машиностроение, 1967. - 267 с.
10. Ляховский Д.Н. Вопросы аэродинамики и теплопередачи в котельно-топочных процессах / Д.Н. Ляховский // М: Госэнергоиздат, 1958 - 67 с.
11. Лариков Н.Н. Теплотехника / Н.Н. Лариков // М.: Стройиздат. 1985 - 432 с.
12. Драгоманов Б.Х. Теплотехніка. / Б.Х. Драгоманов, А.А. Долинський, А.В. Міщенко, Є.М. Письменний. // Київ.: «ІНКОС», 2005 - 504 с.
13. Григорьев К.А. Технология сжигания органических топлив / К.А. Григорьев, Ю.А. Рундыгин, А.А. Тринченко. - СПб.: Издательство Политехнического университета, 2006. - 92 с.
14. Гушин С.Н. Расчеты горения топлив / С.Н. Гушин, М.Д. Казяев // Екатеринбург.: УГТУ-УПИ, 1995 - 48с.
15. Сполдинг Д.Б. Горение и массообмен / Д.Б. Сполдинг // М.: Машиностроение, 1985 - 240 с.
16. Таланов А.В. Основы теории горения / А.В. Таланов // Казань, 1975 - 252 с.

Рукопис подано до редакції 14.04.15



УДК 422.458

В.А. КОНОВАЛЮК, канд. техн. наук, доц., А.О. ГОЛИШЕВ, ст. викладач  
Криворізької національний університет

## РОЗРАХУНОК ЗБІРНИХ ПОВІТРОПРОВОДІВ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Робота присвячена розробці методики розрахунку повітропроводів з використанням коефіцієнтів витрат повітря і збільшення тиску, яка актуальна для розрахунку жорстких збірних повітропроводів. Запропоновані рівняння описують аеродинамічний процес, що має місце в повітропроводі і в його нещільностях.

При визначенні розрахункової залежності вважається що витрати на ділянках змінюються, а в самому з'єднанні має місце додатковий місцевий опір. Використовуючи цю модель В.Н. Воронін отримав залежність, для визначення втрати тиску і зробив припущення, що коефіцієнт витрат можна визначити по тій же залежності, що некоректно. Медведєв Б.І. отримав значення  $K_Q$  і  $K_h$ , але в неявному вигляді. Скориставшись методикою І.С. Дельчика для врахування додаткової втрати тиску при злитті чи поділу струменя авторами запропоновані рівняння для визначення коефіцієнтів витрат повітря  $K_Q$  і збільшення тиску  $K_h$ , як для нагнітальних так і для всмоктувальних повітропроводів. Згідно отриманих залежностей побудовані графіки для найбільш поширених діаметрів трубопроводів з різною якістю монтажу стиків, що працюють як при нагнітанні так і при всмоктуванні. Із отриманих графічних залежностей наглядно видно, що характер кривих  $K_Q$  і  $K_h$  при малих і великих кількостях стиків відрізняються дуже суттєво. Рівність цих коефіцієнтів можна допускати при числі стиків не більше 20. При роботі трубопроводу на всмоктування значення коефіцієнтів  $K_Q$  і  $K_h$  збільшуються майже в два рази.

Таким чином запропонована методика розрахунку негерметичних повітропроводів придатна при будь-якому числі стиків і відомій якості монтажу трубопроводу, а для діючого трубопроводу можливо визначити фактичне значення коефіцієнтів  $K_Q$  і  $K_h$  експериментально.

**Ключові слова:** повітропроводи, аеродинамічний процес, коефіцієнт витрат, нагнітальні та всмоктувальні повітропроводи.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** При провітрюванні цехів промислових підприємств і гірничих виробок часто використовуються як гнучкі так і жорсткі збірні повітропроводи. Для виготовлення жорстких застосовують метал і тверді пластмаси, а гнучких – прогумована тканина, поліетилен і інші гнучкі пластмаси. Довжина жорстких сегментів як правило не перевищує 5м, а гнучких – до 20м. Сегменти з'єднуються між собою за допомогою фланців і легкороз'ємних пристроїв. При цьому в місцях з'єднання не завжди досягається повна герметичність, а прогумовані труби можуть бути недостатньо герметичні по всій довжині. При цьому чим більша різниця тисків всередині і зовні трубопроводу тим більшими будуть втрати повітря.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Режим руху повітря в трубопроводах завжди турбулентний, тоді як в нещільностях може бути як турбулентний так і ламінарний чи перехідний. При цьому в тому самому трубопроводі в зоні високого тиску режим фільтрації може бути турбулентним, а низького - перехідним чи навіть ламінарним. Дослідженню режиму фільтрації повітря в нещільностях трубопроводів присвячено дуже мало наукових праць. Воронін В.Н. вважав, що режим фільтрації повітря в нещільностях трубопроводів турбулентний [1]. Більш докладно це питання досліджено в роботі Ф.С. Клебанова [2], з якої слідує що для гнучких трубопроводів квадратичний закон опору витримується при слабкій герметичності, малій довжині і достатньо великій витраті повітря. Однак на кінцевих ділянках в більшості випадків цей закон порушується.

Слід зазначити, що фундаментальні дослідження, присвячені питанню режиму фільтрації в вентиляційних трубах прохідницьких трубопроводів відсутні.

**Постановка завдання** заключається в розробці методики розрахунку жорстких негерметичних трубопроводів при будь-якому режимі фільтрації з використанням рекурентних рівнянь для визначення коефіцієнтів збільшення тиску  $K_h$  і витрат  $K_Q$ .

**Викладання матеріалу та результати.** Кількість повітря, що проходить через нещільності жорсткого трубопроводу (отвір, щілина), можна визначити по закону руху через отвір в тонкій стінці чи сопло (якщо витікання через фланець)

$$Q_n = \mu_o \cdot S_o \sqrt{2h / \rho}, \quad (1)$$

де  $S_o$  - площа повздовжнього перерізу отвору, щілини,  $m^2$ ;  $\mu_o$  - експериментальний коефіцієнт витрат, що залежить від основних розмірів отвору, товщини стінки, фланця;  $\rho$  - густина повітря,  $kg/m^3$ ;  $h$  - надлишковий тиск всередині трубопроводу, Па.

Перепишемо залежність (1) так,  $m^3/c$

$$Q_n = \sqrt{2/\rho} \cdot S_o \cdot \mu_o \sqrt{h}. \quad (2)$$

Змінними величинами по довжині трубопроводу є надлишковий тиск  $h$  і коефіцієнт витрат  $\mu_o$ . У випадку, якщо режим фільтрації залишається постійним, то величина  $\mu_o$  також постійна

$$\sqrt{2/\rho} S_o \mu_o / L = 1/\sqrt{r} = \text{const}. \quad (3)$$

Тоді

$$Q_n = \sqrt{h/r} \cdot L. \quad (4)$$

Тобто отримали відомий закон руху повітря в повітропроводі (трубі, щілині, отворі) при турбулентному режимі руху.

Для трубопроводу з відносно рівномірно розподіленими нещільностями (металевий з повздовжнім швом, гнучкий) процес турбулентної фільтрації описується законом Дарсі

$$h = (\lambda' \rho \delta / 2d_{\text{екв}} m_s^2) \cdot (Q_n^2 / \pi^2 d^2 l^2), \quad (5)$$

де  $d_{\text{екв}}$  - еквівалентний діаметр отвору, м;  $m_s$  - коефіцієнт поверхневої щільності;  $\delta$  - товщина стінки, м;  $\lambda'$  - коефіцієнт опору руху повітря в отворах;  $d$  - діаметр трубопроводу, м;  $l$  - довжина трубопроводу, м.

В залежності (5) змінними є  $Q_n$  та  $\lambda'$ . Остання величина залежить від режиму фільтрації, а при квадратичному законі опору вона постійна.

Позначимо

$$\lambda' \cdot \rho \cdot \delta / 2d_{\text{екв}} \cdot m_s^2 \cdot \pi^2 \cdot d^2 = r_\phi \quad (6)$$

де  $r_\phi$  - величина, що характеризує опір фільтрації.

З врахуванням цієї заміни залежність (5) прийме вигляд, м<sup>3</sup>/с

$$Q_\phi = \sqrt{h/r_\phi}. \quad (7)$$

Аналізуючи залежності (3) й (6) можна зробити висновок, що закони руху повітря в тонких стінках і пориста фільтрація при турбулентних режимах описуються однією і тією ж залежністю (4) і (7), так як

$$1/\mu_o^2 = \lambda' \cdot \delta / d_{\text{екв}} \quad (8)$$

При визначенні опору негерметичного жорсткого трубопроводу звичайно приймаються фізичні моделі. Опір визначається ступінчасто від стику до стику з відповідною зміною кількості повітря. Ця модель запропонована В.Н. Вороніним і була основною до теперішнього часу. Для гнучких трубопроводів В.Н. Воронін запропонував модель, в якій зміна кількості повітря відбувається безперервно, так як передбачається, що нещільності розташовані рівномірно. Ця модель також є основною.

Виходячи з цих моделей В.Н. Воронін вперше отримав залежність для розрахунку депресії і витрати негерметичного повітропроводу для провітрювання прохідницької виробки

$$P = (n^{3/2} / 3\sqrt{R/r} + 1)^2, \quad (9)$$

де  $P$  - коефіцієнт втрат тиску і витрат повітря;  $n$  - кількість ланок трубопроводу;  $R$  - аеродинамічний опір однієї ланки, Нс/м<sup>8</sup>.

Як бачимо, автор передбачає, що зміна тиску в негерметичному трубопроводі відносно герметичного така ж як і зміна витрати відповідно в тому і іншому повітропроводі.

Ш.П. Хангельдян отримав аналітичну залежність розподілу тиску по довжині трубопроводу від кінцевої і початкової витрати повітря [4], а також коефіцієнта втрат повітря і збільшення тиску від довжини. При цьому також не враховувалось додаткова втрата енергії на злиття або ділення потоку. Отже така модель може бути прийнятна тільки для гнучких трубопроводів.

Найбільш повна фізична модель, що враховує втрату енергії при діленні або злитті потоків запропонована Б.І. Медведєвим, В.П. Сухоруковим і Г.А. Адоньєвим [3]. Однак рішення отримано в неявному вигляді і в принципі прийнятне тільки для гнучких трубопроводів.

Для розрахунку жорстких повітропроводів пропонується наступна методика. Втрата тиску на тертя в ланці герметичного трубопроводу дорівнює, Па

$$h = R \cdot Q^2 \quad (10)$$

де  $R$  - аеродинамічний опір однієї ланки, Нс<sup>2</sup>/м<sup>8</sup>;  $Q$  - витрата повітря в даній ланці, м<sup>3</sup>/с.

Кількість повітря, яке проходить через нещільності стику буде визначатися тою ж величиною надлишкового тиску і дорівнюватиме,  $\text{м}^3/\text{с}$

$$Q_n = \sqrt{h} / \sqrt{r}, \quad (11)$$

тобто відповідає залежності (4) або (7).

Додаткова втрата тиску при діленні або злитті потоку може бути виражена згідно Ідельчику

$$\Delta h = \kappa(Q + Q_n)^2, \quad (12)$$

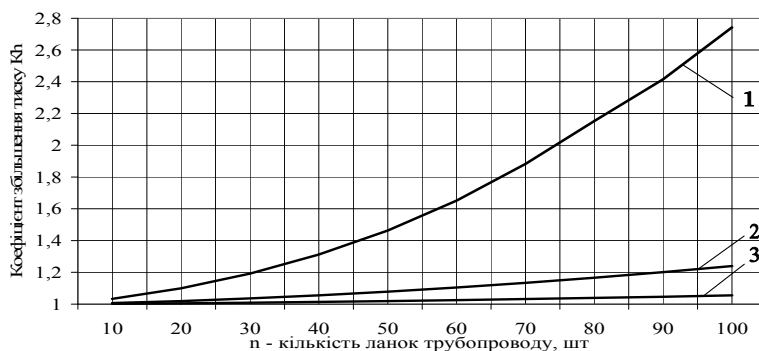
де  $\kappa$  - коефіцієнт, що враховує геометричні параметри стику.

Аналогічний розрахунок трубопроводу із « $n$ » стиків дозволяє отримати рекурентні рівняння для коефіцієнтів збільшення тиску  $K_h$  і витрат  $K_Q$

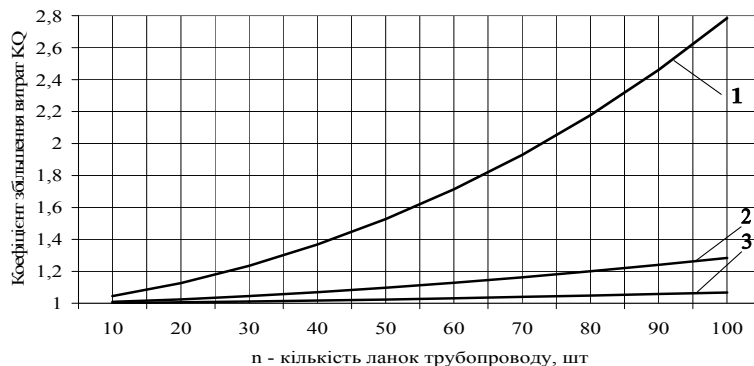
$$K_{h_n} = \left(1 + \sum_{i=1}^n P_{Q_i}\right)^2 + k / R \left(1 + \sum_{i=1}^n P_{Q_i}\right) P_{Q_n} \quad (13)$$

$$K_{Q_n} = \sqrt{R/r} \sqrt{\sum_{i=1}^n P_h} \quad (14)$$

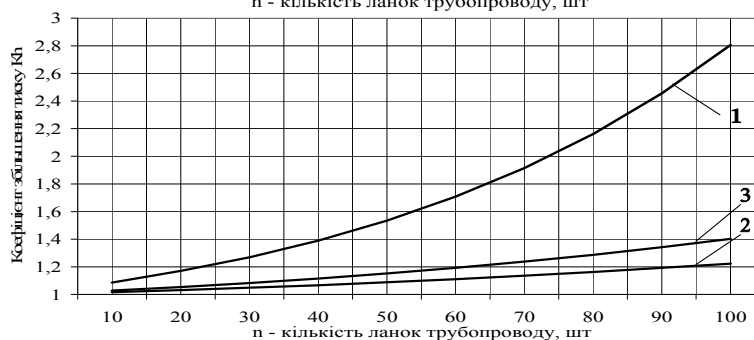
Рішення рекурентних рівнянь (13) і (14) наведено на графіках.



**Рис. 1.** Залежність коефіцієнта збільшення тиску  $K_h$  від кількості ланок при роботі на нагнітання для жорстких повітропроводів діаметром 500 мм: 1 - низька герметичність стиків; 2 - середня герметичність стиків; 3 - висока герметичність стиків

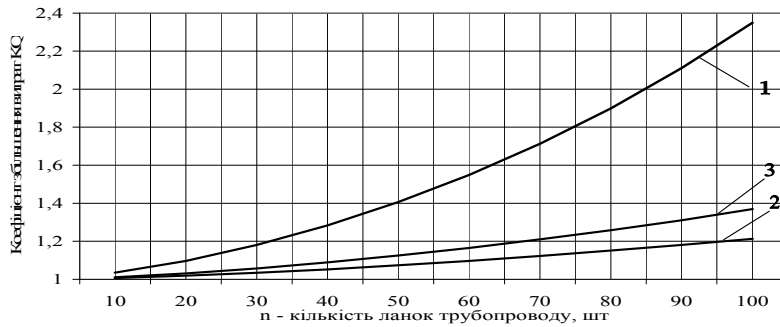


**Рис. 2.** Залежність коефіцієнта збільшення витрат  $K_Q$  від кількості ланок при роботі на нагнітання для жорстких повітропроводів діаметром 500 мм: 1 - низька герметичність стиків; 2 - середня герметичність стиків; 3 - висока герметичність стиків

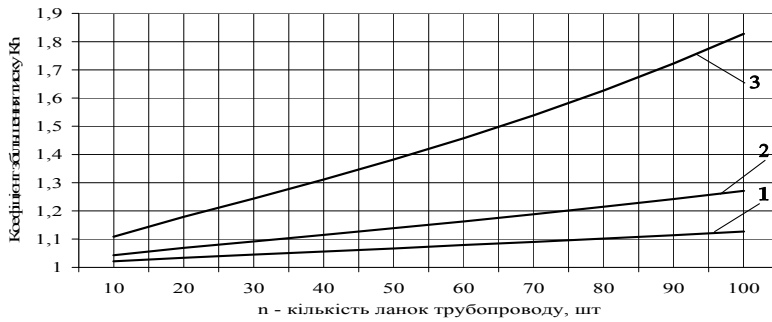


**Рис. 3.** Залежність коефіцієнта збільшення тиску  $K_h$  від кількості ланок при роботі на нагнітання для жорстких повітропроводів діаметром 600 мм: 1 - низька герметичність стиків; 2 - середня герметичність стиків; 3 - висока герметичність стиків

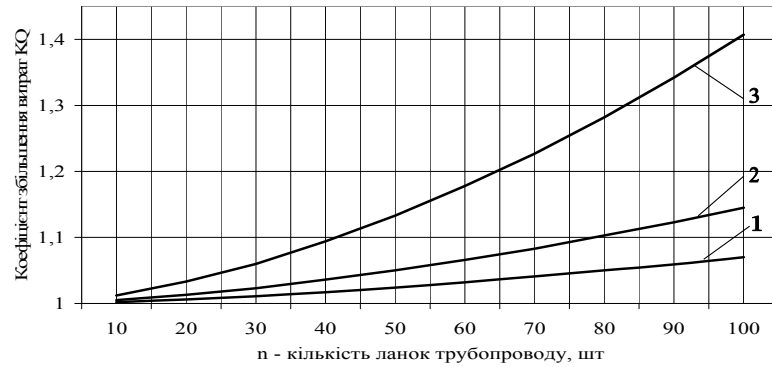
Згідно отриманих залежностей побудовані графіки для найбільш поширених діаметрів промислових повітропроводів (500, 600 і 800 мм) з різною якістю монтажу стиків (високої, середньої і низької) при роботі на нагнітання і для трубопроводів діаметром 500 мм при роботі на всмоктування.



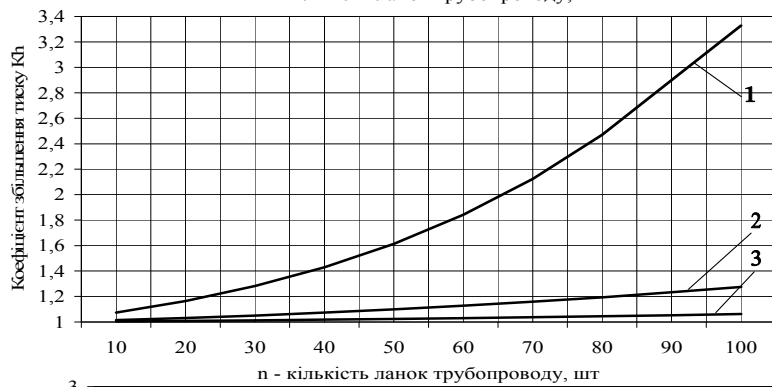
**Рис. 4.** Залежність коефіцієнта збільшення витрат  $K_Q$  від кількості ланок при роботі на нагнітання для жорстких повітропроводів діаметром 600 мм: 1 – низька герметичність стиків; 2 – середня герметичність стиків; 3 – висока герметичність стиків



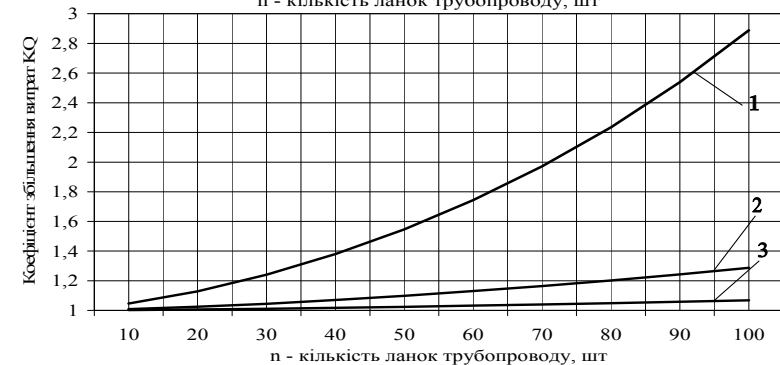
**Рис. 5.** Залежність коефіцієнта збільшення тиску  $K_h$  від кількості ланок при роботі на нагнітання для жорстких повітропроводів діаметром 800 мм: 1 – низька герметичність стиків; 2 – середня герметичність стиків; 3 – висока герметичність стиків



**Рис. 6.** Залежність коефіцієнта збільшення витрат  $K_Q$  від кількості ланок при роботі на всмоктування для жорстких повітропроводів діаметром 800 мм: 1 – низька герметичність стиків; 2 – середня герметичність стиків; 3 – висока герметичність стиків



**Рис. 7.** Залежність коефіцієнта збільшення тиску  $K_h$  від кількості ланок при роботі на всмоктування для жорстких повітропроводів діаметром 500 мм: 1 – низька герметичність стиків; 2 – середня герметичність стиків; 3 – висока герметичність стиків



**Рис. 8.** Залежність коефіцієнта збільшення витрат  $K_Q$  від кількості ланок при роботі на всмоктування для жорстких повітропроводів діаметром 500 мм: 1 – низька герметичність стиків; 2 – середня герметичність стиків; 3 – висока герметичність стиків

Як видно із графіків при зміні діаметру коефіцієнти збільшення витрат і тиску мають різні значення, а саме при роботі на нагнітання: для повітропроводів діаметром 500 мм вони найбільші при низькій і найменші при високій герметичності стиків (розташування кривих 1,2,3 (рис. 1 і 2)); для повітропроводів діаметром 600 мм вони найбільші при низькій і найменші при середній герметичності стиків (розташування кривих 1,3,2 (рис. 3 і 4)); для повітропроводів діаметром 800 мм вони найбільші при високій і найменші при низькій герметичності стиків (розташування кривих 3,2,1 (рис. 5 і 6)).

При роботі на всмоктування вищезазначені залежності зберігаються, розташування кривих на графіках в тому ж порядку що і при роботі на нагнітання (рис. 7 і 8), але значення коефіцієнтів збільшуються (особливо коефіцієнта збільшення тиску  $K_h$ ).

**Висновки.** З отриманих графічних залежностей наглядно видно, що характер кривих  $K_Q$  і  $K_h$  при малих і великих кількостях стиків відрізняються дуже суттєво. Рівність коефіцієнтів  $K_Q$  і  $K_h$  можна допускати при числі стиків не більше 20. При роботі трубопроводу на всмоктування значення коефіцієнтів  $K_Q$  і  $K_h$  збільшуються ще істотніше.

Таким чином, коефіцієнти витрати і збільшення тиску відрізняються тим більше, чим гірше якість збірки труб. Методики розрахунку негерметичних жорстких трубопроводів, що розроблені Вороніним В.Н. і Хангельдяном Ш.П. не дають належної точності.

При значній довжині повітропроводів втрата тиску по довжині є нелінійною залежністю, тому запропонована методика дозволяє підвищити точність розрахунку.

Запропонована нами методика розрахунку негерметичних жорстких повітропроводів придатна при будь-якому числі стиків і відомій якості монтажу трубопроводу, а для діючого трубопроводу можливо визначити фактичне значення коефіцієнтів  $K_Q$  і  $K_h$  експериментально.

Методика розрахунку актуальна для всіх режимів фільтрації при умові введення відповідного коефіцієнта  $k$  з будь-якої ланки по довжині.

### Список літератури

1. Голишев О.М., Герасимчук О.В., Задорожній С.І. Питання стабільної роботи витяжних вентиляторів системи аспірації гірничо-збагачувальних комбінатів. Вентиляція, освітлення та теплозапобігання: Наук.-техн. зб. – К.: КНУБА, 2011. – Вип.15. – С.120-127.
2. Воронин В.Н. Основы рудничной аэрогазодинамики. М.: Углетехиздат. 1961, 365 с.
3. Клебанов Ф.С. Расчет воздухопроводов с квадратичным законом утечек. ИГД им. Скочинского. Вопросы аэрологии и борьбы с пылью на угольных шахтах и разрезах. Научные сообщения. Вып. 170, 1979.
4. Медведев Б.И., Сухороков В.П., Адоньев Г.А. Сопrotивление перфорированных трубопроводов. Разработка месторождений полезных ископаемых. Вып. 52. К.: Техника, 1980.
5. Хангельдян Ш.П. К подсчету депрессии при неплотных воздухопроводах для проветривания тупиковых выработок большой длины. Известия вузов: Строительство и архитектура, Новосибирск, 1972, №1 части оборудования
6. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Под ред. М. О. Штейнберга. 3-е изд., М.: Машиностроение, 1992. - 672 с.
7. Краснов Ю.С., Борисоглебская А.П., Антипов А.В. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию, испытаниям, наладке. Термокул, 2004. - 373 с.
8. Булгаков Ю.Ф., Трофимов В.О., Кавєра О.Л., Ніколаєв Є.Б. Комп'ютерне моделювання аварійних вентиляційних режимів.- Донецьк: Донбас, 2014. - 139 с.
9. Liu W., Long Z., and Chen Q. "A procedure for predicting pressure loss coefficients of duct fittings using CFD (RP-1493)" HVAC&R Research, 18(6), 2012.1168-1181.
10. Static Pressure Losses in 6", 8", and 10" Non-Metallic Flexible Duct. Kevin Weaver, EIT, Graduate Research Assistant, Charles Culp, Ph.D., P.E., ASHRAE Fellow, Associate Professor, Texas A&M University.
11. Richard Steven Diagnostic Methodologies for Generic Differential Pressure Flow Meters, DP Diagnostics LLC, PO Box 121, Windsor, CO 80550-0121.
12. Крупнов Б.А., Шарафадінов Н.С. Руководство по проектированию систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Москва: Вена, 2008. - 220 с.
13. Зарниціна Э.Г., Терехова О.Н. Вентиляционные установки и пневмотранспорт. Барнаул: АлтГТУ, 2011. - 228с.
14. Зверевич В.В., Перов В.А. Водовоздушное хозяйство обогатительных фабрик. М.: Недра, 1976. - 199 с.
15. John Kaiser Calautit, Ben Richard Hughes Methodology for a Closed loop Subsonic Wind Tunnel. School of Civil Engineering, University of Leeds, Leeds, United Kingdom b Department of Industrial and Mechanical Engineering, Qatar University, Doha, Qatar.

Рукопис подано до редакції 04.02.16

УДК 004.67

А.І. КУПІН, д-р техн. наук, проф., Д.І. КУЗНСЦОВ, канд. техн. наук, ст. викл.  
Криворізький національний університет

## ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ АВТОМАТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПОБУТОВОЇ ТЕХНІКИ У СИСТЕМАХ ТИПУ «ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ДІМ»

Сучасні котеджі, квартири, апартаменти та приватні будинки є складними інженерними комплексами, які вимагають кваліфікованої експлуатації. Системи «Інтелектуальний дім» дають змогу, у автоматичному режимі, виконувати управління енергозабезпеченням, опаленням, вентиляцією, кондиціонуванням тощо. Завдяки такій автоматизації кожна частина такої інформаційної системи працює злагоджено з іншими, у оптимальному режимі, що дозволяє економити час та гроші. Окрім виконання функції контролю та забезпечення комфортних умов перебування у приміщенні, на даний момент, перспективним шляхом досліджень систем «Інтелектуальний дім» є самодіагностика побутової техніки, комунікаційного обладнання тощо. Наприклад, визначення протікань батарей, труб, неправильної роботи або роботи у аварійних режимах побутової техніки. У свою чергу, наявність сучасних бездротових технологій дозволяють власнику будинку одразу дізнатися про будь-яку нештатну ситуацію. На даний момент існуючі розробки та технологічні рішення, щодо автоматичної самодіагностики побутової техніки вимагають наявності спеціалізованих блоків або видів побутової техніки з інтегрованими елементами діагностики, що є досить дорогим рішенням для впровадження в систему «Інтелектуальний дім». У даній статті авторами запропоновано метод спектр-струмової діагностики побутової техніки на основі спектрального аналізу електромережі у якій працюють побутові прилади з асинхронними двигунами. Використання запропонованого підходу дозволяє виконувати непряму діагностику та ідентифікацію будь-якого побутового обладнання елементом якого є асинхронний двигун, що дозволяє зменшити витрати коштів на використання спеціалізованого обладнання, а також спростити логіку управління інформаційною системою «Інтелектуальний дім».

**Ключові слова:** інтелектуальний дім, самодіагностика, асинхронних двигун, інформаційна система, спектр-струмовий аналіз.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** В сучасних електронно-інформаційних системах будинків системи автоматизації та управління займають досить вагоме місце. У свою чергу вони забезпечують взаємозв'язок всього устаткування та інформаційних систем будинку. Велика кількість останніх досліджень показує підвищення тенденції до збільшення частини інженерних систем та інтелектуальних систем автоматизації при проектуванні або модернізуванні сучасних будівель [1]. Розвиток даної тенденції приводить до збільшення ролі систем автоматизації і управління будинками з однієї сторони та концепції взаємного співіснування інженерного обладнання та організації технічних рішень з експлуатації та використанням систем автоматизації і управління будівлями з іншої сторони.

Класична система «Інтелектуальний дім» включає централізований підхід до управління. Єдиний центр управління та прийняття рішень зосереджується у блоці управління до якого під'єднуються всі дочірні елементи. Дані системи здатні виконувати управління мікрокліматом приміщень, контролювати побутову техніку, управління опаленням, освітленням, каналізацією тощо. Слід відмітити те, що головною особливістю таких систем є попереднє створення алгоритму роботи та жорстке обмеження щодо існуючих сценаріїв роботи.

Головною особливістю сучасних досліджень у даному напрямі є максимальне спрощення алгоритмів роботи систем розумний дім, досягнення можливості адаптації та самонавчання під потреби користувачів. Досить важливою задачею є дистанційний моніторинг, діагностика та управління побутовою технікою.

Наприклад, попередження повного виходу з ладу електроприладів, які починають працювати у аварійному режимі, на основі використання функції самодіагностики і відправлення відповідного запиту до сервісного центру з кодом можливої несправності, що дозволяє значно зменшити час на встановлення причини майбутньої поломки.

Головним недоліком існуючих методів, розробок та технологічних рішень є використання спеціалізованих датчиків, контролерів та пристроїв які використовуються тільки для найостанніших версій побутової техніки, що у свою чергу унеможливує використання всіх елементів та аспектів «Інтелектуальний дім» у середньостатистичній квартирі з доволі старою технікою (віком 5-10 років).

Також слід відмітити те, що організація функції самодіагностики побутової техніки можлива тільки для окремого типу техніки, тобто в якій дана функція закладена у конструкцію [5].

**Аналіз досліджень і публікацій.** На сьогоднішній день велика кількість компаній по виготовленню побутової техніки займається дослідженнями у сфері інновацій для систем «Інтелектуальний дім». Зокрема, компанія LG створила технологію інтелектуальної самодіагностики Smart Diagnosis та систему управління енергоспоживанням Smart Grid Ready [2]. Дані технології дозволяють останнім версіям побутової техніки даної компанії краще проводити самодіагностику та інформувати про це користувача. За допомогою Wi-Fi, NFC і звукових діагностичних сигналів, власник відразу ж повідомляється про незначні проблеми, такі як, наприклад, виключення льодогенератора, що сприяє скороченню звернень в службу технічної підтримки і дорогих викликів майстра на дім.

Також слід відмітити, те що існують досить поширені інформаційні технології, методи та засоби цифрової діагностики електрообладнання, зокрема асинхронних електродвигунів (АД) які є у основі багатьох побутових приладів, наприклад, фенів, пилососів, пральних машин тощо. Одним із перспективних варіантів розв'язання задач моніторингу та діагностики побутової техніки з АД є використання спектр-струмової діагностики на основі використання апарату нейромереж. Нейронні мережі можна використати для розв'язання задач класифікації, зменшення рівня шуму, виділення параметрів та розпізнавання змістовних елементів цифрових сигналів з високою точністю і швидкістю. Тому дані задачі є складовою загальної проблеми цифрової обробки сигналів і на сучасному етапі є важливі та актуальні.

Зокрема, найпоширенішими методами діагностування асинхронних електродвигунів є наступні [4]:

вібраційний спосіб оцінки технічного стану електродвигуна, за яким реєструють та аналізують сигнал, який створює вібрація приладу;

спосіб моделювання, який включає в себе етап розробки комп'ютерної моделі двигуна, з'єднання з устаткуванням за допомогою великої кількості датчиків;

спектр-струмовий аналіз, спосіб діагностики двигунів, та пов'язаних з ними механічних приладів, у яких протягом заданого інтервалу часу відбувається запис значень струмів, які споживає двигун. З отриманих значень виділяють характерні частоти для даного електродвигуна, перетворюють отриманий сигнал з аналогової форми у цифрову, а потім здійснюють спектральний аналіз із отриманого сигналу та порівняння значень амплітуд на характерних частотах з рівнем сигналу на електромережі.

Серед розглянутих методів, спектр-струмовий аналіз є найбільш перспективним та оптимальним методом, тому що він дозволяє досліджувати двигун не тільки безпосередньо під'єднавшись до нього (перші два способи), а й під'єднавшись до системи живлення. При спектр-струмовому аналізі найчастіше використовують пряме перетворення Фур'є, для отримання, наприклад, амплітудно-частотної характеристики електродвигуна навіть у реальному часі.

**Постановка завдання.** Науковою задачею виконуваних досліджень є розробка частини інформаційної системи «Інтелектуальний дім» на основі використанням математичного апарату спектрального аналізу та нейронних мереж, з метою діагностики поточного стану побутової техніки яка містить АД. Задача є актуальною, оскільки її вирішення забезпечить зменшення ймовірності роботи обладнання у аварійних режимах, а також зменшення витрат на планове обслуговування та зменшення енергоспоживання.

**Викладення матеріалу та результати.** Аналіз залежностей виникнення дефектів АД, шляхом математичних та експериментальних досліджень, показав ефективність використання струму в якості діагностичного параметру в інформаційній системі моніторингу АД, а також його універсальність, яка полягає в аналізі спектрального шуму двигуна з подальшою можливістю використання у якості навчаючої вибірки для нейронної мережі, з метою ідентифікації асинхронного електродвигуна.

Для побудови інформаційної системи моніторингу поточного стану асинхронного електродвигуна у якості основного методу моніторингу поточного стану АД було обрано спектр-струмовий метод [5,15]. При цьому наявність виникнення того чи іншого дефекту характеризується підвищенням значення амплітуди на відповідній «дефектній» частоті з часом. Тому основною метою інформаційної експертної системи є аналіз (моніторинг) цих дефектних частот. Для реалізації процесу моніторингу, у відповідності до обраного методу, необхідно запам'ятати спектральний шум асинхронного електродвигуна (ідентифікувати його), який він залишає у електромережі, та порівнювати його через фіксовані інтервали часу.

У якості засобів класифікації даних було обрано нейронні мережі, а в якості навчаючої вибірки для нейромережі обираються характерні частоти зі спектрального шуму асинхронного електродвигуна. Під характерними частотами (ХЧ) розуміються частоти, де амплітуда має найбільше значення, окрім амплітуди з частотою живлячої мережі. Вхідними даними, як при навчанні нейромережі, так і при тестуванні (ідентифікації), є діапазони частот із максимальним значенням амплітуди, тобто із масиву спектрального шуму  $U[m]$ , необхідно знайти діапазон частот  $[m-p, m]$ , в котрих із часом встановлюються максимальні значення амплітуд, де  $p$  - ширина (точність) діапазону,  $Ser$  - середнє значення амплітуд

$$Ser = \max(U[m])/p \quad (1)$$

Для підвищення показника ефективності інформаційної технології розпізнавання та моніторингу дефектів електродвигунів, запропоновано використовувати статистичний корегуючий коефіцієнт  $\theta$ , який враховує фізичні особливості електрообладнання, і розраховується так

$$\theta = \left| \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{n} \right|, \quad (2)$$

де  $n$  - кількість частот, які ідентифікують електродвигун,  $\delta$  - дисперсія амплітуд ХЧ із серії дослідів.

Отже, із урахуванням фізичних особливостей електродвигунів, частоти, характерні для різних видів дефектів визначаються наступним чином:

$$f = fn \pm \theta, \quad (3)$$

де  $fn$  - частота відповідного дефекту, яка визначається у відповідності із існуючими залежностями.

В умовах сучасних підприємств, якість споживаючої напруги не є ідеальною, що в свою чергу може істотно впливати на формування спектрального шуму АД. Дану особливість необхідно враховувати при використанні апарату нейронних мереж, наприклад, використовуючи деякий критерій розпізнавання дефектів.

У якості критерію розпізнавання дефектів для експертної системи запропоновано використовувати відносне значення спектральної густини електродвигуна (децибел), вимірювану в дБ. Це дозволяє врахувати несиметрію напруги живлення, яка може істотно вплинути на кінцевий діагностичний результат. В якості вихідної величини (базисної) було обрано еталонні значення амплітуд на характерних для дефектів частотах. Під еталонними слід розуміти значення, отримані при навчанні нейронної мережі, тобто при запам'ятовуванні спектрального шуму АД у справному стані [15].

У загальному випадку, діагностичний критерій розпізнавання виникнення дефекту, який дає можливість моніторингу поточного стану електродвигуна у цілому, має наступний вигляд:

$$\Delta k = \sum_{i=1}^n 10 \lg \frac{A_{iП}(\varphi \pm \theta)}{A_{iE}(\varphi \pm \theta)}, \quad (4)$$

де  $A_{iE}(\varphi \pm \theta)$ , та  $A_{iП}(\varphi \pm \theta)$  - еталонне та поточне значення амплітуди струму електродвигуна відповідно,  $\varphi$  - частота, яка характерна для виникнення того чи іншого дефекту,  $n$  - кількість досліджуваних дефектів,  $\theta$  - коригуючий коефіцієнт.

У свою чергу, при виникненні дефекту,  $\Delta k$  повинен приймати наступне значення:

$$\Delta k > \delta, \quad (5)$$

де  $\delta$  - поріг чутливості, за допомогою якого можна регулювати та контролювати несиметрію споживаючої напруги, вплив шумів тощо, яка впливає на формування. Діапазон чутливості встановлюється експериментально, відносно технологічно-конструктивних особливостей обладнання та електромережі. У випадку інформаційної системи «Інтелектуальній дім» діапазон чутливості визначається автоматично у режимі навчання.

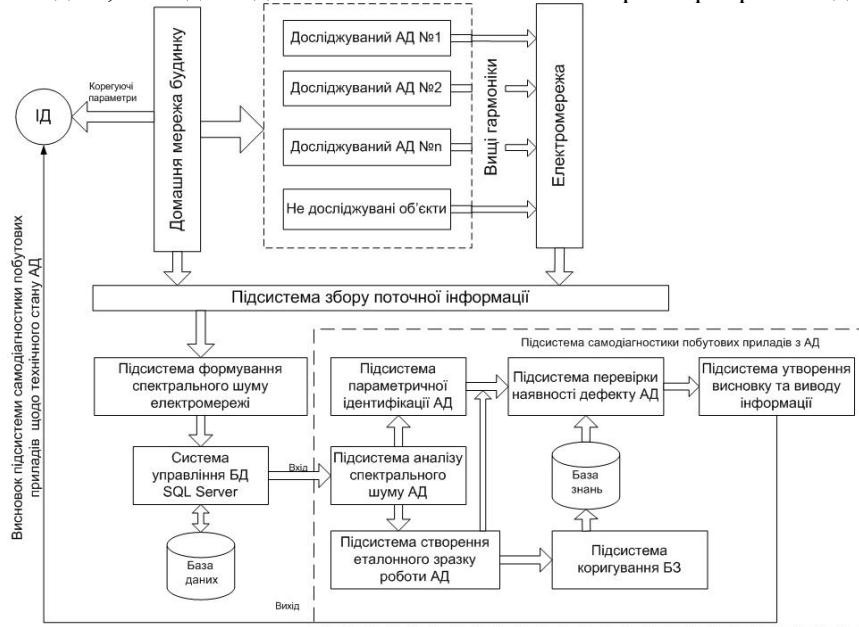
У загальному випадку модель підсистеми визначення технічного стану побутової техніки з АД на основі групової спектр-струмової діагностики АД та її інформаційні потоки представлені на рис. 1. Де досліджувана побутова техніка з АД під'єднується до однофазної електромережі живлення і у процесі своєї роботи та власних конструктивних особливостей утворює у електромережі вищі гармоніки. У свою чергу, з метою подальшого дослідження вищих гармонік підсистема збору поточної інформації, яка може бути представлена звичайним аналогово-



цифровим перетворювачем (АЦП), перетворює аналоговий сигнал у цифровий з подальшим формуванням спектрального шуму електромережі для аналізу [8,9].

Завданням підсистеми управління базами даних (СУБД) є збереження та управління всіма необхідними даними для правильної та ефективної роботи СППР. Зокрема до таких даних можна віднести:

- дані, які відповідають за збереження еталонного зразку роботи досліджуваного АД;
- дані, які відповідають за поточні значення параметрів роботи досліджуваного АД.



**Рис. 1.** Модель підсистеми визначення технічного стану побутової техніки з АД на основі групової спектральної діагностики АД та її інформаційні потоки представлена

Остаточне рішення щодо стану підключених до електромережі побутових приладів з АД виконує інформаційна система «Інтелектуальний дім» (ІД).

Але слід відмітити те, що особливостями сучасних електромереж є наявність скачків напруги, перенавантаження мережі живлення особливо

у опалювальний період та інших чинників які впливають на якість електромережі. Тому у відповідності до особливостей підсистеми «Інтелектуальний дім» необхідно дану особливість враховувати, наприклад, коригувати відповідні висновки які може прийняти ІД відповідно до умов або особливостей домашньої мережі будинку.

Отже, з метою врахування особливостей домашньої мережі будинку інформаційні потоки запропонованої інформаційної системи приймуть наступний вигляд (рис. 2).

На рис. 2:  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  - спектр шуму електромережі;  $I(t)$  - струм;  $J = \{j_1, j_2, \dots, j_n\}$  - вищі гармоніки створюванні АД;  $X_{\text{скпр}}$  - рішення щодо поточного стану АД;  $\alpha(t)$  - характер робочого процесу;  $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n\}$  - вищі гармоніки створюванні іншими не досліджуваними об'єктами;  $Z(t)$  - характер навантаженості АД;  $\varphi(t)$  - характер роботи не досліджуваних об'єктів; ХРО- рішення ІД; ІД – інформаційна система «Інтелектуальний дім»;  $\delta$  - вектор параметрів налаштування підсистеми самодіагностики побутової техніки з АД інформаційної системи «Інтелектуальний дім».

На основі запропонованих моделей інформаційних потоків можна зробити висновок, що єдиним параметром який необхідно зберігати у БД є спектр шуму електромережі. У свою чергу весь спектр шуму електромережі запису до БД не підлягає, а тільки характерні частоти (ХЧ).



**Рис. 2.** Узагальнена інформаційна модель автоматизованого прийняття рішень ІД

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Запропоновано модель підсистеми «Інтелектуальний дім» ідентифікації двигуна у електромережі на основі спектрального аналізу вищих гармонік, які утворює АД, яка відрізняється автоматичним створенням еталонного зразку роботи двигуна шляхом запам'ятовування спектрального шуму роботи та порівнянням його із поточним, що дозволяє підвищити ефективність розпізнавання аварійних ре-

жимів електродвигуна на основі стійкості визначення параметрів двигуна у відповідності до статичних та динамічних навантажень.

На основі отриманих результатів доцільно проводити дослідження в напрямку створення інформаційної системи «Інтелектуальний дім» самодіагностики побутових приладів з АД у комплексі із іншими типами двигунів.

#### Список літератури

1. **Серый Е.В.** Рейтинг дефектов низковольтных электродвигателей. /Рынок Электротехники, № 2, 2007 г.
2. Концепт розумного будику [Електронний ресурс] IXBT.-Москва, 2014.- Режим доступу: <http://www.ixbt.com/news/hard/index.shtml?18/23/97>.- Дата доступу: 20.02.2015
3. Mohamed El Hachemi Benbouzid/ Induction Motors' Faults Detection and Localization Using Stator Current Advanced Signal Processing Techniques/ IEEE TRANSACTIONSON POWE RELECTRONICS, VOL.14,NO.1,JANUARY1999
4. **Каган А.В.**/ Математическое моделирование в электромеханике ч.2 письменные лекции. СПб: СЗТУ, 2002 – 13 с из 77с.
5. **Кузнєцов Д.І.** Експертна система розпізнавання дефектів електрообладнання / **Д.І. Кузнєцов, А.І. Купін** // Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг: зб. матеріалів III всеук. наук.-техн. конф. 2012р.- Донецьк: ДонНТУ, 2012.-С.185-187.
6. **Конох И.С** Разработка и исследование интеллектуальной системы регулирования параметров микроклимата помещения/ **И.С. Гула, С.В. Сукач** // Электромеханические и энергосберегающие системы. – Кременчуг: КНУ, 2010. – Вып. 3/2010 (11). – С. 80–85.
7. **Мансуров Р. Ш.** Экспериментальное исследование переходных процессов в системах обеспечения микроклимата / Сб. докладов 4-й международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М. : МГСУ, 2011.
8. **Кувшинов Ю. Я.** Динамические свойства помещения с регулируемой температурой воздуха // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1993. – № 4
9. Управление микроклиматом [Электронный ресурс] /Мир автоматизации.-Москва, 2009.-Режим доступа: <http://www.soliton.com.ua/pr/MA-2009-Feb-Produal-small.pdf>.- Дата доступа: 20.01.2015.
10. **Khadim Moin Siddiqui.** Fault diagnosis in induction motors by motor current signal analysis / Khadim Moin Siddiqui, V.K. Giri // International Journal of Electronics & Communication Technology. – 2011.– vol 2.– pp 114 – 119.
11. **Didier G.** Fault detection of broken rotor bars in induction motor using a global fault Index / **Didier G., Ternisien E., Caspary O** // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2006. – vol. 42. – pp. 79–88.
12. **Whitley D.** Genetic Algorithms and Neural Networks: Optimization Connections and Connectivity / **Whitley D., Starkweather T., Bogart C.** – Parallel Computing, 1990. –231 pp. (Vol. 14).
13. **Анил К. Д.** Введение в искусственные нейронные сети / **Анил К.Д.** – М.: Открытые системы, 1997.– 234 с.
14. **Said M.** Detection of broken bars in induction motors using an extended Kalman filter for rotor resistance sensorless estimation / **Said M., Benbouzid M., Benchaib A.** // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2000. – vol 15, № 1. – pp. 66–70.
15. **Кузнєцов Д.І.** Структура експертної системи моніторингу поточного стану електрообладнання / **Д.І. Кузнєцов, А.І. Купін** // Стратегія якості в промисловості та освіті: IX міжнар. наук.–практ. конф. 2013р.: тези доповідей. Варна, 2013. – С.333–335.

Рукопис подано до редакції 04.02.16

УДК 621.039 : [622+669]

В. С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., В.Й. ЛОБОВ, канд. техн. наук, доц.,  
К.В. ЛОБОВА, студентка, Криворізький національний університет

## ВИКОРИСТАННЯ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГІЇ - МАЙБУТНЄ РОЗВИТКУ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ

Визначено, що при незмінній технології обсяг виконаної роботи на гірничо-металургійному комплексі пропорційний кількості спожитих енергоносіїв, а потужність - продуктивності технологічного процесу. За теперішнім станом технологічне обладнання використовується не ефективно, фізично зносилось і морально застаріло. Раніше при нарощуванні обсягів виробництва, не зверталася увага і не виділялися кошти на переоснащення, модернізацію і реконструкцію виробничих потужностей. Тому гірничо-металургійний комплекс має недосконалу галузеву і технологічну структуру, низьку ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів.

Метою роботи стало необхідність показати заходи щодо здійснення технічного переозброєння та модернізації виробництва, направлених на зниження енергетичних витрат і підвищення продуктивності виробництва конкурентоспроможної металопродукції. Обґрунтовані можливості вирішення питань цієї мети за рахунок використання на гірничо-металургійному комплексі альтернативної енергії, такої як ядерна енергія, яка до 2030 року знайде широке застосування в різних галузях виробництва. Запропоновано використовувати ядерну енергію за допомогою принципово нових атомних станцій малої потужності останнього покоління з енергоблоками електричною потужніс-

ттю від 100 кВт до 1-35 МВт і більше. Виконано порівняння вартості електроенергії для атомних і теплових станцій, а також станцій, що працюють на поновлюваних джерелах енергії.

Для модернізації гірничо-металургійного комплексу запропоновано використати декілька варіантів. В одному варіанті розглядається впровадження на підприємстві технологічних об'єктів, оснащених ядерними реакторами четвертого покоління (Gen IV), тобто на кар'єрах це: екскаватори, самоскиди, бурові установки, бульдозери та інші технологічні об'єкти, а живлення електричною енергією фабрик: дробарної, збагачувальної, огрудкування та допоміжних цехів підприємств виконується від модульної атомної електричної станції. В іншому варіанті запропоновано використання для живлення електричною енергією технологічних об'єктів і фабрик та цехів гірничо-металургійного комплексу від однієї загальної модульної малої потужності АЕС.

**Ключові слова:** гірничо-металургійний комплекс, енергоносії, модернізація виробництва, атомна енергія, модульні станції, реактор

**Постановка проблеми.** Гірничо-металургійний комплекс (ГМК) України складається з металургійних підприємств і гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК). Існують підприємства з повним металургійним циклом, що включають коксохімічне, гірничо-збагачувальне виробництво, підземний видобуток руди і металургійне виробництво, яке складається з агломераційного, доменного, сталеплавильного і прокатного переділів, що випускають одночасно чавун, сталь і прокат. На ГЗК ведеться розробка розсіпних родовищ відкритим способом, яка поєднується із збагаченням здобутої корисної копалини та виготовлення агломерату або котунів.

Як показали дослідження, технологія виробництва продукції на ГМК протягом останнього десятиліття практично є не змінною. Це підтверджується практично не змінними питомі витрати електроенергії на виробництво основних видів продукції підприємствами ГМК України за 2011-2013 рр., кВт г/т (таблиця 1) [1].

При незмінній технології обсяг виконаної роботи на ГМК пропорційний кількості спожитих енергоносіїв (електроенергія, газ, тощо), а потужність - продуктивності технологічного процесу.

Виявлення і реалізації внутрішньовиробничих резервів не дозволяє покращити якість і збільшити продуктивність виробництва кінцевого продукту ГМК. Але при цьому кардинальних змін на зниження витрат на енерговитрати не передбачається. Тому для вирішення питань зменшення витрат енергоспоживання та переоснащення підприємств ГМК сучасним технологічним обладнанням є актуальною науковою і практичною задачею.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Тема енергозбереження та енергоефективності при виконанні технологічного процесу виготовлення залізорудної сировини та металопродукції є однією з основних тем, що обговорюються фахівцями в даний час в світовій енергетичній спільноті.

Як показують розрахунки споживання первинних паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) у 2030 р. становитиме близько 860 млн т умовного палива. Ця цифра означає, що в цьому випадку не тільки базовий, а й навіть песимістичний сценарій розвитку економіки не буде реалізований.

У разі збереження нинішнього рівня енергетичної ефективності Україна не має жодних перспектив свого державного розвитку [2-4].

Підприємства ГМК є основним споживачем паливно-енергетичних ресурсів в Україні, загальне споживання якими в теперішній час складає 50 млн т умовного палива. Крім того, значна кількість доменних та сталеплавильних цехів є найбільш відсталими з точки зору енергоємності виробництва.

Наприклад, при виробленні чавуну вона майже на 33 % вища, ніж на провідних підприємствах світу, відстає у сталеплавильному виробництві майже 45,2 % сталі, що виплавляється у мартенівських печах, у прокатному виробництві енергоємність продукції перевищує світові показники більш, ніж на 35 %, у виробництві чавуну споживається природний газ 20 %, або 20,0 млрд м<sup>3</sup>, проте як у провідних країнах світу природний газ при його плавленні практично не використовується [5-8].

**Формулювання мети роботи.** Метою нашої статті є окреслення кола проблем розвитку ГМК України та розробка заходів щодо проведення структурної перебудови комплексу, здійснення технічного переозброєння та модернізації виробництва, направлених на зниження енергетичних витрат і підвищення продуктивності виробництва конкурентоспроможної металопродукції для валютних надходжень в Україну.

Питома витрата електроенергії на виробництво основних видів продукції підприємствами ГМК за 2011-2013 р. р., кВт г/т

Підприємство	Вид продукції, кВт г/т													
	Концентрат			Котун и			Агломерат доменний			Товарний концентрат			Сира залізна руда	
	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2012	2013
ПАТ «Північний ГЗК»	97,6	100,6	97,6	48,5	52,6	48,5	.	.	.	.	.	.	.	.
ПАТ «ЦГЗК»	120,6	118,9	117,2	46,60	45,56	44,88	.	.	.	.	.	.	.	.
ПАТ «ІнГЗК»	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	144,4	147,4	144,7	.
ПАТ «ПівдГЗК»	121,4	120,0	119,1	.	.	.	28,3	29,7	28,0	.	.	.	.	.
ТОВ «Єрстівський ГЗК»	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,467	0,531
ШУ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	160,8	106,2
ГЗК ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	104,07	106,38	102,01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

**Викладення матеріалу та результати.** Підприємства ГМК у цілому досягла певного прогресу в питаннях енергоефективності, але, незважаючи на це, реального перелому в частині досягнення енергоефективності європейського рівня не здійснено. Рівень енергоємності на підприємствах гірничо-металургійного комплексу тільки в останні роки трохи зменшився, але відставання від середньоєвропейського рівня ще досить значне. Однією з причин цього слід вважати структуру промисловості в Україні, де значне місце займають технічно застарілі енергоємні виробництва. Тому потрібно докласти багато зусиль для покращення показників енергоефективності підприємств ГМК. Одним з найперспективніших, на наш погляд, є використання ядерної енергії.

Сьогодні ядерна енергія в металургії дозволяє відновлювати залізо з залізної руди або виробництва алюмінію [9], в хімічній промисловості - отримувати нові хімічні елементи, використовується для опріснення солоних вод або для підвищення чутливості хімічного аналізу і виробництва аміаку, водню та інших хімічних реагентів, які використовуються для виробництва добрив [10], а сільському господарстві за їх допомогою визначають, що при вирощуванні рису можна зменшити внесення азотних добрив [11]. Медицина використовує радіоактивні ізотопи для постановки точного діагнозу та лікування ряду захворювань Це позитронно-емісійна томографія. З її допомогою можна виявити рак на ранніх стадіях [12]. Найвідоміший транспорт, який працює на ядерній енергії - це різні судини як військового, так і цивільного призначення: атомні криголами, транспортні судна, авіаносці, підводні човни, крейсери. [13]. Ще одним напрямком мирного використання ядерної енергії були ядерні вибухи в народно-господарських цілях для видобутку нафти і газу, створення підземних резервуарів, переміщення ґрунту, гасіння газових фонтанів, руйнування монолітності порід [14].

До 2030 року світові економічні перспективи виглядають дуже сприятливі для впровадження атомної енергетики. Швидко ростуть, як на виготовлення і споживання в електричній енергії, так і ціни на основні види палива – вугілля, газ і нафту (рис. 1а) [15,16].

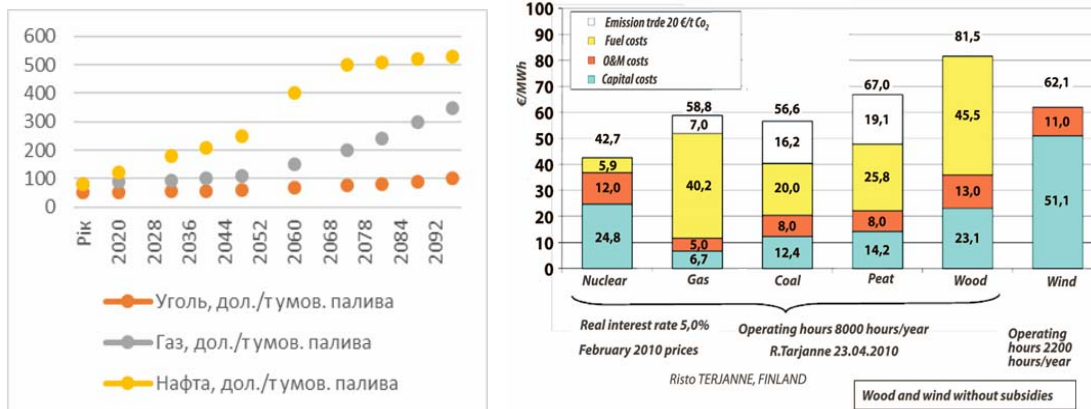


Рис. 1. Тенденція зміни ціни на органічне паливо в світі (а) і порівняння вартості електроенергії для теплових, поновлюваних джерел енергії та атомних станцій (б)

Як видно із діаграми, що на рис. 1а, не тільки потужностей для споживання електричної енергії будить не достатньо для збільшення продуктивності виробництва на підприємствах ГМК, а й значне збільшення вартості на енергоносії.

Для впровадження на ГМК ядерної енергії можливо використати декілька варіантів. В першому варіанті розглядається впровадження на підприємствах ГМК технологічних об'єктів, оснащених малими, міні або мікро ядерними реакторами малої потужності четвертого покоління (Gen IV) [17,18]. На кар'єрах ГМК це: екскаватори, самоскиди, бурові установки, бульдозери та інші технологічні об'єкти, які будуть переобладнані для роботи на атомній енергії. Одночасно живлення електричною енергією технологічних об'єктів фабрик: дробарної, збагачувальної, огрудкування та допоміжних цехів комбінату виконується від модульної атомної електричної станції (АЕС). Інший варіант – це використання для живлення електричною енергією всіх технологічних об'єктів ГМК від однієї загальної АЕС четвертого покоління.

Реактори четвертого покоління (Gen IV) представляють собою набір в основному теоретичних конструкцій ядерних реакторів, які в даний час вивчаються. Більшість з цих проектів, за винятком реактора БН-800, будуть доступні для промислового використання до 2030 року. З IV поколінням ядерної технології термін «реактор» замінюється більш коректним терміном «система», що включає в себе як безпосередньо сам реактор, так і переробку (рециклювання) ядерного палива. Такі нові системи повинні володіти більш високими експлуатаційними показниками, ніж попередні покоління, в галузі забезпечення сталого розвитку, конкурентоспроможності, безпеки і надійності, а також захисту від поширення, виправдовуючи використання в їх відношенні вираз «технологічний прорив». Деякі з них будуть виробляти електроенергію, а інші також виробляти тепло (температури 400-900 °С). Деякі системи IV покоління працюватимуть на нейтронах швидкого спектра. Їх здатність до відтворення, що поділяється, в поєднанні з передовими технологіями ділення і трансмутації відкривають великі можливості. Їх ядерне паливо буде стійко до дуже високих температур і забезпечить утримання всіх актинідів. В результаті їх паливний цикл буде повністю замкнутим. З цієї причини нові системи ефективно забезпечать сталий розвиток, завдяки освіті мінімальних обсягів відходів (випалювання всіх актинідів).

До 2030 року може з'явитися використання принципово нових атомних станцій малої потужності (АСММ) останнього покоління з енергоблоками електричною потужністю від 100 кВт, до 1-35 МВт і більше (наприклад, в Росії проекти АСММ: «Олена», «Саха-92», «Кріт», «Ангстрем» «Унітерм», «АБВ-3 ÷ 12», «СВБР - 10 », КЛТ-40 й ін.). У перспективі їх використання полегшує проблему завезення, привізного органічного палива на десятки і більше років, так як заміна ядерного палива, паливного завантаження, в активній зоні реактора буде один раз в 10 і 20 років і більше [17]. Реактори другого і третього покоління характеризуються порівняно низькою температурою теплоносія на виході з активної зони - близько 300 °С, що обмежує їх теплової ККД (близько 30% для традиційних реакторів). Очікується, що системи IV покоління будуть мати набагато більш високим тепловим ККД. При застосуванні інших теплоносіїв можливе досягнення значно більш високих температур: 400-600 °С для CO<sub>2</sub>, 500-700 °С для рідких металів (натрій, свинець) і 700-900 °С для гелію. Нагадаємо, що температура теплоносія на виході з активної зони 900 °С відповідає тепловому ККД до 44%, тобто приблизно на

третину вище, ніж у традиційних реакторів. Деякі системи IV покоління можуть виявитися єдиними чистими технологічними рішеннями, що володіють достатньою енергоємністю для виробництва значних обсягів виробництва електроенергії. Для систем IV покоління залишається основоположним принцип глибокоешелюваного захисту зі значними запасами безпеки (стандарти МАГАТЕ). Він відноситься до детермінованих принципів, що означають виконання систематичного аналізу заданих вихідних подій і їх наслідків (проектних аварій). Однак, як показав досвід, для більш повного врахування невизначеностей, які невід'ємно притаманні інноваційним системам IV покоління, підхід до обґрунтування їх безпеки повинен носити змішаний, детерміновано-імовірнісний характер, забезпечуючи тим самим загальну гомогенність і узгодженість проекту.

У сучасній атомній промисловості системи забезпечення безпеки, в цілому, мають активний характер, тобто їх дію залежить від роботи електричних і механічних приводів різного устаткування, наприклад датчиків, арматури, насосів, акумуляторів, теплообмінників і систем внутрішнього енергоспоживання. Реактори III і IV поколінь оснащені більш ефективними системами безпеки, у деяких з них є пасивними, що набагато ефективніше, надійно і економічно. Загальнопромислова надійність взаємозалежна з безпекою, про що свідчать показники ефективності Всесвітньої асоціації організацій, що експлуатують АЕС (WANO). Коефіцієнт використання встановленої потужності в ядерній енергетиці складає 90%, що набагато перевищує аналогічні показники будь-яких інших методів виробництва електроенергії. Це робить ядерну енергетику найбільш надійним способом виробництва електрики в будь-який час року.

Деякі країни ЄС активно працюють над розвитком систем IV покоління, так, була видана рекомендація по пріоритетності досліджень реакторних систем з натрієвим теплоносієм, як засіб випалювання актинідів. У Франції прийнято рішення про початок робіт на демонстраційному реакторі ASTRID (Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration). Після консультацій з Великобританією, Францією, РФ, Японією і Китаєм, США запустили проект GNEP (Глобальне партнерство в ядерній енергетиці), метою якого є обмеження доступу до чутливих технологій (головним чином збагачення, виробництва та переробки ядерного палива). Форум GIF (the Generation IV International Forum) був створений в 2001 році. Сьогодні він налічує 10 активних учасників - це США, Канада, Франція, Японія, ПАР, Південна Корея, Швейцарія, Євратом, Китай і Російська Федерація. За результатами розгляду понад 100 різних проектів [19] були обрані шість інноваційних ядерних систем (в тому числі інноваційних ядерних циклів). Учасники GIF також узгодили плани подальших дій по кожній з шести систем, що передбачають три етапи загальною тривалістю кілька десятиліть: етап наукового обґрунтування - від 5 до 15 років; етап опрацювання (концептуальний проект) - від 5 до 10 років; демонстраційний етап (технічний проект і підготовка до промислової реалізації) - від 3 до 6 років. Домовленості в рамках GIF охоплюють тільки перші два етапи. Реалізація заключного демонстраційного етапу буде здійснюватися в рамках окремих угод між учасниками GIF, оскільки він вважається занадто близьким до промислової експлуатації. Реалізується також ще одна міжнародна ініціатива, яка доповнює GIF - Міжнародний проект по інноваційних ядерних реакторів та паливних циклів (ІНПРО), запущений МАГАТЕ 2000 року (його завершення заплановане на 2050 рік). ІНПРО орієнтується на потреби «кінцевих користувачів» (споживачів) інноваційних систем, в той час як проект GIF спрямований на організацію міжнародних досліджень (постачальників і розробників).

У 2002 році форум GIF приступив до організації наукового співробітництва між зацікавленими країнами-учасниками в області опрацювання шести ядерних систем нового покоління. Були обрані три системи, що працюють на нейтронах швидкого спектра, одна на теплових нейтронах і дві системи, що дозволяють працювати як в швидкому, так і в тепловому спектрах. На сьогодні відомо, що японська фірма «Toshiba» розробила проект застосування АЕС малої потужності - безпечний для енергопостачання індіанського села Галена біля річки Юкон з населенням понад 700 осіб. АСММ має електричну потужність до 10 МВт і буде працювати без перезавантаження ядерного палива в активній зоні ядерного реактора до 30 років. (Бюлетень з атомної енергії, квітень 2005, с. 83).

Розглянемо економіку атомної енергетики при використанні її на підприємствах ГМК. Основна частина зовнішніх витрат на виробництво електроенергії на АЕС (наприклад, страхування, звернення з РАВ, виведення з експлуатації) закладається у вартість електроенергії, на відміну від станцій, що працюють на інших видах палива. Постійні витрати на виробництво ядерної енергії досить високі (значні початкові капіталовкладення), але змінні витрати невеликі через

низьку вартість палива. Ціна самого урану мало впливає на підсумкову вартість електроенергії, і загальна вартість вироблення одного Мвт/год на АЕС суттєво нижче, ніж на станціях інших типів, особливо якщо взяти до уваги утворення CO<sub>2</sub>. Порівняння вартості електроенергії для атомних і теплових станцій та станцій, що працюють на поновлюваних джерелах енергії (рис. 1б) [16]. Інвестиції в атомну енергетику ГМК, подібно до інвестицій в інші галузі виробництва електричної енергії. Ці витрати, на наш погляд, економічно будуть обґрунтовані, якщо виконуються дві умови: вартість кіловат-години не більше, ніж при найдешевшому альтернативному способі виробництва, і очікуване споживання в електричної енергії є досить високим, а вироблена енергія буде вироблятися за ціною, не перевищуючи її собівартість. Що ж стосується вартості будівництва однієї стаціонарної загальної малопотужної АЕС на підприємстві ГМК або атомного реактору, що встановлюється безпосередньо на технологічне обладнання, то ми майже переконані, що вона в майбутньому навіть стане знижуватися.

Отже, ядерна енергія займає одне з провідних місць серед інших енергетичних джерел. За запасами енергії ядерні види палива (уран-238 і торій-232) приблизно в 20 разів перевершують всі органічні палива, разом узяті. Це дасть підприємствам ГМК на довгий час потужне джерело енергії, необхідне для забезпечення неухильного технічного прогресу. Застосування ядерної енергії на підприємствах ГМК відкриває нову еру в їх розвитку та створює передумову для вирішення ряду наукових і технічних завдань, які раніше не вдавалося здійснити. Подальший розвиток ядерної енергетики вимагає збереження необхідних знань і навичок і забезпечення кваліфікованої робочої сили для модернізації та експлуатації на підприємствах ГМК ядерних установок. Навчальна діяльність традиційно орієнтується на науковців і фахівців з вищою освітою.

### Список літератури

1. Дослідження техніко-економічних показників гірничодобувних підприємств України та ефективності їх роботи в умовах змінної кон'юнктури світового ринку залізорудної сировини : монографія / **Є. К. Бабець, І. Є. Мельникова, С. Я. Гребенюк, С. П. Лобов**; за ред. Є. К. Бабець; НДГРІ ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг : Вид. Р. А. Козлов, 2015.
2. Енергетична стратегія України до 2030 р. : постанова Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 р. № 145-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua>
3. Комплексна державна програма енергозбереження України : постанова Кабінету Міністрів України від 05.02.1997 р. № 148 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua>
4. **Суходоля О. М.** Енергоемність валового внутрішнього продукту: тенденції та чинники впливу // 36. наук. пр. Національної академії державного управління при Президентові України - 2003. - № 2.
5. **Меркушов В. Т.** Енергоефективність та енергозбереження - основні чинники впливу на енергетичну безпеку України. Стан, проблеми, перспективи // Праці міжн. конф. «Енергетична безпека Європи. Погляд у XXI століття». - К., 2001
6. **Мазур В.Л., Смирнова О.О., Иванов А.А.** Пути развития горно-металлургического комплекса Украины. «Экономика Украины» №4, 2000, с. 4–9.
7. **Мазур В.Л.** Перспективы тепло- и энергосбережения в ГМК Украины. «Сталь» №7, 7. Єрмілов С.Ф. Державна політика енергоефективності в українському та європейському контексті. «Економіка і прогнозування» №2, 2007, с. 27 – 42.
8. **Єрмілов С. Ф.** Державна політика енергоефективності в Європейському та Українському контексті // Електронний журнал енергосервісної компанії «Екологіческие системы». - 2007. - № 8.
9. Жовтянський В. А. Ключові проблеми енергозбереження у розрізі енергетичної стратегії України : Тези доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. «Енергоефективність 2002». - К., 2002.
10. Применение ядерной энергии: проблемы и перспективы. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://fb.ru/article/198185/primenenie-yadernoy-energii-problemy-i-perspektivy>.
11. Использование ядерной энергии в сельском хозяйстве. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [fb.ru/article/198185...yadernoy-energii...perspektivy](http://fb.ru/article/198185...yadernoy-energii...perspektivy).
12. Атомная энергия – медицине | Национальный... [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [her.by/category/documentation/atomnaya-energiya...](http://her.by/category/documentation/atomnaya-energiya...)
13. Применение ядерной энергии: проблемы и перспективы. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://fb.ru/article/198185/primenenie-yadernoy-energii-problemy-i-perspektivy>.
14. Использование атомной энергии. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [education.ssti.ru/poisk/ispolz.html](http://education.ssti.ru/poisk/ispolz.html).
15. Беляев Л.С., Марченко О. В. и др. Мировая Энергетика и переход к устойчивому развитию. Изд. «Наука» Новосибирск, 2000 г., стр.29.
16. BP Statistical Review of World Energy 2012. – BP, 2012. – 45 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bp.com>
17. Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики / Под. ред. акад. РАН А. А. Саркисова; Ин-т проблем безопас. развития атом. энергетики РАН. — М.: Наука, 2011. — 375 с.
18. Инновационные ядерные системы IV поколения. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.atomic-energy.ru/technology/34307>.
19. Generation IV International Forum (GIF). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [oecd-nea.org/pub/activities/ar2009/gif.pdf](http://oecd-nea.org/pub/activities/ar2009/gif.pdf).

Рукопис подано до редакції 16.02.16

УДК 622.271

С.А. ФЕДОРЕНКО, ст. препод.; С.А. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф.;  
Ю.М. НАВИТНИЙ, канд. техн. наук, доц.; С.В. ТКАЛИЧЕНКО, канд. экон. наук, доц.  
Криворожский национальный университет

## МОДИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ СИСТЕМНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНО-СЫРЬЕВОЙ КОНВЕРСИИ ГОКА С ВОВЛЕЧЕНИЕМ ЦПТ

Показано, что вмещающие горные породы в проектных контурах рудных карьеров – разнообразны и многие из них пригодны для продуктивного использования. Их качество и запасы – достаточны для добычи в качестве альтернативного сырья, добываемого в нерудных карьерах. Для оценки эффективности этого целесообразным является анализ возможностей использования рудных конвейерных трактов в карьере ИнГОКа. Показано, что Ингулецкое месторождение характеризуется высокой петрографической комплексностью. Вместе с тем, в разрабатываемом его карьере имеется широкий спектр технических средств для организации мультиструктурных грузопотоков даже в существующих стесненных условиях ведения горных работ. Но для достоверной оценки эффективности возможной конверсии ГОКа знания горно-технологических условий и потребительских характеристик потенциальной нерудной продукции – недостаточно. Для этого необходим более глубокий системный анализ состояния и соотношения разнообразных ресурсов, проектных наработок, производственного и экономического потенциала предприятия, адаптивной гибкости и инертности применяемых технологий, а также многих других внутренних и внешних факторов. Относительно технологической составляющей в таком системном подходе относительно ИнГОКа показано, что до 2022 года реальные возможности перехода на комплексную разработку месторождения в его карьере с вовлечением в транспортировку нерудной попутной продукции ЦПТ являются весьма ограниченными без радикальных изменений принятых проектов. Однако, после 2027 г. это становится уже целесообразным, и заключается в изменении структуры существующих грузопотоков с минимальными их модификациями. При этом одним из путей минимизации проблем перехода на новые виды продукции (диверсификация сырья целевой добычи и конверсия предприятия) является создание складов нерудного сырья в пространстве выработок опережающего формирования конечного (проектного) положения борта карьера.

**Ключові слова:** кар'єр, конвеєр, мінеральна продукція, суміщені потоки, комплексні технології.

**Постановка проблемы.** Непомерные энергоемкость и отходность украинского горного производства, являются недопустимыми и представляют все большую угрозу его развитию. Научный поиск в этом отношении никогда не прекращался, но наиболее целесообразным и реально возможным все же представляется конкретный переход рудных карьеров к комплексному освоению месторождений (КОМ), одной из главных трудностей на пути к чему является неизбежное усложнение структуры и организации сырьевых грузопотоков при переводе карьера на целевую добычу нескольких видов сырья, включая попутные полезные ископаемые (ППИ). В связи с этим и с учетом зарубежного опыта следует ожидать в ближайшие годы значительных изменений в традиционных подходах к указанным операциям в направлении расширения использования циклично-поточных технологий (ЦПТ) для разнотипного сырья и пересмотра принципов их эксплуатации. При этом одной из наиболее сложных задач является изыскание возможностей создания дополнительных складов для нерудной попутной продукции в предельно стесненных условиях глубоких карьеров.

**Анализ состояния проблемы и публикаций.** В 1970-1980-е годы множество лабораторий (ИПКОН, НИИСП, КГРИ, ДГИ, ДИСИ, КИСИ, НИГРИ и др.) массово изучало вещественный состав вмещающих пород железорудных месторождений Украины, в результате чего была убедительно подтверждена их вещественная пригодность для продуктивного использования в качестве нерудных полезных ископаемых [1-5]. С другой стороны, множество исследований посвящены усовершенствованию карьерных грузопотоков и средств их реализации [6-9]. Но, несмотря на масштабы и серьезность выполненных исследований, до сегодняшнего дня идея КОМ остается не реализованной, в т.ч. и на ИнГОКе, разрабатывающем исключительно комплексное месторождение и имеющем соответствующий опыт. Что же касается использования комплексов ЦПТ для этих целей, то оно практически совсем не изучено [10-12].

**Целью исследования является** анализ развития горных работ карьера ИнГОКа и возможностей перспективного и поэтапного использования ЦПТ для перемещения ППИ, размещаемых в предлагаемых авторами складах.

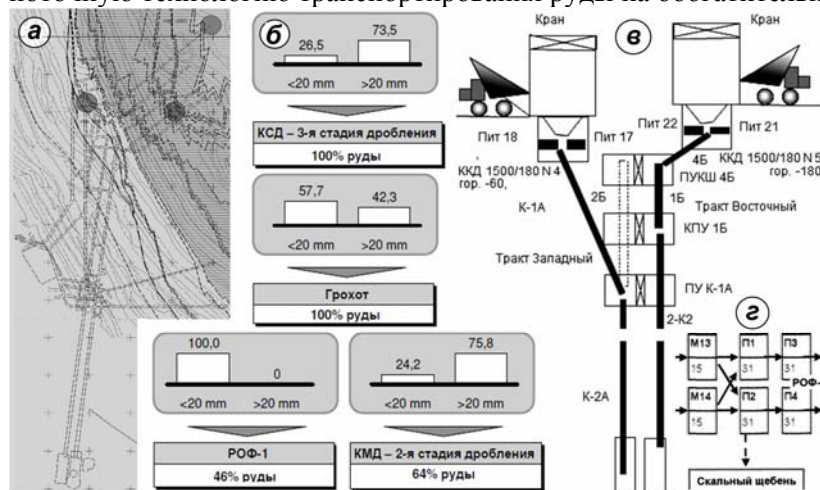
**Содержание исследования.** В Украине объемы транспортирования горной массы с использованием ЦПТ не превышают 20 %, на предприятиях же Канады, США, Австралии, Чили и



других стран - свыше 50 [10-12]. Проблема, однако, заключается не столько в объемах использования ЦПТ, сколько в различии технологических подходов [13-14].

Как свидетельствует выполненный анализ, большинство дробильно-конвейерных комплексов (ДКК) ЦПТ ГОКов работают с загрузкой 70-85% от проектной. Но все же целесообразно рассмотреть возможности интенсификации их загрузки нерудными попутными полезными ископаемыми (ППИ), что требует ряда довольно сложных дополнительных организационно-технических мероприятий по управлению режимами работы ДКК и рудо-нерудными грузопотоками в рабочей зоне дробильно-перегрузочного пункта (ДПП) с целью обеспечения ритмичности поступления на комплекс руды и ППИ и перегрузки их с ДКК. Необходимо создать или перепрофилировать аккумулирующие буферные склады руды и попутного сырья перед ДПП комплекса ЦПТ, обеспечивающие ритмичность и требуемую производительность поступления разнотипной горной массы на комплекс ЦПТ. Перегрузку ППИ с конвейера ДКК целесообразно производить на вспомогательный передаточный конвейер специальными устройствами с последующим транспортированием ППИ в склад конвейерным или железнодорожным транспортом. При этом одной из главных трудностей, наряду с обеспечением оперативности переключения комплекса ЦПТ на разнотипное сырье и устойчивости работы по каждому из них и в целом, является исключение засорения одного вида сырья другим за счет неполной очистки транспортно-накопительных средств при переключениях комплекса и в сопредельных зонах накопительных складов, неизбежных в условиях ограниченности площадок концентрационных горизонтов и стесненности работ.

Для выдачи сырой руды из карьера ИнГОКа были построены и введены в эксплуатацию два конвейерных тракта «Восточный» и «Западный», которые осуществляют циклично-поточную технологию транспортирования руды на обогатительные фабрики (рис. 1).



**Рис. 1.** Элементы каналов со-вмещенных грузопотоков: *a* – расположение подземных выработок ЦПТ; *б* – максимальная производительность и granulометрия по каскаду №5 3-4-й стадии дробления; *в* – технологическая схема ЦПТ; *г* – узел компоновки аппаратов ДФ

Конвейерный тракт «Восточный» с дробильно-перегрузочным пунктом ПДП на гор. (-60) м и введен в строй в 1973 г., «Западный» с ПДП на гор. (-60) м – в 1983 г. В дальнейшем с развитием и понижением

горных работ в карьере были построены комплексы выдачи руды с дробильно-перегрузочными пунктами на горизонтах: тракт «Восточный» горизонт (-180 м); тракт «Западный» горизонт (-240 м). Производительность каждого из трактов – 18 млн. т. в год.

Согласно комплексному проекту поэтапного развития горных работ и переработки минерального сырья до конца отработки Ингулецкого месторождения предусмотрено удлинение трактов со строительством дробильно-конвейерных комплексов выдачи руды с дробильно-перегрузочными пунктами на горизонтах: тракт «Восточный» (-300 м) и (-375 м); тракт «Западный» (-360 м). По мере развития и понижения горных работ в карьере ИнГОКа и с целью сокращения дальности перевозки руды с нижних горизонтов до транспортных систем трактов «Восточный» и «Западный» должны быть построены и введены в эксплуатацию комплексы выдачи руды: 2017 год с горизонта (-300 м) тракт «Восточный»; 2022 год с горизонта (-360 м) тракт «Западный».

С 2042 г. и до конца отработки карьера транспортировка добываемой в карьере руды будет осуществляться комплексами выдачи руды: тракт «Восточный» с горизонта (-375 м); тракт «Западный» с горизонта (-60 м), который является резервным в течение всего времени работы карьера. С вводом в эксплуатацию дробильно-конвейерных комплексов выдачи руды с горизонтов (-300 м) и (-360 м) будут ликвидированы в 2021 году ПДП горизонт (-180 м), в 2026 году

ПДП горизонт (-240 м) и демонтированы конвейеры №4б и 5б соответственно в конвейерных штольнях №3 и №4 (рис. 2).



Рис. 2. Периоды эксплуатации концентрационных горизонтов

Для ИнГООКа как альтернатива дальнейшей углубке подземных выработок рассматривался вариант транспортировки руды из карьера на ОФ с помощью крутонаклонных конвейеров (КНК), расположенных на борту карьера, в котором были рассмотрены 3 подварианта, во всех из которых руда из забоев самосвалами доставляется к дробилкам на КГ -300 и -360 м. Во всех подвариантах предполагалось использование существующих подземных трактов: формирование рудоспусков в месте пересечения горизонтальной ветки конвейера, и подземных выработок конвейерных штолен. В увязке с горными работами был принят подвариант, позволяющий добычу руды, законсервированной под ДПП -180 и -240 м, что невозможно при организации ДПП по другим подвариантам. При этом с КГ -300 м руда КНК транспортируется до ПП гор. -60 м где перегружается на ветку горизонтального конвейера и идет до рудоспуска, сформированного от горизонтальной ветки конвейера до подземных выработок тракта «Восточный». С КГ -360 м руда КНК транспортируется до площадки гор. -60 м, перегружается на ветку горизонтального конвейера, далее – до существующего ПП -60 м тракта «Западный». ПП -60 м существуют до конца отработки карьера. К 2017 г. ликвидируется по первому подварианту ПП гор. -180 м, по второму – ПП гор. -210 м.

«Комплексным проектом поэтапного развития горных работ и переработки минерального сырья до конца отработки Ингулецкого месторождения» (ГП «Кривбаспроект», 04237-1211/1110-1-ПЗ, 2006 г.) производительность ИнГООКа по железорудному концентрату предусмотрена в 14 млн. т/год, для обеспечения чего были выделены проектные периоды отработки карьера (2006-2011 гг., 2012-2016 гг., 2017-2021 гг., 2022-2026 гг., 2027-2031 гг., 2032-2036 гг., 2037-2041 гг., 2042-2046 гг., 2047-2054 гг.). При принятом режиме горных работ добыча руды в карьере может производиться до 2054 г. При этом указанная производительность предположительно сохранится до 2022-2027 гг., после чего начнется ее планомерное снижение, связанное с постановкой верхних горизонтов в конечное положение и, соответственно, сокращение активного и общего фронтов работ по руде и вскрыше. Скорость углубки карьера по периодам — 5-7,5 м/год. Но, несмотря на отдаленную проектную перспективу, данная тенденция начала проявляться, начиная с 2008 г. (табл. 1-3).

Таблица 1

	На 1.01.2009			На 1.01.2010			На 1.01.2011		
	вскрытые	подго- говл.	готовые	вскрытые	подго- говл.	готовые	вскрытые	подго- говл.	готовые
Всего, тыс.т	221111	23474	8909	196569	20090	8658	183830	20590	8822
Обеспеченность, месяцев	76,9	8,2	3,1	68,3	7,0	3,0	59,9	6,7	2,9
Норматив обеспеч., мес.			1,5			1,5			1,5

Таблица 2

Состояние фронтов горных работ (длина фронта, км)																		
Общий фронт						Активный фронт						Временно нерабочий фронт						
по добыче			по вскрыше			по добыче			по вскрыше			по добыче			по вскрыше			
2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2011
26,63	24,12	23,00	33,88	34,69	38,42	6,36	4,80	5,64	14,52	20,54	22,40	20,27	19,32	17,36	19,36	14,15	16,02	

Таблица 3

Показатели карьера ИнГООКа по периодам работы					
Периоды, года	Извлекается всего за период		Среднегодовая производительность		Эксплуатационный коэффициент вскрыши
	руда, тыс.т	вскрыша, тыс. м <sup>3</sup>	руда, тыс.т	вскрыша, тыс. м <sup>3</sup>	
2012-2016	170 000	68 100	34 000	13620	0,4
2017-2021	164 000	66 075	32 790	13215	0,4
2022-2026	115 000	36 000	23 000	7200	0,31
2027-2045	390 865	70 375	20 000	3910	0,18

Из таблиц видно, что годовая производительность карьера уменьшается в связи с тем, что с глубиной в отработку вовлекаются более богатые руды и для получения заданной производительности по концентрату, необходимо извлекать их меньше. Комбинат сможет стабильно производить 14 млн. т концентрата в год 15 лет (по 1.01.2022 г.).

После 2022 года происходит выбытие производственной мощности карьера, что связано с уменьшением активных фронтов по полезному ископаемому т.к. верхние горизонты северного борта и южный борт достигают предельного положения. На оставшихся в работе горизонтах не обеспечивается необходимая длина активного фронта добычных работ.

Наиболее проблемным с точки зрения обеспечения равномерной и максимально полной загрузки ЦПТ является переходный – «конверсионный» период.

Анализ проекта показывает, что до 2022 г. использование ЦПТ для транспортирования нерудного сырья является крайне ограниченным. Вместе с тем, в тот же период делают это крайне затруднительным и параметры рабочих площадок рудных и вскрышных уступов: буферно-аккумулирующие склады могут создаваться только за счет сдваивания уступов или устройства в борту врубовых пространств – пионерных заоткосок бортов до их проектных контуров. Если объем разрабатываемых в зоне ЦПТ пород превышает ее возможности, выделяют зону эффективного автотранспорта ( $\leq 1,5$  км).

Реализация такого режима требует исключительно пропорционального согласования текущей добычи руд и нерудного сырья, с тем, чтобы, если не исключить, то, по крайней мере, минимизировать объемы складирования последнего (буферный запас), количественно соответствующим указанным межпульсационным возможностям ЦПТ [13-15].

Таблица 3

Основные технические параметры и характеристики ленточных конвейеров ДФ ИнГОКа

Наименование конвейера	Статус	Ширина ленты, мм	Скорость ленты, м/с	Производительность, т/час	Угол наклона, град	Длина конвейера, м
к-2К2	существующий	2000	2,25	4800	16°	525
к-6Б	проектируемый	1600	2,35	4200	10° 40'; 16	582,5
к-2К2	существующий	2000	2,25	4800	16	525
к-7Б	проектируемый	1600	2,35	4200	16°; 18°	528,5
к-5Б	существующий	1600	2,5	3500	5°; 14°	370,5
к-8Б	проектируемый	1600	2,35	4200	7° 50'; 3°	296,4
к-1Б	существующий	1600	2,3	4800	16°; 18°	384
к-1Б (удлинен.)	проектируемый	1600	2,5	4200	16°; 18°	598,1
к-2Б	существующий	1600	2,55	3500	16°; 18°	470
к-2Б (удлинен.)	проектируемый	1600	2,35	4200	16°; 18°	598,2

Ввод ж/д транспорта предусматривается до гор. -105 м. Три ПП располагаются на гор.: -75÷-90, - 90÷-105 м. Вскрыша с гор. +66÷-90 м отгружается непосредственно в ж/д транспорт, с нижележащих горизонтов автотранспортом доставляются на ПП с перегрузкой в ж/д транспорт и далее – на внешние отвалы. Для сокращения объемов перевозок в связи с углубкой предусматривается перенос ДПП тракта «Восточный» с гор. -180 м на -300 м, что позволит ускорить формирование площадки в южном торце карьера для создания на сформированной площадке в будущем внутреннего отвала, а также отработать запасы руды, законсервированной под ДПП. Руда с горизонтов  $\pm 0 \div -90$  м после непосредственной погрузки в ж/д транспорт доставляется на ДОФ. Остальные объемы руды автотранспортом доставляются на ДПП конвейерного тракта «Восточный» – гор. -300 м и тракта «Западный» – гор. -60 и -240 м.

В период с 2017 по 2021 гг. южный торец карьера обрабатывается до конечного положения, на отметке -390.00 м, и начинается формирование внутреннего отвала. В связи с частичным складированием вскрышных пород в этом отвале сокращается объем вскрыши, вывозимый во внешние отвалы, что позволяет сократить количество ПП до одного (гор. -90÷-105 м). Вскрыша с гор. 66÷-90 м отгружается непосредственно в ж/д транспорт, с нижележащих горизонтов (2000 тыс. м<sup>3</sup>/год) автотранспортом доставляются на ПП гор. -90÷-105 м с дальнейшей транспортировкой их во внешний отвал. Оставшаяся вскрыша (1944 тыс. м<sup>3</sup>/год) – автотранспортом во внутренний отвал. Для сокращения объемов перевозок, а также из-за того, что временно нерабочий борт, образуемый охранным целиком ДПП гор. -240 м, сдерживает дальнейшую углубку карьера, предусматривается перенос внутрикарьерного ДПП тракта «Западный» с гор. -

240 на -360 м. После чего предусмотрена ликвидация ДПП гор. -240 м. Руда с горизонтов 0÷-90 м после непосредственной погрузки в ж/д транспорт доставляется на ДФ. Остальные объемы руды автотранспортом доставляются на ДПП трактов «Восточный» – гор. -300 м и «Западный» – гор. -60 и -360 м.

В период с 2022 по 2026 гг. верхние горизонты карьера выходят на предельный контур. Отметка дна карьера достигает -465м. Производительность по руде снижается до 23 000 тыс. т в год, при этом извлекается 7200 тыс. м<sup>3</sup> вскрышных пород. Эксплуатационный коэффициент вскрыши составит 0,31 м<sup>3</sup>/т. Руда автотранспортом доставляется на ДПП конвейерного трактов «Восточный» гор. -300 м и «Западный» - гор. -60 и -360 м. Вскрышные породы складываются во внутренний отвал и в отвал № 2.

В схемах, предусматривающих удлинение площадок складов с учетом размещения передаточных конвейеров, расчёты этого удлинения можно производить по формуле [15]

$$\Delta L = \left[ H_p - (B_{nl} - 0,5B_u - b_1 - b_2 - b_3 - b_5) \operatorname{tg} \beta \right] \operatorname{ctg} \alpha - \sqrt{(R - b_6)^2 - (R - b_3 - 0,5B_u + b_4)}.$$

где  $H_p$  – высота оси главного барабана передаточного конвейера, м;  $b_1$  – расстояние от нижней бровки уступа до оси контактной сети, м;  $b_2$  – расстояние от оси контактной сети до оси железнодорожного пути, м;  $b_3$  – расстояние от оси ж.-д. пути до подошвы штабеля, м;  $b_4$  – расстояние от оси конвейера до крайней точки станции приводов, м;  $b_5$  – расстояние от верхней бровки уступа до места выхода оси конвейера на поверхность, м;  $b_6$  – габарит приближения строений, м;  $\beta$  – угол наклона борта карьера, град.

При расположении КП со стороны выработанного пространства минимальная длина участка борта для размещения на нем КП и транспортных коммуникаций

$$L_{\min} = H_1 \left( \frac{\sqrt{\sin^2 \beta - \sin^2 \alpha}}{\sin \beta \sin \alpha} + \operatorname{ctg} \beta' \right) + l_6 + \Delta L + L_u + \left( B_n - \frac{B_6 \sqrt{\sin^2 \beta - \sin^2 \alpha}}{\sin \beta \sin \alpha} \right) \times \operatorname{ctg} \varphi_1 + B_6 \operatorname{ctg} \varphi_2 + l_m.$$

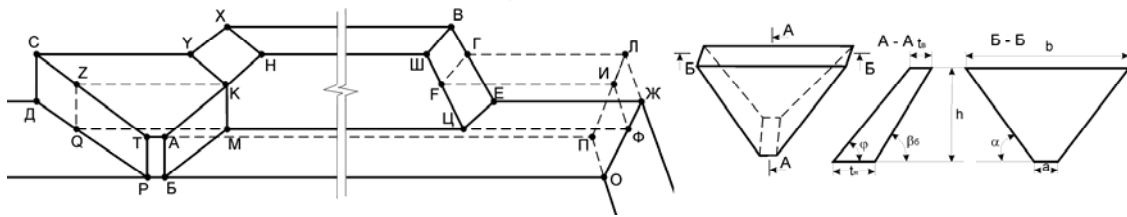
Если же КП расположен на площадке, примыкающей к конвейерной выработке,

$$L_{\min} = H_1 \left( \frac{\sqrt{\sin^2 \beta - \sin^2 \alpha}}{\sin \beta \sin \alpha} + \operatorname{ctg} \beta' \right) + l_6 + \Delta L + l_m + L_u + 2B_6 \operatorname{ctg} \varphi_2 + l_m,$$

где  $H_1$  – высота конвейерного подъема, м;  $\alpha$  – угол наклона конвейерной линии, град;  $\beta'$  – угол наклона борта в направлении навстречу конвейерной линии, град;  $l_6$  – длина горизонтальной площадки от нижней кромки траншеи вдоль борта для размещения натяжных станций конвейера, дробильно-перегрузочных пунктов и т.п., м;  $l_m$  – минимальная длина железнодорожного тупика, м;  $B_n$  – часть ширины площадки для размещения КП, создаваемая за счет разноса борта (оставления целика);  $B_6$  – часть ширины бермы для размещения конвейерного подъёмника, создаваемая за счет разноса борта (оставления целика);  $L_u$  – длина штабеля, м. Как отмечается [16], минимальная длина рассматриваемого участка обеспечивается в первом случае, но из условия минимизации объемов разноса борта и целиков предпочтительным является второй вариант, так как в этом случае эти объемы снижаются за счет частичного совмещения объемов разноса борта для создания конвейерной бермы и площадки для размещения КП. Полный объем разноса рассчитывается как сумма объемов призм с непараллельными основаниями (рис. 1), представленных на схеме фигурами СДЕГZQЦФ, УХВГКНШФ и ZQMКТРБА.

$$V_h = \frac{B \sqrt{\sin^2 \beta - \sin^2 \alpha}}{\sin \beta \cos \alpha} \times \left\{ \frac{H_1 \sqrt{\sin^2 \beta - \sin^2 \alpha} + (H_1^2 \operatorname{ctg} \beta' + H_1 l_6) \sin \alpha \sin \beta}{2 \sin \beta \sin \alpha} + \right. \\ \left. + H_2 \left[ H_1 \left( \frac{\sqrt{\sin^2 \beta - \sin^2 \alpha}}{\sin \beta \sin \alpha} + \operatorname{ctg} \beta'' \right) + l_6 + \Delta L + L_u \right] + H_2 \left( \frac{H_2 \operatorname{ctg} \beta''}{2} + \frac{B \operatorname{ctg} \varphi_2 \sqrt{\sin^2 \beta - \sin^2 \alpha}}{2 \sin \beta \cos \alpha} + \frac{H_2 \operatorname{ctg} \beta''}{2 \sin \varphi_2} \right) \right\} + \\ \left. + H_2 \left( B_n - \frac{B \operatorname{ctg} \varphi_2 \sqrt{\sin^2 \beta - \sin^2 \alpha}}{\sin \beta \cos \alpha} \right) \times \left[ L_u + \Delta L + \left( B_n - \frac{B \sqrt{\sin^2 \beta - \sin^2 \alpha}}{\sin \beta \sin \alpha} \right) \left( \frac{\operatorname{ctg} \varphi_1 + \operatorname{ctg} \varphi_2}{2} \right) \right] + \frac{H_2}{2} \left( \frac{\operatorname{ctg} \beta'}{\sin \varphi_1} + \frac{\operatorname{ctg} \beta''}{\sin \varphi_2} \right).$$

где  $H_2$  – глубина расположения комплекса перегрузки;  $\beta''$  – угол наклона торцевого борта в направлении, совпадающем с направлением конвейерной выработки, град.



**Рис. 2.** Расчетная схема для определения объемов разноса борта и целиков при формировании борта карьера с размещением комплексов перегрузки (слева) и схема к расчету вместимости скатно-секторного аккумулярующего склада (справа):  $a$  - ширина склада по подошве;  $b$  - ширина сверху;  $t_n$  - глубина ската (бремсберга) по подошве;  $t_e$  - глубина ската по поверхности;  $h$  - высота склада;  $\alpha$  - угол наклона бортов ската;  $\beta$  - угол откоса борта карьера (строеного уступа);  $\varphi$  - угол естественного откоса насыпи.

Вместимость непосредственно предлагаемого скатно-секторного аккумулярующего склада (рис. 3) определяется следующим образом. В рассматриваемых условиях (объединения уступов) скатно-секторный аккумулярующий склад целесообразно рассматривать как усеченную пирамиду, объем которой можно рассчитать следующим образом (см. рис. 1)

$$V = \frac{1}{3} h (t_n a + \sqrt{t_n a + t_e b} + t_e b),$$

или усеченный клин, у которого основания параллельны, а боковые грани – трапеции. Его объем можно рассчитать формулой

$$V = \frac{1}{6} h [(2b + a)t_e + (2a + b)t_n].$$

В дальнейшем, с 2027 г. ( $t_n$ , рис. 1), для выдачи попутных нерудных ископаемых из карьера на поверхность реально возможным становится широкое использование высвобождающихся мощностей ЦПТ. К этому времени верхние горизонты, сложенные осадочными породами, преимущественно выйдут на проектные контуры карьера и нерудная масса будет представлена скальными разновидностями.

**Выводы.** Анализ доступной информации о составе и состоянии технологических комплексов на горнорудных предприятиях позволяет сделать выводы о том, что, при соответствующей их модернизации, имеются реальные предпосылки использования существующих ЦПТ для последовательного периодического транспортирования разнотипного минерального сырья ими, при формировании параллельных грузопотоков на участках: добычные забои - внутрикарьерные накопительные склады. Что же касается технологической составляющей в таком системном подходе относительно ИнГООка, то здесь очевидно, что до 2022 года реальные возможности осуществить идею КОМ в его карьере с вовлечением в транспортировку нерудной попутной продукции ЦПТ являются весьма ограниченными без серьезных изменений принятых проектов. Однако, после 2027 г. это становится уже целесообразным с изменением структуры существующих грузопотоков и созданием специализированных разно-сырьевых внутрикарьерных складов.

#### Список литературы

1. Виницкий К.Е. О ресурсосберегающих технологиях и комплексном освоении недр. / Горные науки промышленности. – М.: Недр, -1989. – С 15-21.
2. Жуделя А.Д. Комплексное использование минеральных ресурсов железорудных горно-обогатительных комбинатов УССР. – К.: Наукова думка, 1984. – 417 с.
3. Шапар А.Г. й ін. Ресурсозберігаючі технології видобутку корисних копалин на кар'єрах України. – К.: Наукова думка, 1998. – 288 с.
4. Постоловский В.В., Добрынин А.Е., Пропоненко В.И. Реструктуризация горно-обогатительных предприятий. - Кривой Рог.: Минерал, 2000. – 334 с.
5. Комплексная разработка рудных месторождений / А.Д. Черных, В.А. Колосов, О.С. Брюховецкий и др.; под ред. А.Д. Черных. – К.: Техніка, 2005. – 376 с.
6. Юдин А.В., Мальцев В.А. Эволюция перегрузочных комплексов на глубоких карьерах. // Горный журнал. – 2002, – № 4. – С. 37-42.
7. Шешко Е.Е., Картавый А.Н. Эффективный крутонаклонный конвейерный подъем глубоких карьеров // Открытые горные работы. – 2000. – № 3. – С. 21-25..
8. Mineral sizing at Mission // Mining magazine. – 1998. – November. – 37-39 pp.
9. Вайсберг Л. А., Зарогатский Л. П. Новое оборудование для дробления и измельчения материалов // Горный журнал. – 2000. – № 3. – С. 17-21.
10. Шеметов П.А. Особенности работы горно-транспортных комплексов при открытой разработке месторождения Мурунтау. [http://giab-online.ru/files/Data/2005/2/16\\_SHemet12.pdf](http://giab-online.ru/files/Data/2005/2/16_SHemet12.pdf)

11. Вайсберг Л. А., Баранов В.Ф. Состояние и перспективы развития циклично-поточных технологий. // Горный журнал. – 2002, –№ 4. – С. 11-14, 66-72.
  12. Снитка Н.П., Шеметов П.А. Развитие ЦПТ с крутонаклонным конвейером в глубоком карьере Мурунтау. // Горнопромышленные ведомости. <http://www.miningexpo.ru/news/21589> – 2012.
  13. Афанасьев С.В., Жуков С.О.. Теоретичні засади менеджменту конверсії гірничорудних підприємств. – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2008. – 246 с.
  14. Жуков С.А., Федоренко С.А., Пузанов Е.В. Координация грузопотоков при переводе рудных карьеров на комплексное освоение недр // Разраб. рудн. месторождений. – Кривой Рог: КТУ, 2002. - Вып. 78. – С. 32-36.
  15. Федоренко С.А., Жуков С.А. Определение параметров формируемого участка карьера при многоканально-интегрированной транспортной схеме // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ, -2007. - Вып. 91. – С. 31-36.
  16. Бахтурин Ю.А. Обоснование рациональных технологических параметров автомобильно-конвейерно-железнодорожного транспорта на карьерах: Автореф. дис. ...канд. техн. наук / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург: 1999. - 20 с.
- Рукопись поступила в редакцию 26.03.16

УДК 622.418: 622.8

А.О. ГУРІН, О.О. ЛАПШИН, доктори техн. наук, проф., Д.О. ЛАПШИНА, аспірантка  
Криворізький національний університет

### УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ В ПІДЗЕМНИХ КАМЕРАХ ШАХТ З ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛА

Відсутність ефективного провітрювання і надлишки тепла, утворені від роботи обладнання формують у підземних камерах шахт несприятливий мікроклімат, що негативно позначається на продуктивності праці та здоров'ї шахтарів. Найбільш несприятливі мікрокліматичні умови утворюються у камерах водовідливу, де за одночасної роботи двох-трьох насосних установок потужністю 800 кВт кожна, температура повітря сягає 36-38°C, а швидкість його руху внаслідок відсутності ефективної вентиляції знаходиться в межах 0,2-0,3 м/с, що не відповідає нормативним вимогам. З метою поліпшення умов праці в підземних камерах з джерелами тепла запропоновано спосіб нормалізації мікроклімату та регулювання його параметрів. Розроблення даного способу базується на науковому обґрунтуванні отримання ефекту охолодження від адіабатичного розширення стисненого повітря. Для реалізації запропонованого способу розроблено конструкцію охолоджувальної установки «Клімат», робочі параметри якої встановлювалися на підставах експериментальних досліджень в промислових умовах камер водовідливу шахт Кривбасу. Результати промислових випробувань засвідчили ефективність охолодження повітря в камерах на рівні 35-54%. Застосування установки «Клімат» у підземних камерах шахт дає можливість підтримувати температуру повітря на рівні 22-24°C, швидкість його руху в межах 0,5-2,5 м/с і відносну вологість не більше 60-70%. Результати досліджень представлені у статті впроваджені у промислових умовах камер водовідливу шахти «ім. Леніна» ПАТ «Кривбасзалізрудком» і шахти «ім. Артема» ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

**Ключові слова:** ефективне провітрювання, підземні камери, температура повітря, камери водовідливу

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** За сучасними проектами, відпрацювання покладів шахтами Кривбасу ведеться на глибинах 1300-1500 м в умовах ускладнення вентиляції гірничих виробок, зокрема підземних камер з джерелами надходжень тепла. Найбільш несприятливі мікрокліматичні умови спостерігаються в камерах водовідливу, де за одночасної роботи двох-трьох насосних установок температура повітря сягає 36–38 °С, а швидкість його руху через неефективне провітрювання знаходиться в межах 0,2-0,3 м/с, що не відповідає нормативним вимогам [1].

Зазвичай у камерах водовідливу розташовується 5-6 насосних установок, які є джерелами надходжень тепла - у кількості 160кВт від роботи однієї одиниці обладнання. Видалення теплого повітря з камери водовідливу ускладнюється через відсутність спеціальних вентиляційних виробок і перепаду тисків на вході і виході з камери. Несприятливі мікрокліматичні умови в камерах водовідливу негативно позначаються на продуктивності праці та здоров'ї шахтарів [2,3]. Розв'язання проблеми нормалізації мікроклімату в підземних камерах шахт з джерелами тепла лежить у площині реалізації державної цільової програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2014-2018 рр., затвердженої Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 4 квітня 2013 р. № 178-VII [4].

**Аналіз досліджень і публікацій.** У дослідженні світової практики з нормалізації мікроклімату в шахтах окремої уваги заслуговує спосіб охолодження повітря льодом, який реалізується на шахтах ЮАР шляхом застосування паро-компресорних холодильних машин сумісно з льодогенераторами, або двохступеневими вакуумними заморожувальними системами потужністю

2,5-5 МВт. [5-7]. Обладнання, що застосовується для утворення льоду має високу вартість і його придбання суттєво підвищує собівартість видобутої продукції, внаслідок чого рекомендувати його для умов залізрудних, або вугільних шахт економічно недоцільно. Разом із цим практичний досвід Канади доводить, що спосіб охолодження повітря льодом можливо реалізувати шляхом його заморожування в спеціальних камерах, крізь які надходить повітря в шахту. Такий спосіб є економічним і простим та разом із цим його застосування є доцільним у тих кліматичних районах, де низька температура спостерігається протягом тривалого часу, що дає можливість заготівлі великої кількості льоду.

Досвід поліпшення теплових умов у вугільних шахтах шляхом застосування пересувних шахтних кондиціонерів типу КПШ та холодильних установок виробництва ВАТ «Холодмаш» свідчить про те, що їх застосування не розв'язує повною мірою дану проблему. Застосування холодильної техніки у шахтах стримується їх великими габаритами, високою вартістю, складною конструкцією та необхідністю спеціального обслуговування. Деякі з відомих способів і засобів поліпшення теплових умов в гірничих виробках, незважаючи на їх економічність, простоту і доступність виготовлення не можуть реалізовуватися в камерах з працюючим обладнанням. Так, робота електродвигунів унеможлиблює застосування в таких камерах способу охолодження повітря з використанням води, а використання вентиляторів місцевого провітрювання є ефективним лише за умови, що температура повітря не перевищує 30°C [8, 9]. Таким чином, питання нормалізації мікроклімату підземних камер шахт із працюючим обладнанням залишається невирішеним і потребує пошуку нових ефективних підходів до його розв'язання.

**Постановка завдання.** Поліпшення умов праці в підземних камерах шахт з джерелами тепла за рахунок розроблення технології нормалізації мікроклімату та управління його параметрами.

**Викладення матеріалу та результати.** Сучасні глибокі шахти мають на робочих горизонтах камери різного призначення, серед яких камери водовідливу, електропідстанцій та подрібнення руди, які розташовуються у приствольному дворі шахт. Крім того, камери електровозного і вагонного депо, розташовуються переважно у центральній частині головного квершлягу. Камери підйомних і ліфтових машин, ремонтних майстерень, схову вибухових речовин, аварійних протипожежних складів облаштовуються близько зони ведення гірничих робіт. Камери аварійного повітропостачання (КАПП) розташовуються у приствольному дворі шахт і в зоні ведення гірничих робіт. Дослідження мікрокліматичних умов в підземних камерах шахт Кривбасу і «ЗЗРК» показали, що найбільш гостро постає питання нормалізації мікроклімату в камерах шахтного водовідливу табл. 1.

Таблиця 1

Результати дослідження параметрів мікроклімату в камерах водовідливу шахт Кривбасу і ЗИРК

Шахта	Горизонт, м	Геометричні параметри камери, $l \times b \times h$ , м	Кількість насосів в роботі, шт	Температура повітря, °С			Швидкість руху повітря в камері, м/с	Відносна вологість повітря, %
				I*	II**	III***		
ім. Леніна	527	33,5×4,2×5,5	1	24	36	34,5	0,16	42
Гвардійська	1190	35×4,5×6	2	26	36	35	0,30	60
Жовтнева	1265	33×5,5×6	2	25	36	35	0,20	65
Родіна	500	48×4,5×5,5	3	23	34	32	0,32	44
	940	36×5,0×6,0	2	24	30	28	0,35	79
	1240	36×6,5×7,0	3	25	34	32,5	0,28	79
ім. Артема	475	38,7×4,6×4,2	2	24	34	32	0,25	75
Ювілейна	480	33×4,5×6,0	2	24	35	33	0,20	52
Експлуатаційна	940	32×4,5×6,0	2	26	37	34	0,35	52

\* – на вході в камеру; \*\* – у камері; \*\*\* – на виході з камери

Так, температура повітря в часи найбільш інтенсивної роботи сягає за 36 °С, що значно перевищує нормативно допустимі величини. Швидкість руху повітря, яка не суттєво залежить від роботи обладнання не перевищує 0,15 м/с. Відносна вологість повітря коливається в межах 50-80. Камери електропідстанцій мають сполучення з камерами водовідливу та характеризуються

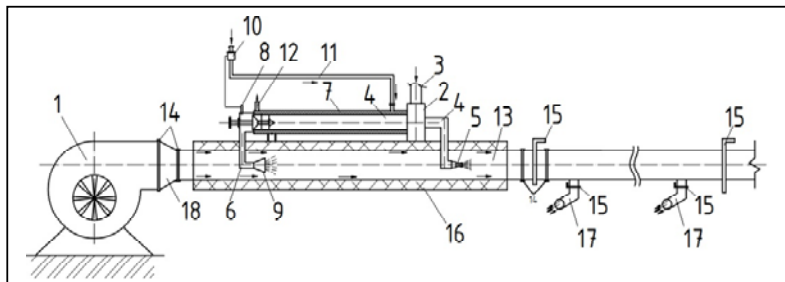
приблизно однаковими мікрокліматичними умовами. Працююче електрообладнання в таких камерах є джерелом значних надходжень тепла.

З метою поліпшення умов праці в підземних камерах з джерелами тепла розроблено комплексну технологію управління параметрами мікроклімату. Розроблення технології полягало у реалізації трьох етапів: розроблення конструкції охолоджувальної установки «Клімат» для поліпшення теплових умов у підземних камерах; здійснення математичного моделювання процесу охолодження повітря з використанням установки «Клімат»; розроблення програми управління параметрами мікроклімату в підземних камерах шахт «Клімат-ПК».

В основу розроблення конструкції установки «Клімат» покладено використання ефекту охолодження, що має місце під час розширення стисненого повітря. Енергія стисненого повітря широко застосовується в процесі гірничого виробництва в глибоких шахтах, це обумовлюється високим рівнем надійності, безпеки в роботі та економічної доцільності [10]. Більшість технологічних процесів: буріння шпурів та свердловин, їх заряджання; навантаження гірської маси у вагони; допоміжні роботи з кріплення, ремонту обладнання та ін. здійснюються з використанням пневматичної енергії. Разом із цим, спостерігається тенденція до застосування гірничого обладнання з гідравлічним приводом, що зумовить в майбутньому вивільнення частини пневматичної енергії з технологічного циклу процесів підземної розробки.

Доцільність застосування пневматичної енергії в умовах глибоких шахт підтверджується ще й тим, що окрім вищезазначених переваг з'являється можливість її комплексного використання. Це стосується теплової енергії підвищеного (при виробництві) і пониженого (при споживанні) температурного потенціалу. Так, робота машин з пневматичним приводом супроводжується виділенням відпрацьованого стисненого повітря помітно нижчої температури у порівнянні з оточуючим повітрям. Таким чином доводиться доцільність застосування пневматичної енергії не лише для приводу машин і механізмів, але й для кондиціонування повітря в гірничих виробках, у тому числі і в підземних камерах різного призначення.

Використання вихрових труб дозволяє підсилити ефект охолодження від розширення стисненого повітря, що було виявлено вперше французьким інженером Ж. Ж. Ранком у 1931 р., і широко використовується в сучасній інженерній практиці різних галузей промисловості. Основними її частинами є: вентилятор для створення необхідної швидкості та кількості повітря, що подається у камеру та пневматично-вихровий пристрій, розроблений на базі конструкції вихрової труби Меркулова.



**Рис. 1.** Загальний вид охолоджувальної установки «Клімат»: 1 - від-центровий вентилятор; 2 - пневматичний вихровий пристрій; 3 - патрубок для підведення стисненого повітря; 4 - патрубок холодного повітря; 5 - сопло Лавалля; 6 - патрубок гарячого повітря; 7 - водяна охолоджувальна рубашка; 8 - датчик температури повітря; 9 - дифузор; 10 - електроклапан; 11 - гідравлічна система; 12 - зливний патрубок;

13 - вентиляційний трубопровід; 14 - фланцеве з'єднання; 15 - шибери кількісної регуляції повітря; 16 - абсорбційний глушник трубчастого типу; 17 - поворотні душіруючі патрубки ПДП-100

До цих основних частин додаються такі: вентиляційний трубопровід, глушник шуму та шибер для змінення кількості вентиляційного повітря. Установка «Клімат» функціонує у двох режимах: провітрювання - за умови, що температура повітря в камері не перевищує 30°C і охолодження - якщо вона є вищою за 30°C.

В роботі [11], присвяченій дослідженню теплофізичних властивостей струменів, доводиться, що структура математичної моделі, яка описує надлишкову температуру повітря, по відношенню до оточуючого середовища, в довільній точці охолодженого компактного струменя, що витікає з круглого отвору, може бути представлена у вигляді

$$\Delta T(r, x) = \Delta T_n \cdot a \cdot \left( \frac{r_0}{x} \right)^b \cdot e^{-c \left( \frac{r}{x} \right)^2}, \quad (1)$$



де  $\Delta T(r, x) = T(r, x) - T_0$ ,  $\Delta T_n = T_n - T_0$ ,  $T(r, x)$  – абсолютна температура у точці струменя з координатами  $(r, x)$ , °K;  $T_0$  – абсолютна температура оточуючого середовища;  $T_n$  – середня абсолютна температура струменя на виході з установки, °K;  $r_0$  – радіус вихідного отвору установки, м;  $a, b, c$  – числові параметри.

Для знаходження значень числових параметрів, що входять у формулу (1), скористаємося результатами досліджень параметрів охолодного струменя в умовах підземної камери водовідливу шахти ім. Артема ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», які наведено у табл. 2.

На підставі вимірювань здійснених під час експериментальних досліджень, у подальших розрахунках було прийнято  $T_0 = 305^\circ\text{K}$ ,  $T_n = 285,4^\circ\text{K}$ ,  $r_0 = 0,15$  м.

Таблиця 2

Значення надлишкової температури під час витoku струменя з пневматично-вихрового пристрою					
$x$ ,	5	10	15	20	25
$r$ , м	1,5	2,0	2,5	2,0	1,5
$\Delta T$ , К	-13	-12,2	-11,6	-11	-8,8
$\Delta T_n$ , К	-13,007	-12,82	-10,86	-10,51	-9,56

Для зручності знаходження числових параметрів і спрощення форми запису відповідно до даних, наведених у табл. 1, доцільно перетворити формулу (1) шляхом логарифмування і опустити функціональну залежність  $\Delta T$  від координат  $r$  та  $x$

$$\eta = \alpha + b \cdot \xi_1 + c \cdot \xi_2, \quad (2)$$

$$\text{де } \eta = \ln\left(\frac{\Delta T}{\Delta T_n}\right); \alpha = \ln a, \xi_1 = \ln\left(\frac{r_0}{x}\right); \xi_2 = \left(\frac{r}{x}\right)^2.$$

Для знаходження числових параметрів, які входять лінійно у формулу (2), було застосовано метод найменших квадратів, реалізований функцією, що входить до складу «Майстер функцій» Microsoft Excel.

За результатами проведених розрахунків було отримано такі значення  $a = 2,779$ ,  $b = 0,6771$ ,  $c = -9,053$ . При цьому коефіцієнт множинної кореляції дорівнював  $R = 0,9926$ , що вказує на тісну кореляційну залежність. З урахуванням отриманих значень формула (1) набуде виду

$$\Delta T(r, x) = 16,103 \cdot \Delta T_n \cdot \left(\frac{r_0}{x}\right)^{0,6771} \cdot e^{-9,053 \cdot \left(\frac{r}{x}\right)^2} \quad (2 \leq x \leq 12). \quad (3)$$

Розрахунок за формулою (3), що наведений в останньому рядку табл. 1, демонструє практичний збіг даних експериментів і результатів розрахунків.

Формула (3) дозволяє дослідити температурне поле струменя. Якщо прийняти, що є певні значення надлишкової температури  $\Delta T_{\min}$ ,  $\Delta T_{\text{сер}}$ ,  $\Delta T_{\max}$ , які доцільно розглядати у якості граничних, то теплова далекобійність струменя – відстань, на якій закінчується відчутний струмінь, визначається за формулами

$$x_{\max} = 29,75 \cdot r_0 \cdot \left(\frac{\Delta T_n}{\Delta T_{\min}}\right)^2, \quad (4)$$

$$x_{\text{сер}} = 29,75 \cdot r_0 \cdot \left(\frac{\Delta T_n}{\Delta T_{\text{сер}}}\right)^2, \quad (5)$$

$$x_{\text{кр}} = 29,75 \cdot r_0 \cdot \left(\frac{\Delta T_n}{\Delta T_{\max}}\right)^2. \quad (6)$$

Мінімальна величина надлишкової температури визначає лінію ізотерми, що відповідає зовнішньому контурові струменя. Цю ізотерму можна визначити як граничну шляхом підстановки  $\Delta T_{\min}$  у формулу (4). Критична відстань за віссю струменя, на якому він матиме найбільшу товщину, визначиться для граничної ізотерми умовою з урахуванням  $\Delta T_{\max}$

$$\left(\frac{dr}{dx}\right)=0 \quad (7)$$

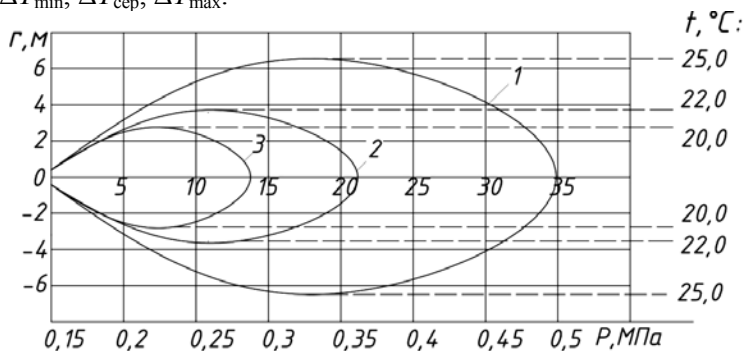
При цьому максимальна середня та мінімальна товщини струменя визначаються за такими формулами

$$r_{\max} = 5,35 \cdot r_0 \cdot \left( \frac{\Delta T_n}{\Delta T_{\min}} \right)^2, \quad (8)$$

$$r_{\text{сеп}} = 5,35 \cdot r_0 \cdot \left( \frac{\Delta T_n}{\Delta T_{\text{сеп}}} \right)^2, \quad (9)$$

$$r_{\text{кр}} = 5,35 \cdot r_0 \cdot \left( \frac{\Delta T_n}{\Delta T_{\max}} \right)^2. \quad (10)$$

На рис. 2 наведено ізотерми струменя, розраховані за формулами (8) – (10) для величин  $\Delta T_{\min}$ ,  $\Delta T_{\text{сеп}}$ ,  $\Delta T_{\max}$ .



**Рис. 2.** Ізотерми охолоджувального струменя: 1- $\Delta T_{\min}=7$  К,  $\Delta T_{\text{сеп}}=9$  К,  $\Delta T_{\max}=11$  К

Аналіз ізотерм, наведених на рис. 3, свідчить про те, що охолоджувальна далекобійність струменя зменшується зі збільшенням надлишкової температури. Так, за мінімальної надлишкової температури, яка дорівнює  $\Delta T_{\min}=7$  К,

охолоджувальна далекобійність струменя та його ширина є максимальними:  $x_{\max}=34,9$  м,  $2r_{\max}=12,58$  м. Критичні їх значення  $x_{\text{кр}}=14,16$  м,  $2r_{\text{кр}}=5,096$  досягаються за максимальних значень  $\Delta T_{\max}=11$  К. Разом із цим, опрацювання результатів експериментальних досліджень передбачало визначення масових витрат вентиляційного  $M_v$  і холодного  $M_x$  повітря. Частка вентиляційного повітря в охолодній повітряній суміші на виході з установки «Клімат» становила 15 % і збільшувалася поступово до 93% по мірі просування охолодженного струменя по довжині камери.

Крім того, досліджувалося збільшення площі поперечного перерізу струменя зі збільшенням довжини його розповсюдження. Так, площа поперечного перерізу випускного отвору трубопроводу, яким охолодний струмінь подавався у камеру від установки становила  $S=0,0176$  м<sup>2</sup>. Площа поперечного перерізу охолодженного струменя на відстані  $L=5-25$  м змінювалася у межах  $S=4,33-19,32$  м<sup>2</sup>.

Унаслідок розширення охолодженного струменя і його теплообміну з оточуючим повітрям у камері, змінювалася температура охолодненої повітряної суміші: від 0°C (на виході з трубопроводу) до 12-24,8 °C (по довжині камери). Температура повітря у камері протягом випробувань змінювалася у межах  $T_k=36-21,2$ °C, а відносна вологість - у межах  $\varphi=62-65$  %.

За результатами досліджень розроблено програму для управління мікрокліматом в підземних камерах з застосуванням пневматично-вихрового пристрою і відцентрового вентилятора.

Вона написана мовою програмування Visual Basic for Applications в Excel та має нескладний інтерфейс.

Робота з програмою здійснюється у два кроки, першим з яких є задання параметрів для моделювання, а саме: початкової температури повітря в камері  $t_0$ , кількості вентиляційного повітря  $Q_v$ , необхідної для ефективного провітрювання, або тиску стисненого повітря, що підводиться до ПВП для нормалізації теплових умов у підземній камері.

Користувач задає параметри для моделювання шляхом їх вибору серед можливих варіантів передбачених під час розроблення програми (рис. 3).

Так для режиму «Провітрювання», який ефективно застосовувати, якщо  $t_0$  не перевищує 30°C, розраховано оптимальні значення  $Q_v$ , м<sup>3</sup>/с: 0,075; 0,11; 0,146; 0,162; 0,197; 0,235. Для режиму «Охолодження», який доцільно застосовувати, якщо  $t_0$  перевищує 30°C, оптимальними значеннями  $P$ , кПа є такі: 10; 20; 30; 40; 50; 60.

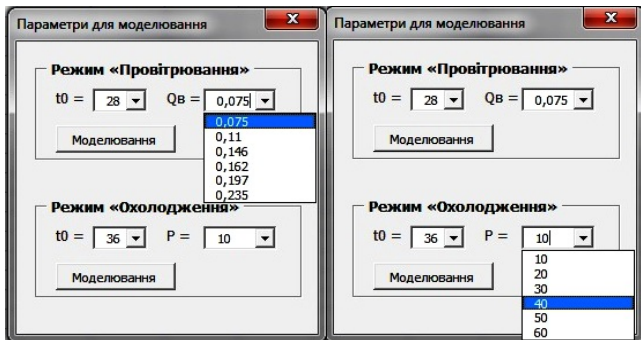
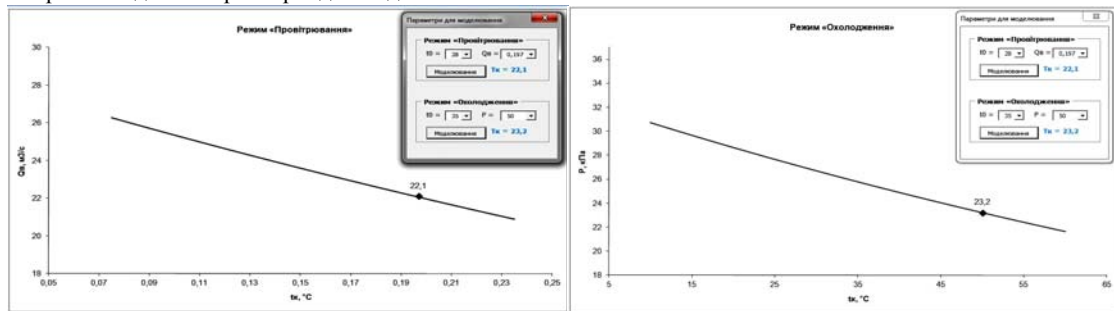


Рис. 3. Крок 1: Задання параметрів для моделювання

Другим кроком є отримання результату моделювання - кінцевої температури в камері  $t_k$  в графічному і аналітичному вигляді відповідно до рівняння  $t_k = a \cdot e^{-bx}$ , причому значенню «x» відповідають оптимальні значення  $Q_v$  або  $P$  відповідно до обраного режиму програми. Розрахунок здійснюється автоматично після задання вихідних параметрів і натискання користувачем кнопки «Моделювання» (рис. 4а,б).

Рис. 4. Крок 2: Результат моделювання – визначення  $t_k$ : а - режим провітрювання; б - режим охолодження

Застосування цієї програми дозволяє користувачеві регулювати параметри мікроклімату в підземній камері з оптимальним використанням ресурсу стисненого та вентиляційного повітря.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Виходячи з обґрунтування можливості ефективного застосування пневматичної енергії для кондиціювання повітря в гірничих виробках, зокрема в підземних камерах різного призначення, у статті запропоновано спосіб охолодження рудникового повітря з використанням енергії адиабатичного розширення стисненого повітря, для реалізації якого розроблено конструкцію охолоджувальної установки «Клімат». Застосування установки «Клімат» ПВП і програми регулювання параметрів мікроклімату в підземних камерах дозволяє забезпечувати поліпшення умов праці персоналу і підтримувати температуру повітря відповідно до вимог санітарно-гігієнічних норм.

#### Список літератури

1. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и рассыпных месторождений подземным способом. – М.: Недра, 1977. – 225 с.
2. Лапшин О. Є. Дослідження повітрообміну в камеро подібних виробках з великими теплопритоками / О. Є. Лапшин, Немченко А. А., Коновалюк В. А., Лапшина Д. О. // Вісник криворізького національного університету. – 2013. - Вип. 34. – С. 235 – 238.
3. Немченко А. А. Нормализация микроклимата в подземных камерах шахт / А.А. Немченко, Д.А. Лапшина // Сталий розвиток промисловості та суспільства : Міжнар. конф. – 2012. – С. 252-253.
4. Загальнодержавна цільова програма поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2012-2016 роки. <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/178-18>.
5. Fatima Gabru /Safe, deep level mining at record-breaking levels. [Електронний ресурс] : Mining Weekly. – 2009. – Режим доступу: <http://www.miningweekly.com/article/safe-deep-level-mining-at-record-breaking-levels-2009-04-03>.
6. Bluhm S. Important basics of mine ventilation and cooling planning / Bluhm S., von Glehn // Journal Mine Ventilation Society South Africa. – 2004. – V. 57(1). – P. 15 – 24.
7. Rawlins C. Underground mine heat loads and associated reduction methodologies / C. Rawlins // Journal Mine Ventilation Society South Africa. – 2004. – V. 57(1). – P. 25 – 30.
8. Пат. на корисну модель 71139 Україна МПК B01F 5/00. Охолодний ежектор Лапшина / Лапшин О. О., Денгуб В.І., Лапшина Д. О. та ін. – заявник і патентовласник Криворізький національний університет. – № u 20111391; заявл. 07.11.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.
9. Лапшин А. А. Повышение эффективности охлаждения рудничного воздуха форсуночным орошением / А. А. Лапшин, В. И. Ляшенко // Цветная металлургия. – 2014. - № 1. – С. 8–14.
10. Герасименко Г. П. Комплексное использование пневматической энергии при отработке глубоких месторождений / Г. П. Герасименко. – М.: Недра, 1971. – С. 7 – 16.
11. Волков К. Н. Турбулентные струи – статистические модели и моделирование крупных вихрей: монография / К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, В. А. Зазимко. – М.: Физматлит, 2013. – 360 с.

Рукопис подано до редакції 12.04.16

УДК622.1: 622.831.3

И.И. КЛОЧКО, д-р техн. наук, проф., Донецкий национальный университет  
П.И. ФЕДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., И.П. ПОДОЙНИЦЫН, аспирант,  
Е.Н. ШВЕЦ, канд. техн. наук, Криворожский национальный университет

## РАБОТОСПОСОБНОСТЬ НАРУЖНЫХ ЗАРЯДОВ РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

В статье приведены результаты лабораторного и опытно-промышленного исследования влияния массы ВВ и конструкции наружного заряда на эффективность взрыва. Показано, что создание в удлиненных кумулятивных зарядах сходящихся детонационных волн за счет встречного инициирования позволяет повысить работоспособность заряда в 1,2-1,6 раза по методу воронкообразования. Лабораторные исследования выполнены на линейном механическом ускорителе, обеспечивающем ускорение от 10 до 100g. Поле ускорения на нем возникает и исчезает плавно, не давая динамических эффектов, и существует достаточное время, необходимое для исследования взрывных процессов. Это позволяет исследовать закономерность формирования воронок выброса в зависимости от вида зарядов и параметров кумулятивного потока. Введение перегрузок позволило исследовать действие модельных зарядов, аналогичным зарядам в 100 кг в натуральных условиях. В результате установлено, что уменьшение объемов воронок выброса по видам зарядов, происходит по тому же закону, что и для взрывания зарядов без перегрузки. Следовательно, роль продуктов взрыва, времени существования струи в образовании воронок выброса и механизм разрушения остаются неизменными. В случае простого кумулятивного заряда с введением перегрузки объем воронки уменьшился в 2,0 раза, а в случае облицованного – в 2,6 раза по отношению к контрольному. Однако если сравнивать величины воронок до и после перегрузки по видам зарядов, то получается, что в случае простого заряда воронка уменьшилась в 1,5 раза, в случае кумулятивного заряда – в 2,25 раза, в случае заряда с облицовкой – в 1,6 раза. Установлено, что наибольшей работоспособностью обладают кумулятивные заряды с конической кумулятивной выемкой. На работоспособность удлиненных зарядов существенно влияет длина заряда, что подтверждают полученные нами ранее результаты. При встречном инициировании работоспособность зарядов увеличилась в 1,2–1,6 раза. Большая работоспособность соответствовала более длинному заряду. Максимальный объем воронки выброса составил 0,00736 м<sup>3</sup> при заряде 0,8 кг, что в 1,35 раз больше, чем в случае контрольного взрывания.

**Ключевые слова:** негабарит, наружные заряды, эффективность действия, работоспособность, конструкции зарядов, инициирование.

Актуальность работы. Проблема дробления негабаритных кусков горных пород всегда оставалась актуальной при добыче полезных ископаемых на карьерах, несмотря на совершенствование первичной отбойки в части сокращения выхода негабарита. При выборе способа дробления негабарита необходимо, что бы они отвечали ряду основных требований:

1. Обладали высокой разрушающей способностью от одноразового приложения нагрузки, т.е. обладали высокой эффективностью.
2. Были технологичными как с точки зрения изготовления, так и с позиций эксплуатации.
3. Имели минимальную стоимость.

Как показывает практика, этим условиям отвечают кумулятивные заряды взрывчатых веществ (ВВ). Однако не всегда применение кумулятивных зарядов дает положительный эффект, что определяется многими факторами. По этому, исследования направленные на повышение эффективности действия кумулятивных зарядов при дроблении негабаритных кусков горных пород является актуальной научно-практической задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. Кумулятивные заряды в горное дело пришли из военного дела, где широко применялись для борьбы с бронированными целями. По этому, не удивительно, что разрушение горных пород также рассматривалось с позиции пробивания брони. Впервые механизм разрушения горных пород от воздействия кумулятивной струи был предложен академиком М.А. Лаврентьевым [1]. При расчете параметров нагрузки считали, что среда является идеальной жидкостью и к ней применимы известные уравнения гидродинамики. Исходя из предложенной теории, повысить эффективность действия зарядов можно путем повышения осевого давления или уменьшения радиуса пробоины. Как показывает опыт это справедливо при пробивании преграды. В горной породе повышение осевого давления в 1,3 раза приводит к росту объема зоны пластических деформаций в 11,8 раза, без существенного роста общего объема разрушения [2]. В работе [3] предложен механизм разрушения горной породы от воздействия газовой кумулятивной струи и представлены параметры, характеризующие ее действие в горной породе. В работе показано, что снижение, в разумных пределах, мас-

совой скорости газового потока  $U$ , будет способствовать увеличению времени приложения нагрузки  $t_{эф}$  и повышению количества энергии, передаваемой в массив. При этом очевидно, что применение только теоретических методов, базирующихся на выдвинутых гипотезах без достаточного экспериментального подтверждения неприемлемо. Экспериментальные исследования позволяют с достаточной достоверностью оценить эффективность действия зарядов различной конструкции. При этом первостепенное место занимают экспериментальные натурные исследования.

Цель работы: исследование влияния конструкции наружного заряда и способа его инициирования на эффективность взрыва.

Материалы и результаты исследований. Лабораторные исследования выполнялись в Институте физики и механики горных пород АН Киргизии. Все эксперименты выполнялись на линейном механическом ускорителе, обеспечивающем ускорение от 10 до 100g. Поле ускорения на нем возникает и исчезает плавно, не давая динамических эффектов, и существует достаточное время, необходимое для решения задач, связанных с явлением взрывов [4].

В данном случае линейный механический ускоритель позволяет исследовать закономерность формирования воронок выброса в зависимости от вида зарядов и параметров кумулятивного потока. При этом создавалась возможность моделировать различные массы ВВ. Это достигается тем, что на ускорителе осуществляются времена действия, соответствующие в натуре временам от 1 до нескольких десятков секунд. Время протекания процесса на ускорителе  $1/N$  от времени натурального процесса, а масса модельного заряда должна быть в  $N$  раз меньше действительного заряда.

Исследования выполнялись на моделях из влажного песка. В качестве ВВ использовали ТЭН, который помещали в бумажные оболочки диаметром 15 мм. Кумулятивные заряды имели кумулятивную выемку в виде конуса с углом при вершине 60-65 град. Высота кумулятивной выемки составляла  $\frac{1}{3}$  всей высоты заряда. Масса ТЭНа в заряде - 4,0 г. Исследовались кумулятивные заряды двух типов - с облицовкой кумулятивной выемки и без нее. Для облицовки кумулятивных выемок использовали латунную фольгу толщиной 0,5 мм.

Для получения достоверных результатов каждый опыт повторялся по 3 раза. В качестве эталонного заряда использовался заряд ТЭНа массой 4,0 г, помещенный в бумажную оболочку диаметром 15 мм. Взрывания производили на неподвижном контейнере линейного механического ускорителя и с перегрузкой 25-30 g. Объем воронок выброса оценивался заливкой воронки водой из мерного сосуда. Перед заливкой водой воронка устилалась полиэтиленовой пленкой. Кроме этого, оценивали геометрические размеры воронок с учетом выброшенного песка на уровне песка контейнера (табл. 1).

Таблица 1

Результаты взрывания кумулятивных зарядов

Вид заряда	Без перегрузки	С перегрузкой
	объем воронки выброса, мл	объем воронки выброса, мл
Обычный наружный заряд	240	160
Кумулятивный заряд	180	80
Кумулятивный заряд с облицованной кумулятивной выемкой	100	60

Как видно из приведенных данных в песке большей работоспособностью обладают обычные накладные заряды. Это, прежде всего, на наш взгляд, обусловлено самим механизмом разрушения сыпучих сред. Поскольку в песке роль волновых процессов не значительна, то основной объем разрушения определяется действием газообразных продуктов взрыва (ПВ). В этом случае существенная роль в передаче энергии взрыва в среду принадлежит площади приложения нагрузки, а также времени ее существования. В случае использованного кумулятивного заряда площадь приложения нагрузки в 7-8 раз меньше, чем в случае обычного заряда, также меньше и  $t_{эф}$ , что в комплексе привело к снижению работоспособности в 1,3 раза. Наличие металлической облицовки еще больше снижает непосредственное действие газообразных ПВ, уменьшая  $t_{эф}$ , т.к. массовая скорость весьма высока, что еще больше сказывается на работоспособности по сравнению с обычным зарядом и кумулятивным без облицовки.

Введение перегрузок позволило исследовать действие модельных зарядов, аналогичным зарядам в 100 кг в натуральных условиях. Из приведенных результатов видно, что уменьшение объемов воронок выброса по видам зарядов, происходит по тому же закону, что и для взрывания зарядов без перегрузки. Следовательно, роль ПВ, времени существования струи в образовании воронок выброса и механизм разрушения остаются неизменными. В случае простого кумулятивного заряда с введением перегрузки объем воронки уменьшился в 2,0 раза, а в случае облицованного - в 2,6 раза по отношению к контрольному. Однако если сравнивать величины воронок до и после перегрузки по видам зарядов, то получается, что в случае простого заряда воронка уменьшилась в 1,5 раза, в случае кумулятивного заряда - в 2,25 раза, в случае заряда с облицовкой - в 1,6 раза.

Рост параметров кумулятивной струи вследствие введения перегрузки привел к тому, что тэф уменьшилось, что предопределило и резкое снижение работоспособности. Для обычного заряда перегрузка не приводит к столь существенному падению работоспособности, т.к. для таких зарядов существенным является величина площади приложения нагрузки, а не параметры ПВ. В случае кумулятивных зарядов с облицовкой величина массовой скорости кумулятивной струи при перегрузке растет не существенно, что и привело к снижению работоспособности в 2,6 раза.

Приведенные результаты свидетельствуют о необходимости правильного подбора вида заряда и параметров нагружения в зависимости от типа пород и вида выполняемой работы [5-7].

Полигонные эксперименты выполнялись на карьерах Докучаевского флюсо-доломитного комбината и Кальчикском сиенитовом карьере. Это позволило провести эксперименты в породах с различными физико-механическими свойствами. В экспериментах использовались заряды массой 0,4; 0,5; 0,8 кг. В качестве ВВ применялись аммонит № 6ЖВ и смесь аммонита с ТЭ-Ном. В качестве контрольного использовались заряды с конической кумулятивной выемкой с углом при вершине 60–65 град, что отвечает наиболее благоприятным условиям по формированию кумулятивного потока. Эффективность действия кумулятивных зарядов оценивалась по объему воронки дробления (выброса). Для этого кумулятивные заряды размещались на подошве уступа. После взрыва оценивались размеры воронки. Сама воронка очищалась от мелких фракций дробления и просыпей.

На первом этапе исследовались заряды при их одностороннем инициировании, а на втором – при двустороннем, т.к. известно, что двустороннее инициирование позволяет существенно повысить параметры кумулятивной струи и работу удлиненного кумулятивного заряда (УКЗ) [8-10].

Результаты экспериментальных взрывов в известняках представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты опытных взрывов

Тип заряда	Параметры заряда, мм			Масса ВВ заряда, кг	Абсолютная работоспособность, м <sup>3</sup>	Относительная работоспособность, м <sup>3</sup> /кг
	<i>h</i>	<i>B</i>	<i>L</i>			
Кумулятивный заряд типа ЗКН	–	–	–	1,0	0,0053	0,0053
УКЗ	107	50	107	0,45	0,00155	0,00344
УКЗ	166	80	50	0,40	0,0013	0,00325
УКЗ	166	80	100	0,8	0,0036	0,0045

Иницирование - одностороннее. Как видно из приведенных данных, наибольшей работоспособностью обладают кумулятивные заряды с конической кумулятивной выемкой. Как следует из табл. 2, на работоспособность удлиненных зарядов сильно влияет длина заряда, что подтверждают полученные нами ранее результаты. В результате встречного инициирования работоспособность зарядов была увеличена в 1,2-1,6 раза. Большая работоспособность соответствовала более длинному заряду. Максимальный объем воронки выброса составил 0,00736 м<sup>3</sup> при заряде 0,8 кг, что в 1,35 раз больше, чем в случае контрольного взрывания.

**Выводы.** Увеличение эффективности действия кумулятивных зарядов известных конструкций в горных породах за счет прироста скорости кумулятивной струи весьма затруднительно. По условию передачи энергии наиболее целесообразным является снижение пикового давления в газовой струе до рационального и рассредоточение ее на большей площади.

Создание в удлиненных кумулятивных зарядах сходящихся детонационных волн за счет встречного инициирования позволяет повысить работоспособность заряда в 1,2-1,6 раза по методу воронкообразования.

### Список литературы

1. Лаврентьев М.А. Кумулятивный заряд и принципы его работы // Успехи мат. наук. - 1975. - Т.12, вып.4. - С.41-56.
2. Баранов Е.Г., Клочко И.И., Петелин Э.А. Исследование эффективности нагружения горной породы кумулятивными зарядами / Сб. докладов 1-ой международной конференции «БВР в строительстве» М., 1992. С. 133 – 138.
3. Баранов Е.Г., Клочко И.И. Механизм разрушения горных пород кумулятивными зарядами./ В сб. Деформирование и разрушение горных пород (Материалы 9 Всесоюзной конференции по механике горных пород), г. Фрунзе, 3-5 октября 1989 г. – Фрунзе, «Илим», 1990. – С. 308-312.
4. Гордиенко В.Г., Баранов Е.Г. Применение линейного механического ускорителя для решения некоторых задач моделирования взрыва. – Фрунзе: «Илим», 1971. – 75 с.
5. Бызов В.Ф., Колосов В.А., Федоренко П.И. Взрывное разрушение горных пород: монография - Кривой Рог:Издательский центр ГВУЗ «КНУ», 2012.- 407с.
6. Ткачук К.Н., Федоренко П.И. Взрывные работы в горнорудной промышленности. - К.: Вища шк., 1990. - 296 с.
7. Фізика гірських порід / П.Й.Федоренко, В.Д.Сидоренко, М.В.Шолох, Т.О.Подойніцина, А.В.Переметчик. - Кривий Ріг, 2009. - 148 с.
8. П.И. Федоренко, И.И. Клочко Расчет объемов дробления горных пород от взрыва скважинного заряда. - Сб. Научное обеспечение современных методов производства открытых и подземных работ. - Кривой Рог: НИГРИ, 2010. - С. 56-61.
9. Артемьев Э.П., Рождественский В.Н., Ермолаев А.И. Состояние буровзрывных работ на железорудных карьерах Урала и современные методы повышения эффективности и взрывной подготовки горных пород // Изв. вузов. - Горный журнал, 1997. - №9-10. - С. 33-37.
10. Клочко И.И. Разработка высокоэффективных конструкций кумулятивных зарядов для дробления негабаритных кусков горных пород на карьерах / Сучасні ресурсо-енергозберігаючі технології гірничого виробництва Зб. Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М. Остроградського, м. Кременчук – КДПУ, 2010, вип. №2/2010 (6). - С. 16-21.

Рукопись поступила в редакцию 26.03.16

УДК 622.272: 622.611

М.І. СТУПНІК, В.О. КАЛІНІЧЕНКО, доктори техн. наук, проф.,  
В.М. ТАРАСЮТІН, О.Я. ХІВРЕНКО, кандидати техн. наук, доц.,  
А.В. КОСЕНКО, аспірант, Криворізький національний університет

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПУСКУ І ДОСТАВКИ РУДИ НА БАЗІ ВИКОРИСТАННЯ САМОХІДНОЇ НАВАНТАЖУВАЛЬНО-ДОСТАВОЧНОЇ ТЕХНІКИ В СКЛАДНИХ ГЕОМЕХАНІЧНИХ УМОВАХ ШАХТ КРИВБАСУ

У роботі вказано, що основною проблемою розробки родовищ природно-багатих залізних руд є інтенсифікація її видобутку і впровадження сучасних методів виробництва із застосуванням сучасної механізації всіх виробничих процесів. Доведено, що інтенсифікація ведення очисних робіт дозволить підвищити конкурентну спроможність гірничо-видобувних підприємств Криворізького басейну. Проаналізовано та узагальнено вітчизняний та зарубіжний досвід, наукові праці і проектні матеріали щодо використання самохідної техніки в підземних умовах. Зроблено висновки з приводу того, що масштабному застосуванню комплексів самохідної техніки суперечать складні геомеханічні умови глибоких горизонтів.

Для вирішення цієї проблеми здійснене удосконалення існуючого комбінованого способу доставки рудної маси, шляхом суміщення покрівлі навантажувально-доставочного орта і підшви штреків скреперування та застосування багатоковшевих скреперних установок на горизонті первинної доставки. Це суміщення дає змогу збільшити об'єм навалу рудної маси на підшві навантажувально-доставочного орта, у результаті збільшення його висоти, що підвищить коефіцієнт використання самохідної навантажувально-доставочної машини у часі протягом зміни та у разі можливих технологічних простоїв однієї зі скреперних установок. На горизонті первинної скреперної доставки створюється наскрізне провітрювання свіжим струменем повітря штреків скреперування, що забезпечить якісні санітарно-гігієнічні умови праці машиніста скреперної установки. Застосування багатоковшевих скреперних установок дає змогу здійснювати випуск руди з усіх випускних виробок по всій площині виробки доставки рівномірними дозами, для сприяння покращенню кількісних та якісних показників вилучення. Продуктивність скреперної установки становить 340-420 т/зміну, за умов виходу негабаритних кусків рудної маси у межах 5-6%, а самохідної навантажувально-доставочної машини - 700-800 т/зміну, в залежності від її типу, на відстані середньої довжини доставки 90-

450 м. Це дозволяє оптимізувати відстань між капітальними рудоспусками в залежності від техніко-економічного обґрунтування. Застосування самохідних машин не обмежується тільки цими умовами і може бути використано в будь-яких рудах.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Розробка родовищ природно-багатих залізних руд, у складних геомеханічних умовах глибоких горизонтів шахт Кривбасу, здійснюється під значною дією гравітаційних полів напружень, з використанням різних варіантів системи підповерхового обвалення. Технологічний процес випуску і доставки рудної маси здійснюється скреперними установками, що характеризується високими показниками трудомісткості (від 27 до 48 %) та низькою продуктивністю (в середньому 170 т/зміну), що негативно впливає на затрати, які пов'язані з підтриманням виробок приймального горизонту в робочому стані на протязі усього терміну відпрацювання виймальної одиниці, а також на зниженні якісних та кількісних показників вилучення руди. Варіанти технології, що застосовуються, характеризуються втратами руди в надрах у межах 17-18% та засміченням її – 10-12% [1-4].

**Аналіз досліджень і публікацій.** Експлуатація продуктивних горизонтів шахт Кривбасу з видобутку природно-багатих залізних руд супроводжується низькою інтенсивністю ведення очисних робіт, яка коливається в межах 1,2 – 1,8 т/м<sup>2</sup> за добу. Це унеможливує формування компенсаційних камер необхідного об'єму задля якісного протікання технологічного процесу її випуску [2-5]. Збільшення об'єму компенсаційних камер також дозволить примножити кількість чистої руди природної якості, що суттєво впливає на ціноутворення кінцевої продукції [6,7].

Зарубіжний досвід підземної розробки родовищ корисних копалини свідчить про те, що істотне підвищення продуктивності праці на технологічному процесі випуску і доставки неможливе без застосування самохідної техніки [1,8,9]. Збільшення продуктивності технологічного процесу доставки руди дозволить підвищити інтенсивність її випуску. Так як інтенсивність значним чином впливає на формування якісних та кількісних показників вилучення [3].

Для застосування самохідних навантажувально-доставочних машин на технологічному процесі випуску і доставки руди постає питання про зміну конструкції днищ приймальних горизонтів, що створюють вплив на показники вилучення [5].

Випуск руди з траншейного днища за допомогою навантажувально-доставочних машин, через навантажувально-випускні заїзди, у Кривбасі вкрай ускладнений підтриманням виробок площею поперечного перетину 12-14 м<sup>2</sup> [10] у процесі всього терміну їх експлуатації. Так як для забезпечення максимальних показників ефективності від реалізації вилученої рудної сировини необхідно забезпечити відстань між їх осями у межах 10 м [5]. А це призводить до взаємного перетину зон концентрації напружень в ціликах між ними і, у свою чергу, руйнування в перші проміжки часу їх експлуатації [10].

У процесі виконання ремонтних робіт по відновленню гірничих виробок відбуваються прості устаткування. Це знижує коефіцієнт використання гірничого обладнання протягом робочого часу і, у свою чергу, значною мірою позначається на вартості рудної сировини. Але головним чином ця проблема позначається на переуцільненні рудної маси в очисному просторі, що призводить до зниження показників вилучення [3,4]. Так само на коефіцієнт використання самохідних машин, які є дуже дорогими, впливають якість покриття підшви виробки та прямолінійність її трасування [1,7,11]. Для усунення цих недоліків добре реалізована в цих умовах схема комбінованої доставки рудної маси з використанням скреперних установок на первинній доставці і самохідної техніки на вторинній доставці [1].

Недоліками цього способу доставки є те, що при суміщенні покрівель транспортного орта і штреків скреперування, ускладнюється провітрювання виробок первинної доставки. У результаті чого машиніст скреперної установки знаходиться у ніші, яка не провітрюється. А також формування навалу рудної маси на підшві транспортного орта невеликого об'єму, що знижує коефіцієнт використання самохідної техніки протягом зміни у разі технологічного простою скреперної установки.

**Постановка завдання.** Отже метою роботи є удосконалення комбінованого способу її доставки для забезпечення високих кількісних і якісних показників видобутку руди та підвищення інтенсифікації ведення робіт на технологічному процесі випуску і доставки рудної маси.



Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання: оптимізувати параметри днищ приймальних горизонтів виймальних одиниць із застосуванням системи підповерхового обвалення; обґрунтувати тип гірничого обладнання, яке буде застосовуватись.

**Викладення матеріалу та результати.** Збільшення об'єму компенсаційної камери, до 25-30% і більше від основного запасу панелі, досягається підвищенням інтенсивності випуску запасів обваленої руди компенсаційної камери від 5-6 т/м<sup>2</sup> за добу та більше.

Підвищення інтенсивності протікання технологічного процесу випуску основного обваленого запасу виймальної одиниці дасть змогу зменшити величини гірничого тиску на днище приймального горизонту [12]. Така величина інтенсивності випуску руди досягається забезпеченням продуктивності технологічного процесу доставки у межах від 700-750 до 800-900 т/зміну, в залежності від конкретних параметрів очисної панелі, яка досягається шляхом застосування однієї з наступних типів самохідних навантажувально-доставочних машин: EST-3,5; TORO 400E; TORO 1400 [5,13].

Середня довжина доставки рудної маси, для забезпечення необхідної продуктивності технологічного процесу, становить: до 90-100 м (EST-3,5); до 250-280 м (TORO 400E); 380-450 м (TORO 1400) [5].

Для забезпечення повноцінної роботи самохідної навантажувально-доставочної машини на вторинній доставці необхідно забезпечити продуктивність скреперної установки в межах 350-450 т/зміну.

Отже, необхідно проаналізувати усі фактори, які впливають на продуктивність скреперної установки і розробити методи, що сприятимуть її підвищенню.

За формулою 1, яка поєднує у собі дані [14, 609 с., 15], розрахована продуктивність скреперної установки 55ЛС-2С в залежності від довжини доставки та виходу негабариту у відсотковому відношенні, т/зміну.

$$P = \frac{3600 \cdot V_c \cdot \gamma_c \cdot K_n \cdot (T_{зм} - T_{п.з})}{\frac{l}{v_r} + \frac{l}{v_n} + \frac{v_c \cdot \gamma \cdot K_n \cdot H \cdot t_{н.г}}{100}}, \quad (1)$$

де  $V_c=0,6 \text{ м}^3$  - місткість першого скрепера;  $\gamma=2,5 \text{ т/м}^3$  - питома вага руди в розпушеному стані;  $K_n=0,8$  - коефіцієнт наповнення скрепера;  $T_{зм}=7 \text{ год}$  - тривалість робочої зміни;  $T_{п.з}=1 \text{ год/час}$  на нормовані простої та підготовчо-заклучні операції;  $l$  - середня довжина доставки скреперними установками;  $v_r=1,32 \text{ м/с}$  - швидкість руху завантаженого скрепера;  $v_n=1,8 \text{ м/с}$  - швидкість руху порожнього скрепера;  $t_n=20 \text{ с}$  - час на паузи при переміщенні скреперів;  $H$  - вихід негабариту;  $t_{н.г}=10 \text{ хв./т}$  - питомі затрати часу на ліквідацію зависань.

За даними розрахунків побудовані графіки залежності змінної експлуатаційної продуктивності скреперної установки від виходу негабаритних шматків рудної маси (%) при різних середніх довжинах її доставки (рис. 1).

З графіків залежності видно, що суттєво впливає на продуктивність скреперної установки вихід негабариту. Це пояснюється тим, що затрачується значна кількість часу для його локалізації.

Також слід зазначити, що середня довжина доставки не суттєво впливає (6,2-9,0 %) на продуктивність скреперної установки, в результаті виходу негабариту в межах 15-8 %.

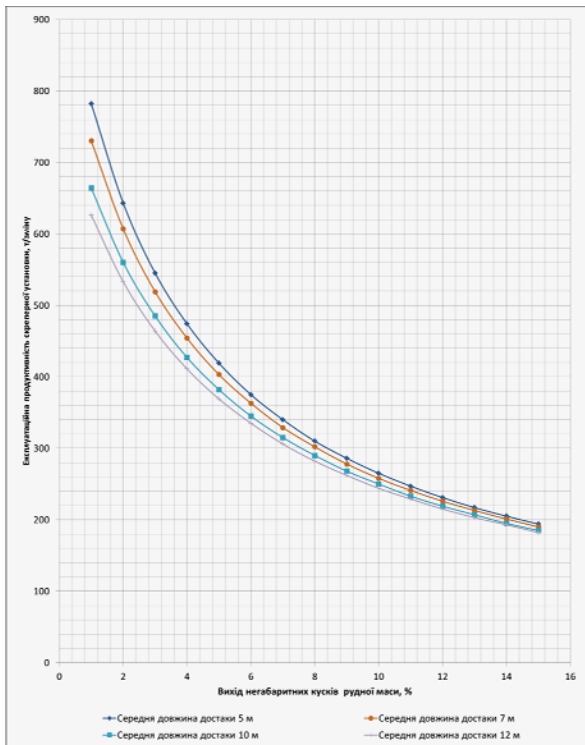
Суттєвий вплив середньої довжини доставки (10-20 %) на продуктивність скреперної установки починає відбуватись в результаті зменшення виходу негабаритних шматків рудної маси від 7 до 1%.

Отже, необхідно вдосконалити процес відбивання руди, на який впливають: обладнання, що застосовується для буріння свердловин; довжина вибухових свердловин; відхилення свердловин від проектної осі; анізотропія рудного масиву.

Усунення, до граничного рівня, цих недоліків, а також заміна випускних отворів у вигляді дучок на випускні ніші розмірами 2×2 м [1] дасть змогу збільшити кондиційний шматок до 600 мм.

Це дозволить зменшити зависання шматків рудної маси у виробках випуску, тим самим зменшити вихід її негабариту до 5-6%.

Також забезпечить збільшення продуктивності скреперної установки, в залежності від середньої довжини доставки рудної маси (5-12 м), до 330-420 т/зміну (рис. 1).

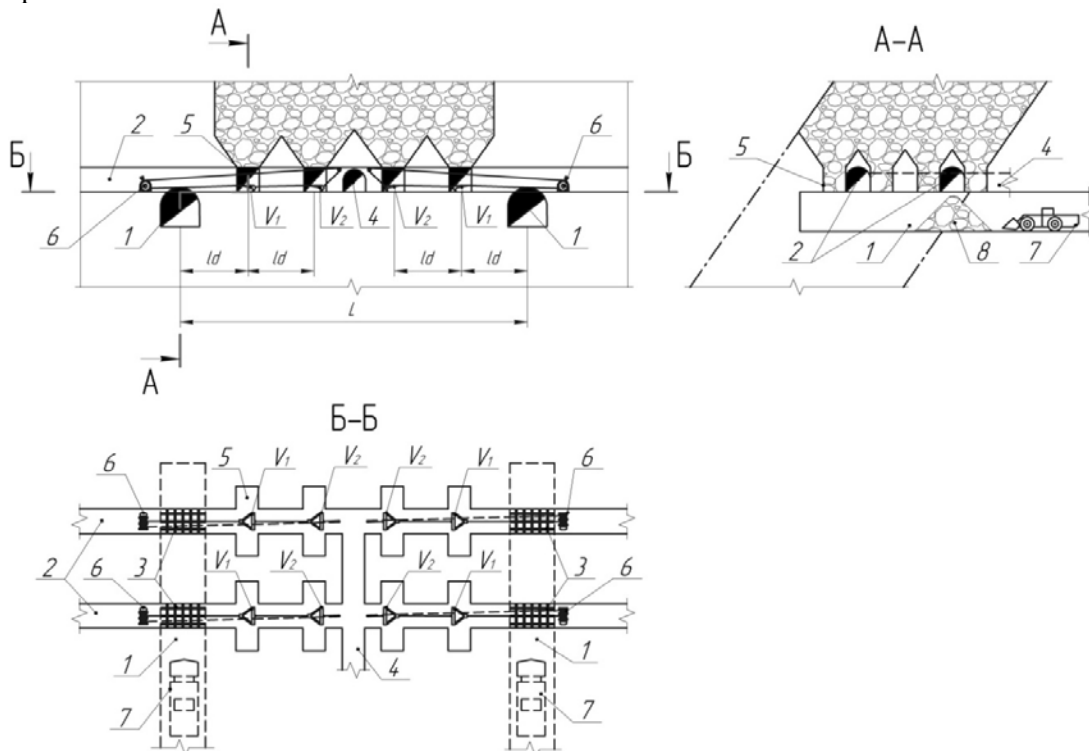


**Рис. 1.** Залежність змінної експлуатаційної продуктивності скреперної установки від виходу негабаритних кусків рудної маси (%) при різних середніх довжинах доставки рудної маси

Що стосується середньої довжини доставки, то її зменшення можливе за допомогою застосування багатоковшевої скреперної установки, яка складається зі скреперної лебідки і двох-трьох скреперів [16] (рис. 2).

З метою забезпечення функціонування цієї схеми доставки рудної маси (рис. 2), поверх розбивається на декілька підповерхів приблизно рівної висоти, на рівні яких зі штреку лежачого боку проходять навантажувально-доставочні орти 1. Над навантажувально-доставочними ортами 1 проходять штреки скреперування 2, суміщаючи покрівлю навантажувально-доставочних ортів 1 і підшву штреків скреперування 2. У місцях суміщення цих виробок встановлюється грохотна решітка 3. У штреках скреперування 2 формують 4-6 пар випускних ніш 5, які мають розміри 2×2 м.

Штреки скреперування 2 у центральній частині поєднують між собою за допомогою вентиляційних ортів 4, які з'єднують системою гірничих виробок з вентиляційним збірним штреком-колектором.



**Рис. 2.** Схема комбінованого способу доставки рудної маси «багатоковшева скреперна установка - самохідна навантажувально-доставочна машина»

Випуск і доставка рудної маси, в межах очисної панелі, здійснюються після масової відбійки руди від випускних ніш 5 по штреках скреперування 2.

Рудна маса доставляється скреперними установками 6, в обидві сторони від вентиляційного орта 4, до їх перетину з навантажувально-доставочними ортами 1, де вона через грохотну

решітку 3 розвантажується. На підшвах навантажувально-доставочних ортів 1, при цьому, формується навал рудної маси 8, об'єм якого може досягати порядку 90 т.

Автоматизований високопродуктивний випуск руди забезпечується тим, що кількість скреперів кожної скреперної установки 6 відповідає числу пар випускних виробок 5, з яких проводиться випуск, об'єми скреперів  $V$ , починаючи з хвостового, у два рази перевищує об'єм попереднього ( $V_1=2V_2$ ). Відстань між скреперами однакова і відповідає відстані між суміжними випускними нішами  $ld$  і центром навантажувально-доставочного орта 1.

Така комбінація випускних отворів і скреперної установки дозволить забезпечити рівномірний випуск руди рівними дозами з кожного випускного отвору та допоможе виключити соціальний фактор при дотриманні планування випуску. Таким чином середня довжина скреперування зменшиться до значення відстані між випускними виробками, що становить 5-7 м, в залежності від параметрів стійкості рудного масиву та інтенсивності проведення процесів очисного виймання.

У результаті цього продуктивність скреперної установки забезпечується в межах від 340-360 до 400-420 т/зміну, що зумовлює інтенсивність відпрацювання панелей у діапазоні 5,2-6,5 т/м<sup>2</sup> за добу. У залежності від відстані ( $ld$ ) і кількості пар випускних ніш по лінії штреків скреперування, відстань між навантажувально-доставочними ортами  $L$  буде коливатись у межах 25-50 м. Вторинна доставка, самохідними навантажувально-доставочними машинами 7, здійснюється по навантажувально-доставочних ортах 1, до місць розвантаження безпосередньо у транспортні засоби, або у капітальний рудоспуск.

Провітрювання горизонту вторинної доставки самохідними навантажувально-доставочними машинами, в залежності від потужності рудного покладу, може здійснюватись примусово за допомогою вентиляторів місцевого провітрювання, або з використанням вентиляційних виробок у лежачому боці покладу чи у породах, що його вміщують.

Провітрювання горизонту первинної доставки скреперними установками 6 здійснюється чистим струменем повітря, яке надходить по штрекам скреперування 2, з обох боків очисної панелі і відводом відпрацьованого повітря через вентиляційні орти 4.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Проведені дослідження дали змогу встановити оптимальні параметри технологічного процесу випуску і доставки рудної маси в межах панелі, що забезпечує високо-інтенсивний її випуск у діапазоні 5,2-6,5 т/м<sup>2</sup> за добу. Цей показник інтенсивності забезпечується продуктивністю скреперної установки, яка становить 340-420 т/зміну, на горизонті первинної доставки по лінії штреку скреперування, за умови виходу негабаритних шматків рудної маси у межах 5-6%.

Продуктивність самохідної навантажувально-доставочної машини TORO 400E, в межах середньої довжини доставки 250-280 м, коливається у діапазоні 700-800 т/зміну, що дозволить одній машині обслуговувати два скреперних вибої у двох навантажувально-доставочних ортах, які знаходяться по контуру очисної панелі. Відстань між капітальними рудоспусками буде становити в середньому 200 м.

Суміщення покрівлі навантажувально-доставочного орта і підшви штреку скреперування дає змогу збільшити об'єм навалу рудної маси на підшві навантажувально-доставочного орта, у результаті збільшення його висоти, що дасть змогу підвищити коефіцієнт використання самохідної навантажувально-доставочної машини у часі протягом зміни та у разі можливих технологічних простоїв однієї зі скреперних установок.

На горизонті первинної скреперної доставки створюється наскрізне провітрювання свіжим струменем повітря штреків скреперування, що забезпечить якісні санітарно-гігієнічні умови праці машиніста скреперної установки.

У ході подальших досліджень планується провести техніко-економічне обґрунтування запропонованого комбінованого способу доставки.

Розрахувати можливості існуючих скреперних установок по критерію максимуму тягового зусилля задля встановлення залежності їх продуктивності від типу та максимальної довжини скреперування.

Оптимізувати, на основі техніко-економічного обґрунтування, відстані між капітальними рудоспусками в залежності від типорозміру самохідної навантажувально-доставочної техніки.

Установити залежність показників вилучення руди від інтенсивності її випуску в межах 3-6 т/м<sup>2</sup> за добу.

### Список літератури

1. **Тарасютин В.М.** Разработка рациональных вариантов ресурсосберегающей технологии очистной выемки залежей богатых железных руд шахт с использованием самоходного горного оборудования / **Тарасютин В.М., Косенко А.В.** // Materials of the XI international scientific and practical conference «Modern European science – 2015» (June 30 – July 7, 2015) Technical sciences. Physical culture and sport. – Sheffield: SCIENCE AND EDUCATION LTD. – 2015. – Volume 11 – С 69-74.
2. Проект № 148-20-11 нарезных и очистных работ в блоке 140-147 оси гор. 1220 м в п/эт. гор. 1265/1190 м зал. «Основная» п.ш. «Большевик» (с применением самоходного оборудования) // ПАО «Кривбассжелезрудком» // шахта «Октябрьская» // г. Кривой Рог. – 2011 г.
3. **Черненко А.Р.** Подземная добыча богатых железных руд / **А.Р. Черненко, В.А. Черненко.** – М.: Недра, 1992. – 224 с.
4. **Малахов Г. М.** Теория и практика выпуска обрушенной руды / **Г. М. Малахов, В. Р. Безух, П. Д. Петренко.** – М.: Недра, 1968. – 311 с.
5. **Косенко А.В.** Дослідження та удосконалення технологічного процесу випуску і доставки руди на базі використання самохідної навантажувально-доставочної техніки / **Косенко А.В., Мурашкін А.В.** // Матеріали за XII міжнародна научна практична конференція «Бъдеещите изследования – 2016» (15-22 февруари, 2016) Технологии. Физическая культура и спорт – София: Бял ГРАД-БГ» ООД – 2016. – Том 11 – С. 25-31.
6. **Письменный С.В.** Отработка сложноструктурных залежей богатых руд камерными системами разработки / **С.В. Письменный** // Гірничий Вісник. Науково-технічний збірник – Кривий Ріг: КНУ – 2014. – Вип. 97. – С. 3-6.
7. Проблемы геотехнологических процессов комплексного освоения суперкрупных рудных месторождений / под ред. **К.Н. Трубецкого, Д.Р. Каплунова.** – М.: ИПКОН, 2005. – 248 с.
8. Дослідження та удосконалення технології відпрацювання покладів з застосуванням самохідної доставочної техніки / **Калініченко В.О., Швагер Н.Ю., Чухарев С.М.** [та ін.] // Гірничий Вісник. Науково-технічний збірник – Кривий Ріг: КНУ – 2015. – Вип. 99. – С. 100-104.
9. Комбінований спосіб доставки руди при відпрацюванні потужних рудних покладів / **Д.Ф. Зенюк, В.М. Тарасютин, О.Я. Хівренко, М.Б. Федько** // Вісник Криворізького національного університету: збірник наукових праць – Кривий Ріг: КНУ – 2012. – №29 – С. 20-25.
10. **Щербатюк Г.Я.** Щодо питання розробки засобів підтримання гірничих виробок на глибоких горизонтах залізрудних шахт/ **Щербатюк Г.Я., Дердіяченко В.Б., Моргун О.В.** // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу: Збірник наукових праць . Кривий Ріг: ДП «НДІБПГ». – 2007. – Вип. 9. – С. 51-56.
11. Пояснительная записка к проекту №40 / от 21.11.2011 г./ нарезных и очистных работ в экспериментально-промышленном блоке 93-102 оси гор. 1350-1275 м по залежи «102-5» 6-го простирания 1,2 р.т. с применением самоходной техники // ПАО «Кривбассжелезрудком» // шахта им. Ленина В.И.// г. Кривой Рог. – 2011 г.
12. Инструкция по нормированию, прогнозированию и учету показателей извлечения руды из недр при подземной разработке железорудных месторождений. / **Азарян А.А., Колосов В.А., Моргун А.В.** [и др.] – Кривой Рог: Минарал, 2006. -135с.
13. **Хоменко О.Є.** Горное оборудование для подземной разработки рудных месторождений: справочное пособие / **О.Є. Хоменко, М.Н. Кононенко, Д.В. Мальцев** // – Д.: Национальный горный университет, 2011. – 448 с.
14. Справочник по горному делу / под ред. акад. **А.М. Терпигорева** и проф., д.т.н. **Р.П. Каплунова** – 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу, 1961. – 857 с.
15. **Пухов Ю.С.** Рудничный транспорт / **Ю.С. Пухов** – М.: Недра, 1991. – 380 с.
16. Пат. 105304 Україна, МПК E21C 41/00. Комбінований спосіб доставки рудної маси при підземній розробці крутоспадних потужних рудних покладів / **Ступнік М.І., Калініченко В.О., Кривенко Ю.Ю., Калініченко О.В., Косенко А.В., Ковбик К.М.**; Заявник і власник ДВНЗ «Криворізький національний університет». – у 2015 09471; заявл. 01.10.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. №5.

УДК 622.271.33: 622.12

В.Г. БЛИЗНЮКОВ, д-р техн. наук, проф.,  
С.А. ЛУЦЕНКО, И.В. БАРАНОВ, кандидаты техн. наук, доц.  
Криворожский национальный университет

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНТУРОВ КАРЬЕРОВ, РАЗРАБАТЫВАЮЩИХ КРУТОПАДАЮЩИЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Необходимость в определении перспективных конечных границ железорудных карьеров обусловлена тем, что после выхода горных работ на проектный контур карьеры будут работать в режиме ежегодного снижения (выбытия) производственной мощности, а для подготовки перекрытия такого выбытия потребуется 5-7 лет при любом способе разработки. При этом увеличится глубина разработки месторождения, а большая часть верхних горизонтов рабочей зоны будет погашена, что потребует вовлечения значительно большего объема инвестиций на освоения запасов за утвержденным проектным контуром карьера. В статье, на примере Первомайского карьера ПАО «Северный ГОК» показано определение перспективных контуров отработки карьера, выполнены исследования изменения наибольшего текущего коэффициента вскрыши в зависимости от увеличения проектной глубины карьера. Перспективные границы Первомайского карьера ПАО «Северный ГОК» обеспечат экономические показатели добычи руды и производства концентрата на уровне не ниже экономических показателей подобных горно-обогатительных комбинатов. По результатам проведенных исследований установлено, что прирост запасов руды в перспективном контуре отработки карьера составляет более 130 млн т. При этом дополнительный объем вскрышных работ составит в размере 260 млн м<sup>3</sup>. Коэффициент вскрыши в утвержденном проектном контуре отработки карьера составляет 0,6 м<sup>3</sup>/т. При разработке месторождения в перспективном контуре отработки карьера коэффициент вскрыши будет составлять 0,81 м<sup>3</sup>/т. При разработке месторождения в перспективных контурах отработки карьера срок его эксплуатации может быть продлен до 43 лет против 37 (при работе в утвержденном контуре отработки).

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** В настоящее время на большинстве карьеров Кривбасса горные работы на верхних горизонтах подходят к границам карьера по поверхности. Этот период (10-12 лет) будет характеризоваться наибольшим эксплуатационным коэффициентом вскрыши. Именно за это время себестоимость руды и в целом затраты на производство концентрата достигнут допустимой величины. Величина эксплуатационного коэффициента вскрыши этого периода, определяющая конечные границы карьеров, может быть уменьшена за счет выбора направления развития горных работ и определения рациональных контуров карьеров по поверхности. Уменьшение эксплуатационного коэффициента позволит расширить конечные границы карьеров, тем самым увеличить запас руды в контурах карьеров и промышленный потенциал горно-обогатительных комбинатов.

Кроме того, своевременное определение конечных контуров карьеров позволяет планировать потребность в земельных площадях под поверхностные здания и технологические сооружения, обеспечивающие нормальную работу горно-обогатительных комбинатов на длительное время. При этом немаловажное значение имеет и социальный фактор.

Необходимость уже сейчас определять перспективные конечные границы карьера обусловлена тем, что после указанного выше периода карьер будет работать в режиме ежегодного снижения (выбытия) производственной мощности, а для подготовки перекрытия такого выбытия потребуется 5-7 лет при любом способе разработки. При этом увеличится глубина разработки месторождения, а большая часть верхних горизонтов рабочей зоны будет погашена, что потребует вовлечения значительно большего объема инвестиций на освоения запасов за утвержденным проектным контуром карьера.

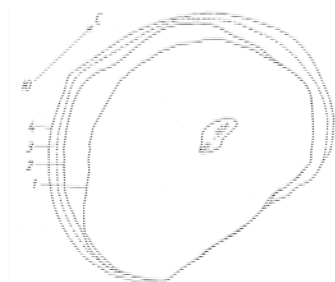
С определением перспективных конечных контуров карьера произойдет изменение объемов вскрышных пород, руды и ее качества, при которых необходимо установить его производственную мощность и период работы комбината.

**Анализ исследований и публикаций.** Вопросом определения границ карьеров занималось большое количество ученых. Наибольший вклад [1-5] в теории проектирования границ открытых горных работ принадлежат А.И. Стешенко, И.А. Кузнецову, П.И.Городецкому, А.И. Арсентьеву, В.В. Ржевскому, В.С. Хохрякову, В.Г. Близнюкову, А.К. Полищуку. Исследования по определению перспективных границ отработки карьеров проводились Академией горных наук Украины [6] и Государственным высшим учебным заведением «Криворожский национальный университет» [7]. В этих работах в основу определения граничного коэффициента вскрыши было положено сравнение показателей работы исследуемых предприятий с пока-

зателями подобных горно-обогатительных комбинатов. Экономическая эффективность и срок работы предприятия, полнота использования запасов полезных ископаемых и объемы инвестиций прямо зависят от границ открытых горных работ. Цена товарной руды (продукции), которая зависит от ее качества, всегда определяла границы открытых горных работ. Однако на различных горнодобывающих предприятиях товарная продукция одного и того же качества может иметь различную цену реализации, что в свою очередь может внести ошибку при определении конечных контуров карьеров. Поэтому предложена методика определения граничного коэффициента вскрыши, которая позволяет избежать влияния неприродных и нетехнологических факторов на цену концентрата [8]. На основе проведенных исследований была разработана новая методика определения границ карьеров [9], с учетом изменения граничного коэффициента вскрыши во времени, которая позволяет определять конечную глубину проектируемого карьера с учетом возможного изменения объемов выемки вскрышных пород и добычи руды на базовых предприятиях-конкурентах, т. е. с учетом изменения их текущих коэффициентов вскрыши. Это дает возможность предприятию оставаться конкурентоспособным в течении всего срока эксплуатации месторождения.

**Постановка задачи.** Целью данной работы является исследование изменения наибольшего текущего коэффициента вскрыши в зависимости от увеличения проектной глубины проектируемого карьера, а также динамики с течением времени текущих коэффициентов вскрыши по ГОКах и горнодобывающим предприятиям Украины. Такое исследование даст возможность решить вопрос определения перспективных границ проектируемых железорудных карьеров в зависимости от влияния технологических показателей карьеров-конкурентов. В конечном итоге перспективные контуры должны обеспечить минимальное значение коэффициента вскрыши в целом по карьере [10].

**Изложение материалов и результаты.** Для выполнения исследований за основу был взят Первомайский карьер ПАО «Северный ГОК». Для определения рациональной глубины Первомайского карьера наметили несколько вариантов контуров карьера по поверхности (рис. 1).



**Рис. 1** Возможные контуры Первомайского карьера по поверхности: 1 - современное положение горных работ; 2 - контур карьера по первому варианту; 3 - по второму варианту; 4 - по третьему варианту

При построении контуров карьера и положения горных работ по мере их понижения приняты значения углов откосов бортов карьера к моменту их погашения согласно значениям представленных в работе [11]. Углы рабочих бортов карьера приняты согласно значениям, которые фактически достигнуты на Первомайском карьере.

Для этих вариантов были приняты следующие конечные глубины карьера  $H_k$ :

I вариант - нижняя отметка дна карьера «-565 м»,  $H_k=670$  м;

II вариант - положение дна карьера через 50 м, т.е. нижняя отметка дна карьера «-615 м»,  $H_k=720$  м;

III вариант - положение дна карьера через 120 м, т.е. нижняя отметка дна карьера в замковой части месторождения «-665 м»,  $H_k=770$  м.

Характеристика Первомайского карьера по исследуемым вариантам представлена в табл. 1.

Таблица 1

Эксплуатационная характеристика Первомайского карьера			
Показатели	Варианты конечной глубины карьера, $H_k$		
	I вариант	II вариант	III вариант
Углы откосов рабочих бортов $\alpha$ , град	16-20	16-20	16-20
Наибольший текущий коэффициент вскрыши $n_t$ , м <sup>3</sup> /т	0,78	0,87	0,965
Глубина горных работ с наибольшим текущим коэффициентом вскрыши $H_T$ , м	-355	-400	-445

По каждому из рассматриваемых вариантов, для определения максимальных текущих коэффициентов вскрыши, отстроили положение горных работ в момент их выхода по уровню

дневной поверхности на проектные (конечные) контуры карьера. При построении календарных планов горных работ были использованы рекомендации «МИ-ЦЕНТР» [11]. Подвигание бортов карьера по каждому из рассматриваемых вариантов осуществляем в северном, южном и западном направлениях. Подвигание борта в восточном направлении не целесообразно, в связи с наличием на нем фабрики. Далее по каждому варианту производим расчеты объемов выемки руды и вскрышных пород и определяем максимальные текущие коэффициенты вскрыши.

По результатам расчетов построили графики изменения наибольших текущих коэффициентов вскрыши в зависимости от увеличения конечной глубины карьера  $n_{m\max} = f(H_k)$  (рис. 2). Исходным для расчетов принято положение горных работ на 01.01.2014 г.

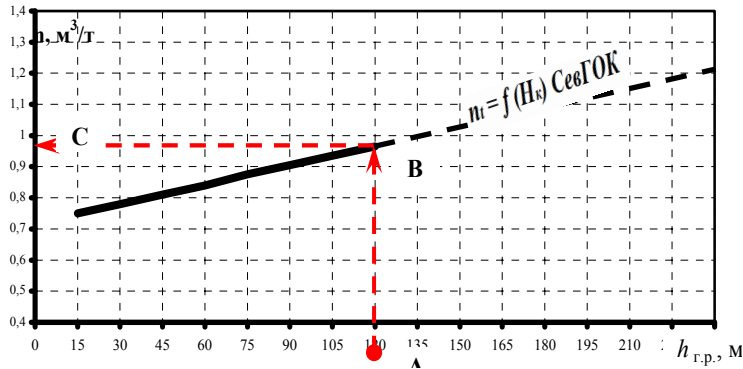


Рис. 2. Графики изменения наибольших текущих коэффициентов вскрыши в зависимости от увеличения конечной глубины карьера

Анализ вариантов конечной глубины карьера показал, что развитие контуров карьера по поверхности ограничивается наличием (за исключением отвалов на северном и юго-западном бортах карьера) транспортных коммуникаций, зданий и сооружений. Максимальная перспективная глубина карьера, при которой нет ограничений развития контуров по поверхности составляет 770 м (сплошная линия  $n_{m\max} = f(H_k)$  на рис. 2), при этом граничный коэффициент вскрыши составляет  $0,97 \text{ м}^3/\text{т}$  (рис. 2 линия А-В-С). При увеличении перспективной глубины Первомайского карьера необходимо будет выполнить не только перенос (ликвидацию) выше указанных отвалов, но и перенос (или снос) транспортных коммуникаций, зданий и сооружений (пунктирная линия  $n_{m\max} = f(H_k)$  на рис. 2).

Определение граничного коэффициента вскрыши и конечной глубины карьера на различных участках месторождения производили по разработанным методикам [8, 9]. Их суть состоит в исключении влияния субъективных факторов на цену товарной продукции, которые делают неточным применение существующих методов определения конечных контуров карьеров. Методика определения границ карьеров предусматривает применения граничного коэффициента вскрыши как величины не постоянной, а изменяющейся во времени, и такой, которая зависит от изменения текущих коэффициентов вскрыши на карьерах-конкурентах. Согласно этих методик граничный коэффициент вскрыши для Первомайского карьера определяли с учетом возможного изменения во времени объемов вскрышных пород и руды на базовых предприятиях-конкурентах. Для этого проследили динамику (рис. 3) с течением времени текущих коэффициентов вскрыши по ГОКа и горнодобывающим предприятиям Украины (ЮГОКа, ЦГОКа, АМКР, ПГОКа и ИнГОКа, КЖРК).

Определение перспективных границ Первомайского карьера, которые обеспечат экономические показатели добычи руды и производства концентрата на уровне не ниже подобных экономических показателей по сравнению с каждым из перечисленных ГОКов.

Для этого на графике изменения наибольших текущих коэффициентов вскрыши в зависимости от изменения конечной глубины карьера отразим кривую выбранного граничного коэффициента вскрыши (рис. 4а, б).

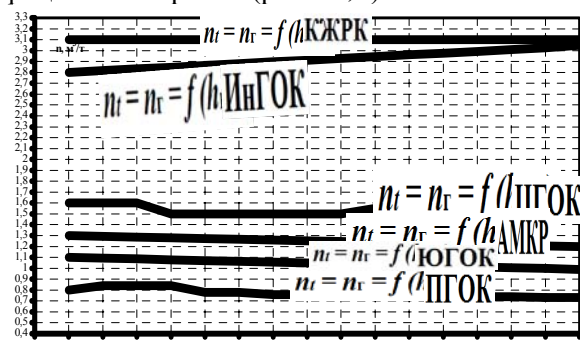


Рис. 3. Изменение во времени текущих коэффициентов вскрыши (граничных для Первомайского карьера) по карьерам-конкурентам

Затем определим точку пересечения кривой отражающей изменение наибольших текущих коэффициентов вскрыши с линиями граничных коэффициентов вскрыши.

От точек пересечения проводим вертикальные линии к оси абсцисс и определяем перспективную глубину карьера по сравне-

нию с каждым из перечисленных ГОКов.

В качестве примера рассмотрим определение глубины Первомайского карьера по сравнению с экономическими показателями работы ПГОКа и ЮГОКа.

По сравнению с ПГОКом. На рис. 4а отметим точку пересечения (точка А) линии отражающей изменение наибольших текущих коэффициентов вскрыши с линией отражающей граничный коэффициент вскрыши (граничный коэффициент вскрыши составляет  $n_{гр}=0,84 \text{ м}^3/\text{т}$ ).

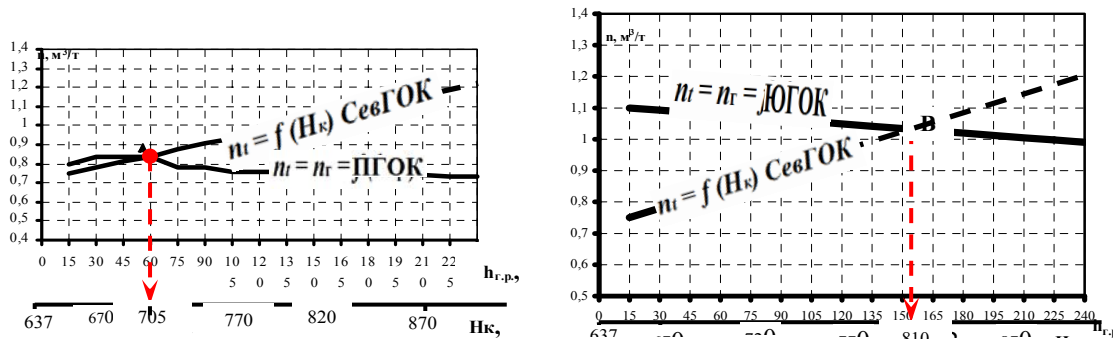


Рис. 4а,б. Графическое определение глубины Первомайского карьера

После этого из точки А проводим вертикальную линию на ось абсцисс и определяем перспективную глубину Первомайского карьера ( $H_k=705 \text{ м}$ ). По сравнению с ЮГОКом. На рис. 4б отметим точку пересечения (точка В) линии отражающей изменение наибольших текущих коэффициентов вскрыши с линией отражающей граничный коэффициент вскрыши (граничный коэффициент вскрыши составляет  $n_{гр}=0,84 \text{ м}^3/\text{т}$ ).

После этого из точки В проводим вертикальную линию на ось абсцисс и определяем перспективную глубину Первомайского карьера  $H_k=810 \text{ м}$ .

Перспективные границы Первомайского карьера, которые обеспечат экономические показатели добычи руды и производства концентрата на уровне не ниже подобных экономических показателей по сравнению с ГОКа и горнодобывающими предприятиями Украины (ЮГОКа, ЦГОКа, АМКР, ПГОКа и ИнГОКа, КЖРК) представлены в табл. 2.

Таблица 2

Перспективная глубина Первомайского карьера ( $H_k$ ) и ее увеличение, определенные по равенству экономических показателей горнодобывающих предприятий-конкурентов

Показатели	Предприятия-конкуренты					
	ПГОК	ЮГОК	АМКР	ЦГОК	ИнГОК	КЖРК
Глубина карьера $H_k$ , м	705	810	890	>890	>890	>890
Прирост глубины карьера $\Delta H_k$ , м	35	140	220	>220	>220	>220

Из табл. видно, что при увеличении конечной глубины Первомайского карьера минимум до 705 м (прирост глубины относительно действующего проекта составит 35 м) экономические показатели добычи и производства концентрата будут не хуже чем на Полтавском ГОКе.

Из этого следует, что по сравнению с другими ГОКа Украины эти показатели тем более будут не хуже. В случае установления перспективной глубины карьера по экономическим показателям базовых предприятий-конкурентов ГОКов и горнодобывающих предприятий Кривого Рога перспективная конечная глубина Первомайского карьера, обеспечивающая конкурентоспособность его товарной продукции, составит минимум 810 м (прирост глубины относительно действующего проекта составит 140 м).

Однако при данной глубине карьера контуры по поверхности требуют переноса части Северного автоотвала и транспортных коммуникаций практически по всему периметру карьера.

Максимальная перспективная глубина карьера, при которой нет ограничений развития контуров по поверхности составляет 770 м (прирост глубины относительно действующего проекта составит



100 м), т.е при глубине разработки месторождения 770 м обеспечивается конкурентоспособность товарной железорудной продукции Первомайского карьера на внутреннем рынке Украины.

Поэтому, в качестве перспективной конечной глубины Первомайского карьера рекомендуется глубина 770 м.

**Выводы.** Подсчитаны погоризонтные объемы выемки руды и вскрышных пород в перспективном контуре отработки карьера.

Прирост запасов руды в перспективном контуре отработки карьера составляет более 130 млн т.

При этом дополнительный объем вскрышных работ составит в размере 260 млн м<sup>3</sup>. Коэффициент вскрыши в утвержденном проектном контуре отработки карьера составляет 0,6 м<sup>3</sup>/т.

При разработке месторождения в перспективном контуре отработки карьера коэффициент вскрыши будет составлять 0,81 м<sup>3</sup>/т.

При разработке месторождения в перспективных контурах отработки карьера срок его эксплуатации может быть продлен до 43 лет против 37 (при работе в утвержденном контуре отработки).

#### *Список литературы*

1. **Арсентьев А.И.** Определение производительности и границ карьеров / **А.И.Арсентьев.** – 2-е издание переработанное и дополненное – М.: Недра, 1970. – 319 с.
2. **Арсентьев А.И.** Развитие методов определения границ карьеров. / **А.И. Арсентьев, А.К. Полищук** // Л.: - Наука, 1967.
3. **Ржевский В.В.** Проектирование контуров карьеров. / **В.В.Ржевский.** – М.: - Металлургиздат, 1956.
4. **Хохряков В.С.** Проектирование карьеров. / **В.С.Хохряков** – М.: - Недра, 1980.
5. **Близнюков В.Г.** Определение главных параметров карьера с учетом качества руды. / **В.Г. Близнюков** – М.: Недра, 1978. – 151 с.
6. Определение перспективных границ и производительности Первомайского карьера ПАО «СевГОК»: Отчет о НИР (заключит. Том I) // Академия горных наук Украины. № ГР 0115U002577. - Кривой Рог, 2014.- 93 с.
7. Определение перспективных границ карьера, обеспечивающих конкурентоспособность железорудной продукции Полтавского ГОКа: Отчет о НИР (заключит. ) // Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет». № ГР 011U003099.-Кривой Рог. 2014.-115 с.
8. **Близнюков В.Г.** Исключение субъективных факторов при определении конечных контуров железорудных карьеров в составе ГОКов / **Близнюков В.Г., Баранов И.В., Савицкий А.В.** // Вісник Криворізького національного університету: Кривий Ріг: КНУ, 2012. - Вип. 31. - С.3-6.
9. **Близнюков В.Г.** Совершенствование методов определения границ карьеров / **Близнюков В.Г., Баранов И.В., Савицкий А.В.** // Гірничий вісник. - Кривий Ріг: КНУ, 2015. - Вип. 99. - С.3-9.
10. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с открытым способом разработки месторождений полезных ископаемых, К.: - Министерство промышленной политики Украины, 2007.
11. Научно-исследовательская работа «Определение рациональной стратегии развития транспортной схемы Первомайского карьера ПАО «СЕВГОК».- «МИ-ЦЕНТР», г. Кривой Рог, 2013.

Рукопись поступила в редакцию 04.04.16

УДК 697.34

О.В. ГЕРАСИМЧУК, канд. техн. наук, В.П. ГОНЗУЛЬ, старший викладач,  
О.І. КОВАЛЕЦЬ, магістр, М.О. НАУМОВА, студентка,  
Криворізький національний університет

## АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ПРИ ОБГРУНТУВАННІ РОБОТИ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

У роботі розглянуто питання можливості підвищення надійності роботи системи теплопостачання за трьома основними методами: підвищенням надійності окремих елементів системи; застосуванням технічно обгрунтованого режиму роботи системи в цілому або її окремих ділянок; резервуванням елементів системи. Не зважаючи на актуальність і важливість вказаної проблеми на теперішній час не існує єдиної методики визначення надійності теплових мереж, а підходи до класифікації показників надійності відрізняються один від одного. В той же час, надійність будь якої мережі теплопостачання в значній мірі залежить від якості виконання робіт ще на стадії проектування. І в цьому плані, важливу роль може відіграти застосування сучасних програмних комплексів, які дозволяють моделювати роботу системи з урахуванням багатьох заданих чинників, які впливають на її безвідмовну роботу. Одним з таких програмних комплексів є програма «СТАРТ», яка знайшла своє застосування в ДП «Кривбаспроект». Зважаючи на те, що при ручних розрахунках, параметри системи визначались на окремих ділянках і не враховувалась робота системи в цілому, застосування чинного і подібних до нього програмних комплексів може стати обов'язковою умовою при проектуванні теплових мереж з вищим рівнем надійності.

**Ключові слова:** системи теплопостачання, трубопроводи, проектування, надійність, методика, програмний комплекс.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами.** Основне призначення будь-якої системи теплопостачання полягає в забезпеченні споживачів необхідною кількістю теплоти потрібної якості; не допускати ситуацій, небезпечних для людей та зовнішнього середовища. В залежності від розташування джерела теплоти по відношенню до споживачів, системи теплопостачання поділяють на децентралізовані і централізовані. В залежності від ступеня централізації системи централізованого теплопостачання часто ділять на наступні чотири групи: *групове* - теплопостачання від одного джерела групи будівель; *районне* - теплопостачання від одного джерела декількох груп будівель (району); *міське* - теплопостачання від одного джерела декількох районів; *міжміське* - теплопостачання від одного джерела декількох міст. Централізовані системи є більш вразливими з огляду на рівень надійності порівняно з децентралізованими. Підвищення надійності системи теплопостачання повинно бути забезпечено за трьома основними методами: підвищенням надійності окремих елементів системи; застосуванням технічно обгрунтованого режиму роботи системи в цілому або її окремих ділянок; резервуванням елементів системи.

Відомо, що в зимовий опалювальний період, особливо при значному зниженні температури навколишнього середовища, температура і тиск у мережах досягають максимальних значень, тому ймовірність аварійних ситуацій збільшується. В результаті будинок, або навіть цілий квартал чи район (у разі розриву магістралі) залишаються без тепла. Особливо небезпечними є довготривалі постійні витоки, що призводять до розмиву ґрунту під дорожнім покриттям і раптового утворення провальних воронки, в які нерідко провалюється техніка або навіть гинуть люди [1].

**Аналіз досліджень та публікацій.** Залежно від виду методів, заходи, що гарантують високу надійність теплопостачання поділяють на два типи: пасивний та активний.

До пасивних заходів належать: контроль за випуском якісного обладнання, матеріалів, деталей систем; застосування технічно обгрунтованого режиму роботи системи в цілому або її окремих ділянок, що можливе вже на стадії проектування [2]; резервуванням елементів системи (можливе резервування вразливих, або надважливих ділянок, котелень, насосних станцій); підвищення надійності окремих елементів системи; вибір схеми, яка навіть під час виходу її частини зі строю гарантуватиме безперебійне постачання теплової енергії (схеми можуть бути закріплені або тупикові).

До активних заходів належать: об'єктивна оцінка можливих ризиків; підготовка аварійних планів; освіта працівників; якісне обслуговування елементів системи; постійний моніторинг

можливих пошкоджень; техніка безпеки на всіх етапах; захист обладнання системи від неприпустимих змін тиску в перехідних і після аварійних гідравлічних режимах; вчасний ремонт, заміна елементів трубопроводів та ін.

**Постановка задачі.** Велика протяжність мереж, особливості їх функціонування та експлуатації сприяють застосуванню високопродуктивних методів контролю їх стану. Основне завдання при цьому не зводиться до виявлення тільки аварійних ділянок. Як правило, у разі розриву теплотраси, такі місця досить швидко виявляються системами параметричного контролю і швидко локалізуються з подальшим прийманням відповідних заходів. Набагато важливіше прогнозувати розвиток аварійних ситуацій з тим, щоб попередити важкі, а іноді й трагічні наслідки. Так як робота теплопроводів залежить від багатьох чинників – необхідно вживати заходи, що гарантують високу надійність систем теплопостачання.

**Викладення матеріалу та результати.** У випадку відмови будь-якого елемента системи теплопостачання виникають невірноважені гідравлічні процеси [3,4]. Як показує досвід експлуатації, такі процеси супроводжуються виникненням тисків, що не допустимі за умовами міцності елементів системи теплопостачання (джерела тепла, теплових мереж, теплоспоживаючих установок).

Невірноважений гідравлічний режим, що визначає перехід гідравлічної системи з одного стаціонарного стану в інший (наприклад після аварійного режиму) називається перехідним гідравлічним режимом [5]. Перехідні гідравлічні режими можуть мати характер гідравлічного удару або квазістаціонарного режиму. Це залежить від інерційних властивостей трубопровідної системи і характеристик збурюючого впливу. Гідравлічні удари характеризуються істотними значеннями миттєвих тисків і викликаються, як правило, аварійним відключенням (включенням) під навантаженням мережевих і перекачувальних насосних агрегатів, несанкціонованим закриттям (відкриттям) запірно-регулюючої арматури, миттєвими розривами теплопроводів, які зумовлюють зниження тиску в окремих точках системи теплопостачання до тиску скипання. Квазістаціонарні режими мають монотонний характер і викликаються тривалими збуреннями, наприклад, плановим закриттям головних засувок при відключенні магістралей. У цих режимах небезпеку, як правило, може викликати кінцевий тиск.

Для обладнання системи теплопостачання становить небезпеку й різке зниження тиску (до тиску скипання теплоносія) і можливість виникнення подальшої нестаціонарної (швидкої) конденсації, що супроводжується значним локальним збільшенням тиску.

Найбільш часто зустрічаються аварійні ситуації такого роду - це кипіння теплоносія за водогрійними котлами джерел тепла при відключенні мережевих насосів і подальша нестаціонарна конденсація (конденсаційні удари) при повторному пуску мережевих насосів або включення резервного насоса. При цьому можливого руйнуванні виникає опіковий травматизм персоналу. До того ж, істотну небезпеку становить зниження тиску в перехідних гідравлічних режимах на всмоктувальних патрубках мережевих насосів до тиску кавітації. Для захисту обладнання систем теплопостачання розроблені і використовуються різні протиударні пристрої та заходи. Найбільше застосування знайшли швидкодіючі скидні пристрої: гідрозатвори-переливи, швидкодіючі скидні клапани, мембрано-запобіжні пристрої.

Вибір захисних пристроїв та заходів в системах теплопостачання необхідно здійснювати на основі розрахункових даних та (або) експериментальних досліджень перехідних гідравлічних режимів, які найчастіше зустрічаються в практиці експлуатації збурюваннях, викликаних відмовами в роботі обладнання систем централізованого теплопостачання.

Згідно з [6] до систем теплопостачання ставляться вимоги щодо надійності функціонування, безпечної експлуатації, екології, енергозбереження тощо.

Надійність - це збереження необхідних якостей елементом або системою у часі [7]. При нормальній експлуатації систем теплопостачання в них має місце повільна зміна параметрів гідравлічних режимів. Наявність в системі теплопостачання великої кількості насосного обладнання, запірно-регулюючої арматури магістральних теплових мереж неминуче супроводжується зростанням верогідності відмови того чи іншого елемента системи [8-15].

Значна витрата теплофікаційної води, високі температури (70-150°C) і тиск (1,5-106 Па) роблять витoki одним з найбільш інтенсивних джерел впливу на навколишнє середовище. Це проявляється в різних видах: тепловому - зміна теплового режиму підземних вод, ґрунтів, верхньої частини ґрунтів; механічному - внаслідок розмивання ґрунтів, які контактують з теп-

лопроводом. При цьому утворюються провальні воронки (техногенна суффозія); хімічному - розчинення карсту порід, зміна хімічного складу підземних вод; гідродинамічному - зміна рівня ґрунтових вод. Важливою частиною якісного обслуговування є періодичний моніторинг стану, в якому знаходяться елементи системи теплопостачання [6,12]. Одним з дистанційних методів, який успішно застосовуються для діагностики стану теплових мереж з 1992 року, є теплова інфрачервона аерозйомка (ТІКАС). Методика зйомки розроблена в ДНВП "Аерогеофізика"[1]. Основними перевагами теплової аерозйомки є висока оперативність і продуктивність, що дозволяє за порівняно короткий час обстежити значні просторово протяжні ділянки.

Не зважаючи на актуальність і важливість вказаної проблеми на теперішній час не існує єдиної методики визначення надійності теплових мереж, а підходи до класифікації показників надійності відрізняються один від одного. Одним з таких програмних комплексів є програма «СТАРТ», яка знайшла своє застосування в ДП «ДП «Кривбаспроект». Програмна система «СТАРТ» (рис. 1) призначена для розрахунку міцності і жорсткості трубопроводів при *статичному і циклічному навантаженні*.

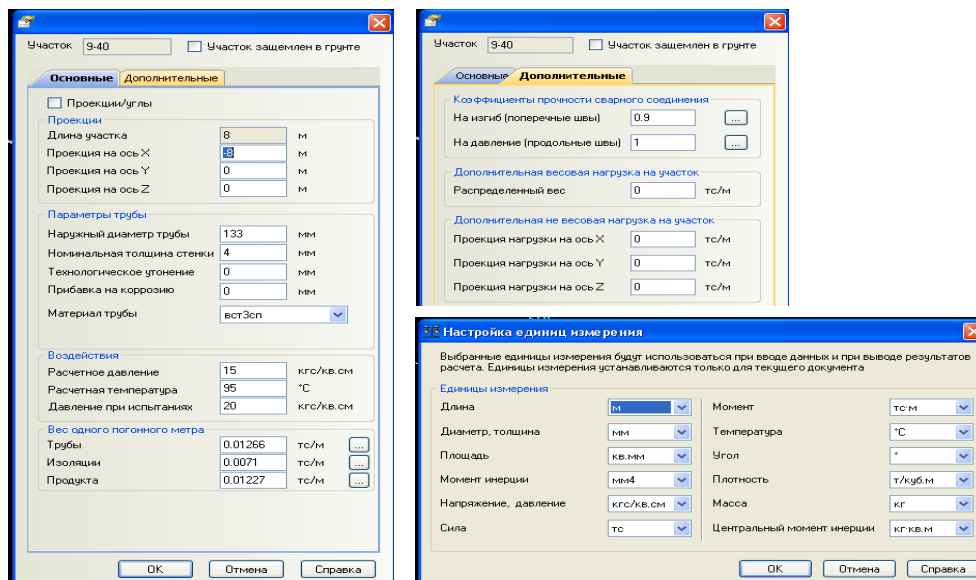


Рис. 1. Інтерфейс програми «СТАРТ» для вводу вихідних даних

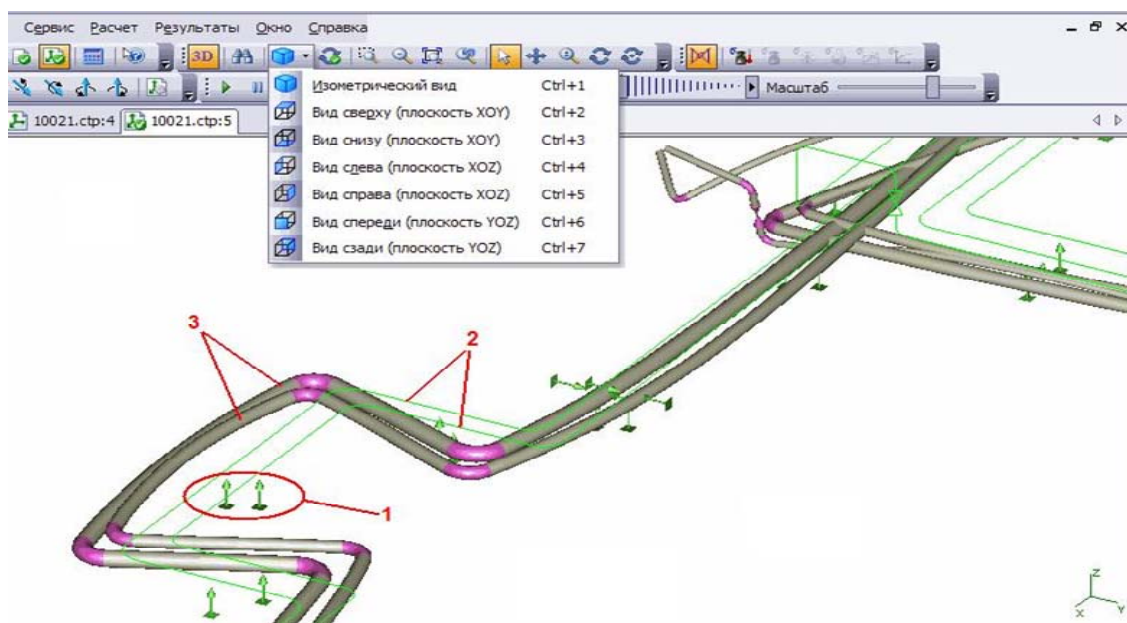


Рис. 2. Графічне відображення результатів розрахунку:

1 - ковзаночі опори; 2 - монтажний вигляд трубопроводу; 3 - деформований трубопровід в побічному стані

За програмою розраховуються як самокомпенсуючі трубопроводи, в яких компенсація температурних розширень забезпечується гнучкістю самої трубопровідної траси, так і трубопроводи зі спеціальними компенсуючими пристроями, виконаними у вигляді хвилястих, лінзових або сальникових компенсаторів (рис. 2).

Вхідними параметрами є: температури монтажу, зовнішнього середовища, теплоносія, його густина; тиск всередині теплопроводу, матеріал з якого його виготовляють, діаметр і товщина стінок; вид і параметри теплоізоляції. Ця програма, після вводу параметрів дозволяє моделювати роботу системи не тільки на окремих ділянках, а й на всій її протяжності.

За її допомогою можна легко спрогнозувати роботу системи в залежності від зміни таких параметрів, як температура теплоносія, температура зовнішнього середовища, тиск всередині системи, вітрові та снігові навантаження тощо.

При цьому, програмою виконується перевірка на міцність окремих елементів теплової мережі, визначаються навантаження на опори, візуалізуються переміщення компенсаторів, вузлів системи з наведенням числових значень відносно всієї координат, виділяються найбільш навантажені та критичні ділянки.

**Висновки.** Зважаючи на те, що при розрахунках вручну параметри системи теплопостачання визначались на окремих ділянках і не враховувалась робота системи в цілому, застосування даного і подібних до нього програмних комплексів може стати обов'язковою умовою при проектуванні теплових мереж з вищим рівнем надійності.

### Список літератури

1. Экономическая эффективность тепловой инфракрасной аэросъемки. Доклад на третьем международном специализированном научно-практическом семинаре "Современные компьютерные технологии в эксплуатации систем теплоснабжения". Интернет-сайт АО «ГНПП Аэрогеофизика». <http://aerogeo.ru/>
2. Heat supply reliability. Heat supply reliability is an important issue for district heating companies (News from DBDH 2/2006). <http://www.veks.dk/en/>
3. Надёжность и энергоэффективность тепловых сетей. Вопросы комплексной защиты оборудования систем теплоснабжения при переходных гидравлических режимах. Журнал «Новости теплоснабжения» №06, 2004 г.; <http://www.nts.ru>
4. **Малявіна О. М.** Статистичне моделювання показників надійності теплопроводів і трубопроводів гарячого водопостачання теплових мереж // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2010. – №12(82). – С.48-54.
5. **ДБН В.2.5-39:2008** Теплові мережі. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди: [Чинні з 2009-07-01]. Офіц. вид. - К.: Мінрегіонбуд України, 2009. - 56 с.
6. **Ионин А. А.** Надёжность систем тепловых сетей / А. А. Ионин – М.: Стройиздат, 1989. – 268 с.
7. **Малявіна О.М.** Класифікація, аналіз і вибір показників надійності теплових мереж [Текст] / О.М. Малявіна // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2014. Вып. 1(119). – С. 18–26.
8. **Родичев Л.В., Каримов З.Ф., Пакшин А.В.** Эффективность применения двухтрубных бесканальных теплопроводов с изоляцией из пенополиуретана // Промышленная энергетика. – 1997. – №12. – С.12-16.
9. **Минич Э.П., Кнотько П.Н.** О повреждаемости тепловых сетей и резервировании источников для тепловых потребителей первой категории // Промышленная энергетика. – 1980. – №5. – С.42-43.
10. **Гришкова А.В., Красовский Б.М., Романова Т.Н. Белоглазова Т.Н.** Надёжность систем теплоснабжения с учетом современных требований к теплотехническим характеристикам здания // Известия вузов «Строительство». – 2001. – №5. – С.73-76.
11. **Умеркин Г.Х., Дроздов С.А., Гончаров А.М., Демиденко Н.Н.** Определение остаточного ресурса тепловых сетей по статистическим данным об авариях // Новости теплоснабжения. – 2007. – №11. – С.42-46.
12. **Лобко О.М.** Методика анализа повреждаемости трубопроводов // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.93. – К.: Техніка, 2010. – С.321-324.
13. **Плавич А.Ю.** Оценка и обеспечение уровня надежности водяных тепловых сетей: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М.: РГБ, 2005. – 17 с.
14. **Лобко О.М.** Методика вибору шагу експлуатації теплопроводів при дослідженні їх пошкоджуваності // Науковий вісник будівництва. Вып.58. – Харків: ХДТУБА, 2010. – С.196-202.
15. **Сазонов Э.В., Кононова М.С.** К вопросу диагностирования состояния инженерных систем // Известия вузов. – 1999. – №6. – С.93-96.

Рукопис подано до редакції 06.04.16

УДК 338.45

О.М. ГОЛИШЕВ, д-р техн. наук, проф.,  
А.О. ГОЛИШЕВ, Д.В. МИХАЛКІВ, старші викладачі,  
Криворізький національний університет

## ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ В УМОВАХ ДЕФЦИТУ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ

Розглянуто напрямки підвищення енергоефективності систем опалення, тепlopостачання, вентиляції в умовах виробничих процесів підприємств гірничо-металургійного комплексу – металургійних і машинобудівних підприємств, фабрик гірничо-збагачувальних комбінатів, сформульовано основні перспективні питання зменшення енерговитрат та розглянуто заходи з використання вторинних енергоресурсів що є побічним продуктом технологічних процесів на промислових підприємствах. Наведено практичні приклади ефективності використання вторинних енергоресурсів для тепlopостачання систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання основних виробничих та допоміжних будівель промислових підприємств, зокрема результати та досвід застосування пластинчастих рекуператорів у складі вентиляційних систем будівлі адміністративно-побутового комплексу гірничо-збагачувального комбінату з наведенням енергетичних показників систем до і після реконструкції, наведено теоретичні розрахунки перспектив зменшення енерговитрат за рахунок використання принципу рекуперації, в тому числі при використанні теплової енергії що є побічним продуктом при роботі компресорних установок. Розроблено рекомендовану послідовність заходів при обґрунтуванні та визначенні вибору напрямку дій щодо підвищення енергоефективності систем теплоспоживання і мікроклімату при забезпеченні нормованих параметрів робочої та обслуговуваної зони і для забезпечення технологічних процесів.

**Ключові слова:** енергоефективність, вторинні енергоресурси, теплоутилізація, рекуперация

Реалії сучасного стану ринку енергоресурсів - підвищення цін на природний газ, електроенергію - зробили оптимізацію споживання енергоносіїв найбільш потужним важелем для прийняття рішень на користь потреби негайного застосування заходів енергозбереження, результатом якого є зменшення собівартості продукції та витрат на підтримання мікроклімату промислових та цивільних будівель.

На сьогодні потенціал енергозбереження – насамперед зменшення витрат теплової енергії – є практично нереалізованим не тільки на об'єктах комунальної та житлової сфери, а й на більшості об'єктів промислового призначення. Так, практично всі підприємства мають джерела високотемпературних та нагрітих викидів і скидів, градирні отепленої води технологічних процесів, ця енергія скидається сьогодні в атмосферу та поверхневі води, в той же час – це найбільш потужне потенційне джерело вторинних енергоресурсів що може значно зменшити потребу підприємств в тепловій енергії. Використання вторинних енергоресурсів на даний час є реальною необхідністю, в тому числі згідно вимог [1-4].

Основними джерелами вторинних енергоресурсів на підприємствах гірничо-металургійного комплексу є:

технологічні та вентиляційні викиди попередньо очищеного повітря з високою температурою від промислових печей та теплових апаратів, аспіраційних установок, систем аерації.

скиди отепленої води, яка отримана при охолодженні технологічного обладнання (електросталеплавильні печі та ін.) для зниження її температури в градирнях з використання в замкнутому циклі охолодження з постійним підживленням на різницю, що випаровується.

Головною перепорою на шляху використання насамперед вторинної теплової енергії промислових та вентиляційних викидів є розробка та впровадження у виробництво теплообмінних апаратів, що можуть забезпечити як високу ефективність теплоутилізації, так і достатньо високі експлуатаційні показники при використанні забрудненого повітря з твердими абразивними та газовими домішками, що при конденсації на поверхнях теплообміну та повітропроводах можуть утворювати корозійноактивну агресивну рідину. На даний час теплообмінні апарати з такими експлуатаційними показниками практично відсутні у виробництві і потребують розробки.

Враховуючи значний потенціал високотемпературних викидів та скидів, наведемо деякі розрахункові приклади ефективності застосування вторинних енергоресурсів.

Так, при використанні утилізації теплоти високотемпературних забруднених газів, що отримані внаслідок технологічних процесів обпалу сировини, від промислових сушарок, можна отримати близько 33,4 кВт (50,1 кВт) теплової енергії на кожну 1000 м<sup>3</sup>/год при розрахунковому зниженні температури викидів відповідно на 100 та 150 °С для забезпечення теплопостачання систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання підприємства.

При використанні опаленої води що використовується в процесі охолодження промислового обладнання можливо замість використання охолодження в градирнях застосувати енергоутилізатори з ефективністю до 52 кВт на кожну т/год витрати циркуляційної води для використання на потреби опалення та теплопостачання об'єкту при розрахунковому зниженні температури води на 45°С.

Для приміщень з високою теплонапругою та значною температурною стратифікацією за висотою приміщення для можливості забезпечення нормованих параметрів мікроклімату на робочих місцях можливо застосування спеціальних рішень з утилізацією теплоти видаляє мого вентиляційного повітря.

Альтернативним рішенням, що підвищує ефективність споживання теплової енергії на промислових підприємствах, враховуючи особливості їх планування та розташування є застосування автономного теплопостачання, в т.ч. електричного, відокремлених чи розташованих на великій відстані від центральних котельних об'єктів виробничого та цивільного призначення, цей захід в порівнянні з централізованим при обґрунтованому застосуванні зменшує споживання теплової енергії будівель на 30-70 % враховуючи тепловтрати на магістральних теплопроводах.

При виборі альтернативного джерела теплопостачання можливе обґрунтоване застосування твердопаливних котелень на відновлювальних видах палива – деревина з високою швидкістю росту, що висаджується на невикористовуваних земельних площах підприємства, в такому разі підприємство повністю забезпечується паливом власного виробництва з одночасним використанням незадіяної площі та попередження ерозії ґрунту.

На сьогодні в умовах промислових підприємств також актуальним є впровадження заходів з підвищення ефективності використання теплової енергії на об'єктах адміністративно-побутової інфраструктури, зокрема на будівлях цих комплексів.

Адміністративно-побутові будівлі комплексів гірничо-збагачувальних комбінатів здебільшого виконані за типовими проектами та за на прикладі одного з таких проектів являють собою триповерхові будівлі з розташування на першому поверсі адміністративних приміщень та кабінетів ІТР, роздягальні та душових, медчастини, актового залу, вестибюлю; на другому та третьому поверхах розташовані роздягальні та душові. Будівлі зведено в 70-80рр. минулого сторіччя у відповідності з нормативними документами того часу, тому заходів з енергозбереження в системах опалення та вентиляції не передбачено. Найбільшим споживачем теплової енергії в будівлі адміністративно-побутового комплексу є вентиляція.

Для прикладу наведено результати виконаного проекту з підвищення енергоефективності інженерних мереж будівлі адміністративно-побутового комплексу одного з гірничо-збагачувальних комбінатів Кривого Рогу. Розмір будівлі складає 18×84 м в осях.

Розрахунковий повітрообмін будівлі з наведеними вище розмірами та складом приміщень за існуючим проектом з прямою вентиляцією становить близько 54000 м<sup>3</sup>/год.

Розрахункова теплова потужність в умовах існуючих систем становить:

вентиляція -812 кВт;

опалення - 384 кВт.

За результатами виконання попередніх вимірювань температура повітря що видаляється витяжними системами з приміщень душових становить 34-36°С, відносна вологість близько 100 %.

При плановій реконструкції систем вентиляції за рахунок встановлення сучасних припливно-витяжних вентиляційних установок з пластинчастими рекуператорами - теплоутилізаторами, обґрунтування доцільності застосування яких було виконано авторами, необхідна теплова потужність на нагрів вентиляційного повітря фактично була зменшена до 254 кВт, що становить 31 % від попередньої встановленої теплової потужності. Фактично, тільки за рахунок використання вторинних енергоресурсів (теплоти видаленого повітря) енергоспоживання будівлі було зменшено загалом на 47 % порівняно з попередніми технічними показниками.

При цьому на рівні капітальних вкладень здоров'я задля встановлення енергоефективної системи вентиляції відбулося тільки за рахунок встановлення енергоутилізатора-рекуператора.

Одним з перспективних напрямків підвищення енергоефективності та зменшення використання палива для забезпечення потреб опалення, теплопостачання, гарячого водопостачання є використання теплоти яка утворюється внаслідок роботи механізмів, що безпосередньої забезпечують виконання робочих процесів на виробництві. Зокрема, на сьогодні основним з таких напрямків є використання теплової енергії, що виділяється при роботі компресорів, які виробляють стиснене повітря для виконання технологічних процесів та роботи обладнання. При використанні компресорів з олійним охолодженням або компресорів сухого стискання температура охолоджуючої рідини або повітря складає близько  $+78\div+83^{\circ}\text{C}$ , за умови чого при встановленні в компресор спеціального проміжного пластинчастого теплообмінника можливо підготувати теплоносії (вода або повітря) з робочою температурою подачі близько  $+55\div+60^{\circ}\text{C}$ . Враховуючи практично постійний багатозмінний режим роботи компресорного обладнання на підприємствах за рахунок теплоутилізації таких вторинних енергоресурсів можливо зменшення теплоспоживання на 40-100 % за рахунок повного заміщення теплоти необхідної для систем опалення та теплопостачання вторинними тепловими ресурсами від роботи компресорного обладнання. При цьому можливо використовувати два типи теплоутилізаторів-рекуператорів в залежності від конструктивного виконання компресорів та особливостей приміщень або об'єктів-теплоспоживачів:

Використання пластинчастих теплообмінників типу «олія-вода». Застосовуються для компресорів олійним охолодженням при можливості встановлення зазначено типу рекуператору безпосередньо в корпус компресора - монтаж виконується в заводських умовах з наступним транспортуванням на об'єкт вже зібраного компресора з теплоутилізатором. Практика встановлення такого типу теплоутилізаторів на сьогодні впроваджена у виробництво провідних світових виробників і компресор може бути укомплектований рекуператором згідно рішення замовника.

Застосування повітряних теплоутилізаторів –рекуператорів. Використовується при необхідності встановлення саме системи повітряного опалення будівлі або при конструктивних складностях застосування першого варіанту, наприклад, можливість замерзання системи опалення та ін. Зазначений спосіб не є типовим, потребує в кожному випадку відповідного розрахунку і складання проекту з підвищення енергоефективності та узгодження з виробником обладнання.

При визначенні та виборі напрямку дій щодо підвищення енергоефективності систем теплоспоживання, мікроклімату та забезпечення нормованих параметрів технологічних процесів першочерговим є виконання робіт з поглибленого енергоаудиту на підприємствах та виконання дослідних робіт по виборі та обґрунтуванню ефективності проектних і конструкторських рішень з енергозбереження і підвищення енергоефективності для систем опалення, вентиляції, аспірації, тепло- та газопостачання при будівництві, реконструкції та технічному переоснащенні об'єктів за такими питаннями:

Проведення поглибленого енергоаудиту будівель з докладним аналізом функціонування систем опалення, вентиляції, кондиціонування, аспірації, тепло- та холодопостачання як найбільш енерговитратних статей енергетичного балансу.

Проведення аеродинамічних та теплотехнічних вимірів та досліджень з виконанням аналізу ефективності роботи систем аспірації, вентиляції, кондиціонування при їх паспортизації та у складі пуско-налагоджувальних робіт для виявлення перспективних напрямків з підвищення енергоефективності.

Розробка заходів з енергозбереження та підвищення енергоефективності систем опалення, вентиляції, кондиціонування, аспірації, тепло- та холодопостачання шляхом надання обґрунтування щодо застосування сучасних технічних засобів та заходів в інженерних мережах [5-9].

Розробка заходів з використання вторинних енергоресурсів в системах з високотемпературними і нагрітими промисловими викидами та скидами відповідно до параметрів і особливостей технологічного процесу для забезпечення теплопостачання систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання підприємства.



використання опаленої води що використовується в процесі охолодження промислового обладнання (плавильні печі та ін.) для потреб опалення та теплопостачання об'єкту;

використання теплоти високотемпературних і нагрітих запиленних технологічних і вентиляційних газів що отримані внаслідок технологічних процесів обпалу сировини, промислових сушарок тощо;

використання теплової енергій, що є побічним продуктом роботи компресорних установок стисненого повітря.

Обґрунтування вибору виду палива та теплогенераторів при проектуванні автономного теплопостачання окремих об'єктів виробничого та цивільного призначення при відсутності чи відмові від централізованого теплопостачання.

**Висновки.** Відповідно до наведеного можна зробити висновок, що на даний час підприємства гірничо-металургійного комплексу України мають велику потребу та значний потенціал зменшення споживання теплової енергій за рахунок використання теплоти джерел високотемпературних та нагрітих викидів і скидів, що практично не використовується через відсутність ефективних технологій та теплообмінних апаратів, які можуть забезпечити високу ефективність теплоутилізації та достатні експлуатаційні показники. Крім того, при визначенні та виборі напрямку дій щодо підвищення енергоефективності систем теплоспоживання, мікроклімату та забезпечення нормованих параметрів технологічних процесів обов'язковим є виконання робіт з поглибленого енергоаудиту та виконання науково-дослідних робіт з вибору та обґрунтування ефективності проектних і конструкторських рішень за напрямком «Енергозбереження і підвищення енергоефективності» для систем опалення, вентиляції, аспірації, тепло- та газопостачання при будівництві, реконструкції та технічному переоснащенні об'єктів.

#### *Список літератури*

1. Закон України «Про енергозбереження» №74/94-ВР, 1994.
2. Енергетична стратегія України на період до 2030 року (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. N 145-р)
3. ДБН В 2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. – К.: Мінрегіонбуд України, - 2013 - 141 с.
4. ДСТУ 2804-94 Енергобаланс промислового підприємства. Загальні положення. Терміни та визначення.
5. **Богуславский Л.Д., Ливчак В.И.** Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. М.: Стройиздат, 1990.624с
6. **Кудинов А.А., Антонов В.А., Алексеев Ю.Н.** Энергосбережение в газифицированных котельных установках путем глубокого охлаждения продуктов сгорания // Теплоэнергетика. 2000. № 1. С. 59-61.
7. **Нимич Г.В., Михайлов В.Н.** Современные системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Учеб.пособие, К.: 2003. - 630 с.
8. **Кудинов А.А.** Тепло- и массообмен в конденсационных теплоутилизаторах поверхностного типа // Энергосбережение. Ульяновск: Изд-во «Пресса», 1999. Выпуск № 2. С 67-70.
9. **Богуславский А.Д.** Снижение расхода энергии при работе систем отопления и вентиляции. - 5-е изд. М. : Стройиздат, 1985.-336 с.

Рукопис подано до редакції 22.03.16

УДК 621.874

С.І. САХНО, Л.О. ЯНОВА, О.В. ПИЩИКОВА, кандидати техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет.

## **ОСОБЛИВОСТІ БЕЗАВАРІЙНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ СУЧАСНИХ МОСТОВИХ КРАНІВ**

Розглянуто вплив механічних характеристик сучасних високоміцних сталей і методів розрахунку із застосуванням САПР на надійність металевих конструкцій мостових кранів. Однією з основних причин аварій кранових конструкцій є крихке руйнування. Повторно-змінні навантаження створюють можливість появи прихованих тріщин втомного характеру, які потім призводять до крихкого руйнування. Імовірність крихкого руйнування в значній мірі залежить від матеріалу, що застосовується при створенні кранової конструкції і методів розрахунку, що застосовуються при проектуванні даних конструкцій. У сучасній практиці для виготовлення кранів прийнято застосовувати високоміцні сталі. Сучасні технології дозволяють отримати сталі з межею пластичності до 1100МПа. Застосування сучасних високоміцних сталей дозволяє досягти суттєвого економічного та екологічного ефекту. Але при всіх позитивних якостях високоміцні сталі більш схильні до утворення тріщин при роботі в умовах повторно-змінних наван-

тажень. Ще однією особливістю сучасних кранів є те, що для їх розрахунку використовуються системи автоматизованого проектування. Застосування САПР при проектуванні конструкцій дозволяє використовувати сталь на межі її міцності. У поєднанні із застосуванням високоміцних сталей, це дозволяє значно знизити металоємність конструкції, але, одночасно, істотно підвищує ризик утворення тріщин в проблемних зонах крана. В умовах, коли матеріал працює на межі механічних можливостей, на надійність конструкції може вплинути навіть незначне зменшення площі перетину при одноосовому розтягненні матеріалу. Для мінімізації впливу розглянутих факторів на безпечну експлуатацію металевих конструкцій мостових кранів в роботі запропоновано ряд рекомендацій.

**Ключові слова:** мостовий кран, утворення тріщин, високоміцна сталь, САПР, надійність конструкції крану.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Крани є невід'ємною частиною вантажно-розвантажувальних і складських робіт. У цехах підприємств, складах, портах найбільшого поширення набули мостові крани, за допомогою яких проводиться підйом і опускання важких вантажів, а також їх переміщення. Застарілий парк підйомних машин поступово змінюється сучасною технікою. Сучасні технології виробництва є дуже складними та просунутими і відповідно базуються на використанні комплексу складних машин. Ці машини вимагають величезних фінансових коштів, для закупки, експлуатації та обслуговування. Тому вкладаючи ці кошти, користувач сподівається на тривалу і безпроблемну експлуатацію.

Довговічність і надійність кранів - основна вимога при їх експлуатації. Надійність крана, перш за все має на увазі надійність його металевої конструкції. Крани з високою надійністю конструкції дозволяють в повній мірі виконувати в заданий термін необхідні обсяги робіт. Такі крани забезпечують безпечні умови праці для машиніста і обслуговуючого персоналу. В зв'язку з цим надійність металоконструкцій кранів має як економічний так і соціальний ефект. Дослідження надійності кранових металоконструкцій є актуальними особливо в зв'язку з застосуванням нових конструкційних матеріалів та нових методів розрахунку конструкцій.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Питаннями надійності і безпеки, оцінки і прогнозування технічного стану механічних систем, в тому числі і металевих конструкцій кранів займалися - В.В. Болотін [1], В.І. Брауде [2], М.М. Гохберг [3], С.А. Казак [4], А.А. Короткий [5], В.С. Котельников [6], А.Н. Орлов [7], Н.Н. Панасенко [8], В.И. Сероштан [9], С.А. Соколов [10], К.В. Фролов [11], і ін. Висновки і рекомендації наведені в даних роботах ґрунтуються на дослідженнях і досвіді експлуатації кранових конструкцій виготовлених з конструкційних матеріалів і розрахованих за методами застосовуваних у відповідні періоди часу. Однак, у зв'язку з бурхливим розвитком технологій, в даний час відбувається суттєве оновлення як використовуваних в кранових конструкціях матеріалів, так і методів розрахунків металоконструкцій. Особливістю сучасних мостових кранів є те, що для виготовлення їх металевих конструкцій використовуються високоміцні сталі, а розрахунки здійснюються із застосуванням систем автоматизованого проектування і методу кінцевих елементів.

**Постановка завдання.** Основною ціллю дослідження є визначення особливості впливу на надійність кранових металоконструкцій застосування сучасних високоміцних сталей спільно з застосуванням систем автоматизованого проектування.

**Викладання матеріалу та результати.** Однією з основних причин аварій кранових конструкцій є крихке руйнування [12]. Як правило, крихке руйнування відбувається за рахунок тріщиноутворення в місцях локалізації пружно-пластичних деформацій, що в свою чергу відбувається в місцях концентрації напружень. Основний фактор, що сприяє крихкому руйнуванню - температура експлуатації. Зі зниженням температури стійкість металоконструкції знижується. Виникненню тріщин сприяють і ударні короточасні навантаження, які ускладнюють розвиток пластичних деформацій в зоні концентраторів. Повторно-змінні навантаження створюють можливість появи прихованих тріщин втомного характеру, які потім призводять до крихкого руйнування. Імовірність крихкого руйнування в значній мірі залежить від матеріалу, що застосовується при створенні кранової конструкції і методів розрахунку, що застосовуються при проектуванні даних конструкцій. Розглянемо кожний фактор окремо.

*Особливості застосування високоміцних сталей*

До останнього часу для виробництва металоконструкцій кранів найбільш поширеною була сталь Ст3, яка має досить високі механічні властивості, пластичність, гарну зварюваність і не піддається загартуванню. Для металоконструкцій кранів великої вантажопідйомності, а також кранів північного виконання застосовувалися низьколеговані сталі (09Г2С, 10ХСНД, 15ХСНД та ін.), що мають в порівнянні зі сталлю Ст3 більш високі механічні властивості, підвищену стійкість проти атмосферної корозії і меншу холодноламкість (табл. 1, рис. 1).

Механічні характеристики сталей, що застосовуються при виробництві металоконструкцій мостових кранів

Група міцності	Марка сталі	Межа плинності МПа	Межа міцності, МПа	Відносне подовження, %
Звичайної	ВСт3пс; ВСт3сп	185-285	365-390	25-27
Підвищеної	09Г2С, 10ХСНД, 15ХСНД	295-390	430-540	19-20

Застосовувані при виробництві вітчизняних кранів сталі мають виражений майданчик плинності (рис. 1). У ряді випадків це дозволяє компенсувати помилки в конструюванні металоконструкцій.

За рахунок плинності та високої деформативності у проблемних зонах з високою концентрацією напружень метал тече, перерозподіляючи тим самим напругу по всьому елементу конструкції.

Для традиційних сталей характерна велика ударна в'язкість і висока енергія тріщиноутворення, що попереджає раннє утворення тріщин внаслідок втоми металу. Дані метали досить добре поведуться при низьких температурах.

У сучасній практиці для виготовлення кранів прийнято застосовувати високоміцні сталі. Застосування високоміцної листової сталі викликано наступними причинами [13]:

економічні: за рахунок збільшення міцності сталі можуть бути зменшені перетини та розміри конструктивних елементів.

Це може істотно зменшити витрати на виготовлення і монтаж конструкції;

дизайн: розмір конструктивних елементів може бути зменшений, що дозволяє створювати елегантні та естетичні конструкції, які краще вписуються в навколишнє середовище;

екологія: застосування меншої кількості сталі означає скорочення споживання обмежених ресурсів.

Відомі два шляхи підвищення міцності сталі: легування і термообробка.

За рахунок введення легуючих добавок міцність сталі може бути підвищена досить легко.

Але, при цьому погіршуються технологічні характеристики металу, такі як зварюваність, ковкість і т.і. Термічна обробка впливає на мікроструктуру і розмір зерна.

Основна перевага цього способу полягає в досягненні дрібнозернистої структури, що призводить до більш високої міцності, а також кращої ударної в'язкості матеріалу.

Тому при розробці нових марок сталі особлива увага приділяється термічній обробці.



Рис. 1 Діаграма розтягування сталей 1 ВСт3сп; 2 09Г2С; 3 високоміцні сталі

Для листового металу міцну сталь отримують шляхом звичайної гарячої прокатки, з наступною нормалізацією - нагріванням вище точки фазового переходу (температура при якій ферито-перлітна структура повністю переходить в аустенітну) з подальшим повільним охолодженням, що приводить до тонкої і однорідної зернистої структури.

Даний процес може бути замінений нормалізуючою прокаткою, що призводить до

аналогічного результату.

Фактично, на першому етапі отримують міцну мартенсітову або бейнітову структуру зерна, міцність якої значно поліпшується в процесі термообробки.

Крім цього, для досягнення кращого балансу між міцністю і ударною в'язкістю сталь легують мікролегуючими елементами (ванадієм, титаном, ніобієм), що формують дрібнозернисті карбонітриди.

На сьогодні дана технологія дозволяє отримати сталі з межею плинності 1100 МПа, але стандартом регламентуються лише сталі з межею плинності до 960 МПа.

У сучасному кранобудуванні серед високоміцних сталей найбільш поширеною є сталь S690Q, що має межу плинності 690 МПа (табл. 2).

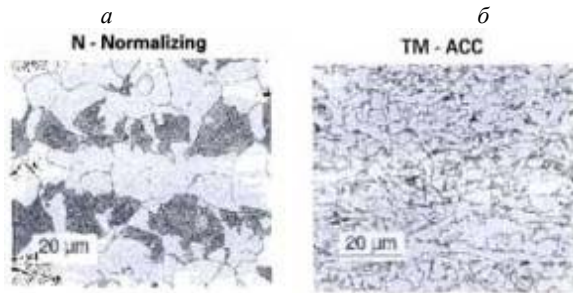


Рис. 2 Різниця в структурі звичайної –а і високоміцної –б сталі

Але поряд з явними перевагами, високоміцні сталі мають ряд недоліків. Перш за все, дані сталі відрізняються відсутністю майданчику плинності (рис.3) [12]. У зв'язку з цим точно вказати напруження, при якому виникають пластичні деформації практично неможливо. Як уже зазначалося, при застосуванні традиційних сталей, в місцях постійної концентрації напружень спостерігається повзучість металу, що призводить до перерозподілу напружень всередині небезпечної ділянки і, в кінцевому підсумку підвищення надійності конструкції. Для високоміцних сталей даний процес ускладнений і локальні концентрації напружень провокують утворення тріщин.

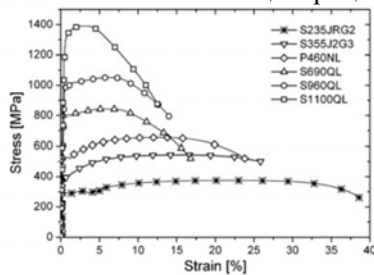
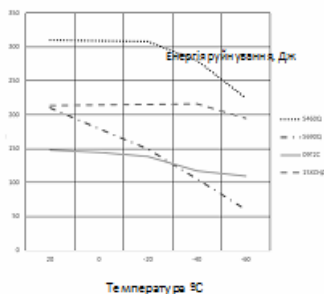


Рис. 3 Діаграма розтягування високоміцних сталей

Іншим недоліком високоміцних сталей є істотне зниження ударної в'язкості при зниженні температури навколишнього середовища [14] (рис.4).

В умовах експлуатації України, де температура повітря інколи знижується до  $-30$  градусів даний недолік досить вагомий. Адже при зниженні температури значно збільшується ризик тріщиноутворення і крихкого руйнування.

Рис. 4 Залежність ударної міцності високоміцних сталей від температури



Крім перерахованих недоліків, можна виділити ще декілька.

Для елементів кранових конструкцій, що працюють в умовах циклічних навантажень, ключовим параметром надійності є запобігання утворення тріщин. Високоміцні сталі в цьому сенсі не є кращими матеріалами. Дослідження [15] показали, що склад і структура високоміцних сталей роблять їх схильними до утворення тріщин.

З огляду на те, що підвищення міцності сталі досягається насамперед за рахунок поліпшення її мікроструктури, термічний вплив на метал при зварюванні може викликати істотне погіршення його механічних характеристик [16]. Крім того, в місцях зварювання можливе утворення концентраторів напружень.

#### Особливості застосування автоматизованих систем проектування

Для розрахунку кранів в різні періоди часу застосовували два методи розрахунку: по напрузі, що допускається (The allowable stress method) і за граничними станами (The limit state method) [17]. Перший метод заснований на припущенні, що появи граничного стану за міцністю, стійкістю форми і положення, довговічності і т.і. можна запобігти, підбираючи відповідний коефіцієнт запасу (коефіцієнт безпеки). Однак для розрахунку кранових конструкцій даний метод не отримав широкого поширення через недоліки, що обумовлюють його протиріччя з сучасними вимогами кранобудування.

Відповідно до методу розрахунку за граничними станами замість єдиного коефіцієнта запасу міцності, що застосовувався раніше використовується кілька, які враховують особливості роботи конструкції, незалежних коефіцієнтів, кожен з яких має певний внесок в забезпечення надійності конструкції і гарантії від виникнення граничного стану.

Найбільш повно і послідовно метод розрахунку за граничними станами реалізований в міжнародному стандарті ISO 2394 [18], в якому визначено загальні принципи оцінки та підтвердження надійності конструкцій стосовно їх роботи протягом життєвого циклу.

Однак і метод граничних станів має свої недоліки. Перш за все це неясність у визначенні загального запасу міцності конструкції в цілому, ускладнення в зіставленні розрахункових величин з експериментальними даними. [19]

При розрахунку конструкцій як методом допустимих напружень, так і методом граничних станів конструктор завжди обмежений ступенем розвитку інженерних наук, а глибина і точність розрахунку обмежується наявністю обчислювальних потужностей. Дані обмеження змушували розробляти конструкції з великим запасом міцності, що поряд з підвищенням запасам надійності призводило до підвищення металоємності машин.

Сучасні методи розрахунків застосовані на використанні систем автоматизованого проектування. Практично всі сучасні розрахунки на міцність проводять, використовуючи метод кінцевих елементів. В останні десятиліття він зайняв провідне становище і набув широкого застосування [20]. Сучасні програми здатні врахувати відмінність в роботі зварних, болтових і клепанних з'єднань. Вони можуть розрахувати деформації конструкцій і їх власні частоти коливань.

Сучасні методи проектування дозволяють проектувальникам використовувати сталь на межі її міцності. Але сучасні технології виготовлення кранів не встигають за технологіями виробництва сталі та новітніми методами проектування. Крім того, було б справедливо сказати, що при проектуванні не завжди приділяють належну увагу дрібним деталям і, часом, помилки проектування приводять до погіршення надійності машини.

До помилок при проектуванні призводить і те, що як застосовували раніше, так і сучасні методики розрахунку металевих конструкцій виходять з того, що товщина металу конструкції в процесі експлуатації не змінюється. Однак навіть при одноосьовому розтягуванні елемента конструкції товщина металу буде зменшуватися. За рахунок цього в розтягнутому перерізі при незмінних навантаженнях напруження буде додатково збільшуватися. При цьому граничні розтягування  $\varepsilon_f$  можуть бути виражені через мінімально допустиму товщину  $\varepsilon_r$  металу конструкції [21]

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_f}{1 + \varepsilon_f} \quad (1)$$

Використання цих відносин засноване на тій умові, що деформація металу обмежена в поперечному напрямі і загальний обсяг металу залишається постійним.

При використанні традиційних методів розрахунку, що передбачають великий запас міцності, на зменшення товщини перетину можна не звертати уваги, але застосування методу кінцевих елементів передбачає мінімізацію витрати металу і тому зменшення товщини металу в процесі розтягування може зіграти негативну роль.

#### *Тріщиноутворення при роботі конструкцій мостових кранів*

Кранові конструкції працюють в умовах динамічних впливів. Тому в елементах і вузлах конструкцій виникають змінні напруги, які призводять до появи втомних тріщин.

Сучасні технології виготовлення кранів не встигають за технологіями виробництва сталі та новітніми методами проектування. Нові матеріали і нові методи розрахунку не привели до принципової зміни конструкції мостових кранів. Тому і місця утворення тріщин залишилися колишніми. Перш за все це вузли кріплення кутових букс ходових коліс, місця примикання кінцевих балок до головних, місця кріплення навісних елементів до стінок головних балок [22].

Зменшення енергії тріщиноутворення і відсутність майданчика плинності в високоміцних сталях одночасно з мінімізацією перетину конструкції значно підвищує ризик утворення тріщин в небезпечних зонах. Тому тріщини можуть утворюватися набагато раніше, ніж в кранах, виготовлених за старими методами. Це, а також особливості зварювання високоміцних сталей може привести до певних проблем при експлуатації сучасних мостових кранів.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Викладений матеріал дозволяє надати ряд рекомендацій при експлуатації сучасних мостових кранів.

Перш за все в процесі експлуатації необхідно суворо дотримуватися температурного режиму експлуатації і не допускати роботу крана при температурах, нижче обумовлених виробни-

ком. Для зменшення ймовірності утворення тріщин в місцях зварювання високоміцних сталей слід дотримуватися наступних основних правил [13]:

перед зварюванням необхідно прогрівати основний лист. Це важливо, як для зварювання прихватками, так і для основного проходу;

зварювані поверхні повинні бути абсолютно чистими і сухими;

мінімізація усадочних напружень досягається хорошим приляганням зварювальних поверхонь і вибором правильної послідовності маршруту зварювання;

необхідно використовувати електроди з низьким вмістом водню;

Важлива умова для забезпечення довговічної безаварійної роботи крана - проведення регулярних оглядів металоконструкцій особливо в зимовий період року і в традиційних місцях утворення тріщин. Подальших досліджень потребує вивчення надійності елементів металоконструкції кранів, що працюють на межі механічних властивостей матеріалу. Важливим також є визначення наскільки тріщина в тому чи іншому місці може бути безпечною і як довго вона не призведе до катастрофічної відмови. Також важливо визначитись, як часто слід ретельно перевіряти критичні області, щоб запобігти руйнувань в результаті втомних напружень.

### Список літератури

1. **Болотин В.В.** Ресурс машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1990. - 448 с. ISBN 5-217-00840-7.
2. **Брауде В.И., Семенов Л.Н.** Надежность подъемно-транспортных машин: Учебное пособие. Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1986. -183 с.
3. **Гохберг М.М., Семенов В.П.** Усталостные разрушения в металлических конструкциях кранов//Тр. ЛПИ. 1954. - Вып. 3. - с. 110-118.
4. **Казак С.А.** Статистическая динамика и надежность подъемно-транспортных машин: Учебное пособие. Свердловск: изд. УПИ, 1987. -86с.
5. Диагностирование грузоподъемных машин / **В.И. Сероштан, Ю.С Огарь, А.И. Головин** и др.; Под ред. В.И. Сероштана, Ю.С Огаря. -М.: Машиностроение, 1992. 192с.
6. **Короткий А.А., Павленко А.Н.** Определение нагруженности мостовых кранов // Известия ТулГУ. Подъемно-транспортные машины и механизмы. Вып.2. Тула: изд. ТулГУ, 1999. - С.212-219.
7. **Котельников В.С.** Оценка безопасности при эксплуатации кранов мостового типа. Диссерт. канд. техн. наук. Новочеркасск. НГТУ, 1998. -153с.
8. **Орлов А.П.** Основы теории динамического расчета грузоподъемных кранов с пространственными канатными подвесами грузов: Дис. докт. техн. наук. Санкт-Петербург, 1993. - 475 с.
9. **Панасенко Н.Н., Дементьева Н.М.** Модели прочной надежности сейсмостойких металлоконструкций подъемно-транспортных машин//Изв. Сев.-Кавказ, науч. центра высш. шк. тех. науки. Ростов н/Д 1987. - 24с.
10. **Соколов С.А.** Методические основы прогнозирования долговечности металлических конструкций грузоподъемных машин: Автореф. дис. докт. техн. наук. Санкт-Петербург, 1995. - 32 с.
11. **Фролов К.В., Махутов Н.А.** Проблемы безопасности сложных технических систем// Проблемы машиностроения и надежности машин. -1992. №5. - с.3-11.
12. **Акименко О.Ю. Логвинов И.Н.** Аварии кранов из-за хрупких разрушений металлоконструкций [Журнал] // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). - Москва : ООО «Евразийское Научное Содружество», 2015 г.. - 10-2 (19). - стр. 75-76.
13. **Steel Oakley High strength steel plate** [В Інтернеті]// Oakley Steel. - 16 июля 2014 г.. - 3 апреля 2015 г.. - <http://www.oakleysteel.co.uk/high-strength-steel-plate>.
14. **Санников И.И. Коврова Д.Ф., Устинов Е.П.** Исследование ударной вязкости конструкционных сталей и сварных соединений, эксплуатирующихся в условиях крайнего севера [Журнал] // Международный научно-исследовательский журнал. - Екатеринбург : ИП Соколова, 2015 г.. - 6-1 (37).
15. **М. Burzić M. Manjgo, J. Bernetić, Z. Burzić, M. Arsić** Effect of variable load on crack initiation microalloyed steel S690-ql [Журнал] // Metalurgija.: Croatian Metallurgical Society, 2015 г.. - 1 (54). - стр. 55-58.
16. **Н. Ismar Z. Burzic, N. J.Kapor, T. Kokelj** Experimental Investigation of High-Strength Structural Steel Welds Strojniški vestnik [Журнал] // Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering. - 2012 г.. - 6 : #. 58. - стр. 422-428.
17. **В.С. Котельников А.А. Зарецкий, А.Б. Макаров.** Состояние расчетов кранов и основные направления их развития [Журнал] // Информационный бюллетень Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. – М. : 2007 г.. - 28. - стр. 67-75.
18. ISO 2394: 1998 (E) General principles on reliability for structures.
19. **В.М. Бондаренко, Д.Г. Суворкин** Железобетонные и каменные конструкции М. Высшая школа, 1987. - с.143
20. **Алямовский А.А.** Solid Works/ Компьютерное моделирование в инженерной практике / **А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов.** - СПб.: БВХ-Петербург. - 2005. - 800 с.
21. **В. Atli-Veltin L. Vredeveldt** Use of Forming Limit Curve as a Failure Criterion in Maritime Crash Analysis [Конференция] // 10th European LS-DYNA Conference. - Würzburg, Germany : 2015.
22. **Концевой Е.М., Розенштейн Б.М.** Ремонт крановых металлоконструкций. М.: Машиностроение, 1979. 206 с.

Рукопис подано до редакції 22.03.16.

УДК 622.14

П.И. ФЕДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., А.В. ПЕРЕМЕТЧИК, канд. техн. наук, доц.,  
Т.А. ПОДОЙНИЦЫНА, старший преподаватель, Криворожский национальный университет

## ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Охарактеризованы виды распределений пространственных переменных, участвующих в процессе прогнозирования качественных показателей железорудных месторождений на основе теории пространственных переменных с использованием вариограммы. Рассматриваются методы оценки вариограммы применительно к геологическим характеристикам месторождения. Отмечается, что построение вариограммы может способствовать уточнению существующих представлений о месторождении, особенно на ранних стадиях геологических исследований. Рассматриваются виды вариограмм в зависимости от характера минерализации месторождения. Описываются вид вариограммы в зависимости от характера зоны влияния пробы в заданном направлении. Устанавливаются типы анизотропии в зависимости от характера вариограмм, построенных в различных направлениях. Отмечается, что дисперсии оценивания могут быть найдены на основе вариограмм. Описываются гипотезы случайных функций, используемых при описании массива на основе теории пространственных переменных. Рассматривается гипотеза универсального крайинга, характеризующая распределение пространственных переменных месторождения, описываемого случайным многомерным геохимическим полем.

Характер распределения пространственной переменной  $H$ , построенной по данным разведки, служит основой для дальнейшей оценки ее достоверности и пригодности. При этом возникает необходимость проверки гипотезы соответствия опытного распределения определенному теоретическому распределению или гипотезе принадлежности двух выборок одной генеральной совокупности.

Наиболее естественный путь сравнения двух значений, например, содержаний  $Z(x)$  и  $Z(x+h)$  в точках  $x$  и  $x+h$ , находящихся на расстоянии  $h$ , заключается в нахождении их разности. Реально нас не интересует знак разности. Поэтому можно ограничиться нахождением абсолютного значения  $|Z(x) - Z(x+h)|$ . Это значение, характеризующее различие между содержаниями в двух частных точках, представляет, однако, не очень большой интерес. Скорее, желательно знать среднее различие между содержаниями во всех парах точек, находящихся на расстоянии  $h$ . Поэтому необходимо найти значение  $E|Z(x) - Z(x+h)|$  для всех возможных точек  $x$  и  $x+h$ . Так как с абсолютными значениями трудно оперировать, лучше находить квадраты разностей, что и приводит к следующей характеризующей различие функции:

$$2\gamma(\vec{h}) = E[Z(x) - Z(x + \vec{h})]^2, \quad (1)$$

которая может быть представлена в виде

$$2\gamma(\vec{h}) = \frac{1}{V} \int_{V_s} [Z(x) - Z(x + \vec{h})]^2 dx, \quad (2)$$

где  $V$  - объем месторождения  $V_s$ .

Функция  $2\gamma(\vec{h})$  и есть вариограмма. Она является функцией векторного аргумента, другими словами, зависит от расстояния и направления. Вариограмма показывает, как в среднем различаются содержания в зависимости от расстояния в заданном направлении или в заданной области пространства. В общем случае определение функции основывается на тройном интеграле, вычисляемом по всему объему месторождения. На практике необходимо оценить этот интеграл по выборочным данным.

Предположим, что имеется всего  $N(\vec{h})$  пар проб, находящихся на расстоянии  $h$ , тогда можно оценить вариограмму с помощью выражения



Рис. 1. Схема нахождения вариограммы по данным, характеризующим пары проб, расположенных на заданном расстоянии

$$2\gamma(\vec{h}) = \frac{1}{N(\vec{h})} \sum_{i=1}^{N(\vec{h})} [Z(x) - Z(x + \vec{h})]^2. \quad (3)$$

Рассмотрим случай, когда пробы расположены вдоль прямой с шагом  $d$  (рис. 1). Всего имеется  $n - 1$  пара для нахождения  $\gamma(d)$ ;  $n - 2$  пары для нахождения  $\gamma(2d)$  и т. д.

Все геологические характеристики, упомянутые ранее, должны находить отражение в свойствах вариограммы. Поэтому ее построение может способствовать уточнению существующих представлений о месторождении, особенно на ранних стадиях геологических исследований.

Непрерывность руд отражается особенностями поведения функции  $\gamma(h)$  при небольших значениях  $h$ . В осадочных месторождениях изменения происходят обычно очень медленно. В результате вариограмма плавно возрастает, начинаясь в нулевой точке. В других случаях минерализация может быть представлена самородками или мелкими гнездами, концентрирующимися в прожилках. Здесь резкие изменения содержания могут происходить на очень небольших расстояниях. В дальнейшем подобного рода явления будем называть «эффектом самородков». Непрерывность может вообще отсутствовать, тогда имеет место вариограмма, где какое бы ни было расстояние между пробами, содержания вообще не зависят друг от друга. Это явление обычно для золоторудных месторождений. Соответствующие функции называются вариограммами с «чистым эффектом самородков».

Естественно охарактеризовать зону влияния пробы в заданном направлении с помощью расстояния, начиная с которого вариограмма окончательно выполаживается. Типичную зону влияния можно видеть на рис. 2. Здесь показана зона влияния протяженностью 60 м на железорудном месторождении.

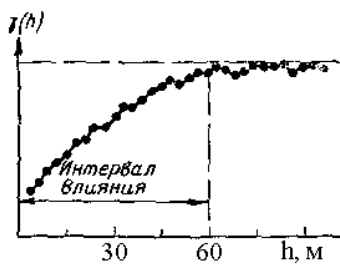


Рис. 2. «Очень хорошая» вариограмма, характеризующая железорудное месторождение по вертикали (интервал влияния равен 60 м)

Заметим также, что в некоторых случаях, чем дальше разнесены пробы, тем сильнее они различаются. Это часто наблюдается в гидротермальных месторождениях.

Когда зона влияния существует, говорят, что вариограмма относится к транзитивному типу.

Анизотропия легко определяется построением вариограмм в различных направлениях. Вариограммы могут считаться идентичными, если непрерывность руд одна и та же во всех направлениях. Такой простейший случай, к сожалению, встречается крайне редко. Более обычная ситуация изображена на рис. 3.

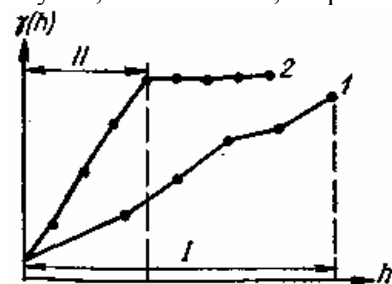


Рис. 3. Вариограммы, отражающие различную изменчивость содержания на железорудном месторождении в горизонтальном (1) и вертикальном (2) направлениях. Интервалы влияния: I – по горизонтали, II – по вертикали

Размеры зон влияния по вертикали и горизонтали на железорудном месторождении сильно различаются. Можно считать, что расстояние по вертикали эквивалентно тому же расстоянию по горизонтали, умноженному на коэффициент анизотропии  $k$ , который в рассматриваемом случае больше единицы. Например, если  $k=3$ , то расстояние 3 м по вертикали эквивалентно расстоянию 9 футов по горизонтали, по крайней мере, в аспекте изменчивости содержания.

Устанавливаются и другие типы анизотропии. Так, в расслоенных залежах общая изменчивость в каком-либо направлении может быть представлена в виде суммы двух независимых составляющих: изотропной компоненты и зональной, которая зависит только от числа пересекаемых слоев. Различия между содержаниями в двух точках определяются в данном случае не только расстоянием между ними, но и положением в расслоенной системе. Заметим, что расслоенность может быть выражена, и не явно. Тогда вариограммы сложно интерпретировать.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что вариограмма отражает все геологические свойства, отмеченные выше. Поэтому резонно сделать вывод, что процедуры оценивания, ос-



нованные на вариограммах, могут привести к получению геологически значимых результатов. Покажем теперь, что и дисперсии оценивания могут быть найдены на основе вариограмм.

Предположим, что требуется определить дисперсию погрешностей оценивания  $\varepsilon_i$ . Пусть  $Z(V_i)$  - точное неизвестное содержание в блоке  $V_i$ ;  $Z^*(V_i)$  - линейная комбинация  $Z^*(V_i) = \sum_{j=1}^n a_j Z(X_j)$  известных содержаний в пробах, отобранных в точках  $X_j$  ( $j = 1, \dots, n$ ).

Тогда

$$\begin{aligned} \text{var } \varepsilon_i = \text{var}[Z(V_i) - Z^*(V_i)] &= \text{var}[Z(V_i)] - \\ &- 2 \text{cov}[Z(V_i), Z^*(V_i)] + \text{var}[Z^*(V_i)] = \text{var}[Z(V_i)] - \\ &2 \sum_j a_j \text{cov}[Z(V_i), Z(X_j)] + \sum_j \sum_k a_j a_k \text{cov}[Z(X_j), Z(X_k)] \end{aligned} \quad (4)$$

Если рассмотреть все дисперсии и ковариации, входящие в это соотношение, то можно понять, что все они находятся на основе вариограммы.

Дисперсия содержаний в блоках  $\text{var}[Z(V_i)]$  зависит от средних различий между содержаниями во всех парах точек внутри блоков. Если это среднее расхождение невелико, дисперсия содержаний в блоках будет также невелика; если расхождение значительное, дисперсия будет большой. Так как различия между содержаниями в точках учитываются при построении вариограммы, резонно утверждать, что дисперсию содержаний в блоках можно найти, основываясь на вариограмме.

Ковариация содержаний в блоках и пробах  $\text{cov}[Z(V_i), Z(X_j)]$  характеризует корреляцию между содержаниями в блоках и пробах. Она равна средней корреляции между содержаниями в точках блоков и в пробах, что учитывается вариограммой. Поэтому можно снова утверждать, что если вариограмма известна, можно найти ковариации.

Ковариация содержаний в пробах  $\text{cov}[Z(X_j), Z(X_k)]$  является частной разновидностью ковариации  $\text{cov}[Z(V_i), Z(X_j)]$ . Известно, что зависимость, точнее, отсутствие зависимости, между содержаниями в парах проб учитывается вариограммой. Более того, ковариация должна быть равна разности между некоторой константой и функцией  $\gamma(h_{jk})$ , если  $h_{jk}$  - расстояние между пробами  $X_j$  и  $X_k$ .

Относительно случайных функций, используемых при описании, вводится ряд предположений.

В геостатистической литературе можно обнаружить три типа допущений.

Гипотеза стационарности случайной функции в широком смысле, редко находящая подтверждение в реальных явлениях, предполагает выполнение двух условий. Во-первых, математическое ожидание пространственной переменной  $Z(x)$  должно быть одно и то же во всей интересующей нас области. Во-вторых, корреляционная функция пространственной переменной  $Z(x)$  зависит только от разности аргументов, для которых взяты ординаты случайной функции.

Следовательно, математическое ожидание

$$E[Z(x)] = m, \quad (5)$$

а ковариационная функция

$$E\{[Z(x) - m][Z(x + \mathbf{h}) - m]\} = K(x, x + \mathbf{h}) = K(\mathbf{h}), \quad (6)$$

где  $\mathbf{h}$  - вектор из пространства  $R^n$ ;  $h$  - длина вектора  $\mathbf{h}$ . Дисперсия случайной функции  $Z(x)$  равна

$$\text{var}[Z(x)] = E\{(Z(x) - m)^2\} = K(\mathbf{0}), \quad (7)$$

т.е. случайная функция имеет конечную ковариацию, когда дисперсия  $\text{var}[Z(x)]$  конечна в каждой точке.

Гипотеза стационарности приращений состоит в следующем. Во многих месторождениях, как показано Криге, конечной дисперсии содержаний не существует. Если же рассматривать вместо содержаний их приращения, то конечная дисперсия существует. Следовательно, рассматривая приращения функции  $Z(x) - Z(x + \mathbf{h})$  вместо самой исходной функции, можно ввести следующие предположения:

$$E[Z(x + \mathbf{h}) - Z(x)] = 0; \quad (8)$$

$$\text{var}[Z(x + \mathbf{h}) - Z(x)] = 2\gamma(\mathbf{h}), \quad (9)$$

где  $\gamma(\mathbf{h})$  – вариограмма случайной функции.

Последнее соотношение представляет собой определение вариограммы. Легко видеть, что оно записывается в виде

$$\text{var}[Z(x + \mathbf{h}) - Z(x)] = E\{Z(x + \mathbf{h}) - Z(x) - E[Z(x + \mathbf{h}) - Z(x)]\}^2$$

и так как

$$E[Z(x + \mathbf{h}) - Z(x)] = 0,$$

то

$$\text{var}[Z(x + \mathbf{h}) - Z(x)] = E[Z(x + \mathbf{h}) - Z(x)]^2. \quad (10)$$

Это выражение совпадает определением вариограммы.

Кроме того, если случайная функция стационарна в широком смысле, она также удовлетворяет данной гипотезе и ее вариограмма определяется соотношением

$$\text{var}[Z(x + \mathbf{h}) - Z(x)] = \text{var}[Z(x + \mathbf{h})] + \text{var}[Z(x)] - 2\text{cov}[Z(x + \mathbf{h}), Z(x)]$$

или, используя ранее введенные определения и деля на 2, имеем

$$\gamma(\mathbf{h}) = K(\mathbf{0}) - K(\mathbf{h}). \quad (11)$$

Вариограмму можно определить следующим образом

$$\text{variogram} = \gamma(\mathbf{h}) = (1/2) \text{var}[Z(x + \mathbf{h}) - Z(x)]. \quad (12)$$

Определенная выше вариограмма относится к переменной  $Z(x)$ , заданной в точках  $x$ . Будем называть такую переменную и ее вариограмму точечными.

Гипотеза универсального крайгинга состоит в следующем.

Третий тип допущений предполагает, что второй момент случайной функции или ее приращений обладает некоторыми свойствами стационарности внутри области ограниченных размеров и что математические ожидания внутри этой области изменяются более или менее регулярно.

Если  $x$  и  $y = x + \mathbf{h}$  взяты в пределах подобной области, то

$$E[Z(x)] = m(x) \text{ или } E[Z(x) - Z(y)] = m(x) - m(y), \quad (13)$$

причем

$$m(x) = \sum_{i=0}^k d_i f_i(x), \quad (14)$$

где  $f_i(x)$  – независимые функции, число которых равно  $k + 1$ ;  $d_i$  – неизвестные числовые коэффициенты. Кроме того,

$$\text{cov} [Z(x), Z(x + \mathbf{h})] = K(\mathbf{h}) \text{ или } \text{var} [Z(x + \mathbf{h}) - Z(x)] = 2\gamma(\mathbf{h}). \quad (15)$$

При принятии гипотез этого (третьего) типа на основе экспериментальных данных необходимо не только определить ковариационную функцию и вариограмму, но и найти размеры области, для которой гипотеза остается в силе, вид функций  $f_i(x)$  и их количество, а также значения коэффициентов  $d_i$ , зависящие от положения области во всем рассматриваемом пространстве.

**Таким образом,** фактически получены результаты, позволяющие описывать случайные функции с несколькими компонентами, имеющими стационарные приращения. Каждая последующая гипотеза обобщает предшествующие.

Точно так же и сама теория пространственных переменных включает все ранее перечисленные случаи.

По сути, гипотеза универсального крайгинга характеризует распределение пространственных переменных месторождения, описываемого случайным многомерным геохимическим полем.

### Список литературы

1. Бондаренко В.Н. Статистические решения некоторых задач геологии. – М.: Недра. – 1970. – 246 с.
2. **Боровко Н.Н.** Статистический анализ пространственных геологических закономерностей. – М.: Недра. – 1971. – 272 с.
3. **Букринский В.А.** Геометрия недр: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985.
4. **Гудков В.М.** Сравнение распределения пространственных переменных. // Маркшейдерский вестник, 1997. – № 1. – С. 8-11.
5. **Давид М.** Геостатистические методы при оценке запасов руд. – Л.: Недра, 1980.
6. **Де Гроот М.** Оптимальные статистические решения. – М.. – 1974. – 481 с.
7. **Девис Дж. С.** Статистический анализ данных в геологии. Книга 1. – М.: Недра. – 1990. – 246 с.
8. **Крамбейн У., Грейбилл Ф.** Статистические модели в геологии. – М.: Мир. – 1969. – 400 с.
9. **Крамбейн У., Кауфмен М., Мак-Кеммон Р.** Модели геологических процессов – М.: Мир. – 1973. – 150 с.
10. **Матерон Ж.** Основы прикладной геостатистики. – М.: Мир, 1982.
11. **Миллер Р.Л., Кан Дж. С.** Статистический анализ в геологических науках. – М.: Мир. – 1965. – 482 с.
12. **Низгурецкий З.Д.** К приложению теории нестационарных случайных функций для оценки результатов геометризации месторождений. – Л.: изд. ВНИМИ. – 1974. – Сб. № 93. – С. 99–113.
13. **Низгурецкий З.Д.** Использование элементов теории случайных функций для оценки точности определения содержания полезного компонента и мощности залежи при геометризации. – Тр. ВНИМИ. – Т. 40. – 1963. – С. 292–311.
14. Krige D.G. A review of development of geostatistics in South Africa // In: Advanced Geostatistics in the Mining Industry. Reidel, Dordrecht, Netherlands. 1976. P. 279-294.
15. **Marechal A., Serra J.** Random kriging // In: D.F. Merriam (Editor), Geostatistics. A Colloquium. Plenum Press, New York. 1970. P. 91-112.
16. **Matheron G.** Kriging or polynomial interpolation procedures. – CIMM Trans., 70. 1967. P. 240-244.
17. **Matheron G.** The intrinsic random functions and their applications. – Adv. Appl. Prob., 5. 1973. P. 439-468.

Рукопись поступила в редакцию 11.04.16

УДК 622.012: 658.5: 622.68

В.А. АЗАРЯН, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет

## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В РУДОПОТОКАХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КАРЬЕРОВ

Рудопоток карьера, стабильность качественных характеристик, система контроля качества, система управления качеством, диапазон колебаний содержания полезного компонента.

Качество конечной продукции ГОКа напрямую зависит от характеристик исходной руды, поступающей на обогащение из карьера, т.е. от рудопотока карьера. Управление качеством в рудопотоках карьеров должно обеспечиваться системой контроля и управления качеством, которая обеспечивает выполнение требований к однородности и допустимому диапазону колебаний содержания полезного компонента железорудного сырья

Средства и системы по контролю качества, разработанные коллективом проблемно-отраслевой лаборатории ГВУЗ «Криворожский национальный университет», охватывают основные этапы производства открытых горных работ и могут быть объединены в систему контроля качества. Достоверная и своевременная информация о содержании полезного компонента позволяет принимать оперативные технологические решения по управлению качеством рудопотока. Управление качеством в рудопотоках карьера обеспечивается путем синергии двух систем: системы контроля и системы управления качеством минерального сырья. Система контроля качества обеспечивает оперативную информацию о состоянии массива во взрывном блоке, во взорванной горной массе и в рудном потоке на конвейере. Система управления качеством позволяет сформировать рудопоток с заданными значениями содержания полезного компонента и построена на принципе применения усреднения в качестве способа управления качеством минерального сырья на основании достоверной и своевременной информации. Системы контроля и управления качеством в рудопотоках, созданная на основе синергии автоматизированной системы диспетчерского управления с автоматизированным рабочим местом (АРМ) «Качество» карьера, позволяет отказаться от операций по прогнозированию и имитационному моделированию.

**Ключевые слова:** рудопоток, система контроля качества.

**Проблема и ее связь с основными научными и практическими заданиями.** Рудопоток – это сформированный путем смешивания из забоев объем руды, перемещающийся по карьерным коммуникациям. Рудопоток является частью внутрикарьерного грузопотока, который характеризуется входными (формирующими) показателями: значением объема отгруженной руды и содержанием полезного компонента из каждого забоя, а также выходными показателями: значением общего объема сформированного рудопотока, динамикой изменения качественных характеристик по верхней и нижней границе допустимого диапазона и средним показателем содержания полезного компонента.

Одной из наиболее актуальных производственных задач в процессе открытой разработки железорудных месторождений была и остается задача формирования внутрикарьерного рудопотока с заданными качественными характеристиками. Показатели качества продукции горно-обогатительного комбината определяют величину отпускной цены на нее и влияют на технико-экономические показатели работы всего предприятия. В свою очередь, качество конечной продукции ГОКа напрямую зависит от характеристик исходной руды, поступающей на обогащение из карьера.[1]

**Анализ исследований и публикаций.** Технологическая эффективность стабилизации качественных показателей рудного сырья доказана исследованиями таких известных ученых, как В. В. Ржевский, Г. Г. Ломоносов, П. П. Бастан, В.Ф. Бызов, С.Я Арсеньев., А.Д. Прудовский, Ю.Е. Капутин, А.К.Порцевский, М.С. Четверик и многих других, а также повседневной практикой работы горно-обогатительных комбинатов.

**Постановка задачи.** Эффективное управление качеством в рудопотоках карьеров должно обеспечиваться системой контроля и управления качеством, одной из основных задач которой является выполнение требований к однородности и допустимому диапазону колебаний качественного состава железорудного сырья. При этом рудопоток всегда будет иметь определенную динамику изменения качества, которая обусловлена неравномерностью распределения содержания полезного компонента по забоям, динамикой изменения содержания по мере отработки месторождения и неритмичностью работы выемочного и транспортного оборудования. При отклонении показателей содержания полезного компонента за границы заданного диапазона, система должна производить корректировку, которая выражается в перераспределении нагрузки на забой.

**Изложение материала и результаты.** На сегодняшний день разработаны и внедрены в производство различные системы, которые имеют элементы управления качеством в рудопотоках: система диспетчеризации «ВИСТ Групп», система диспетчеризации автотранспорта и контроля рудопотока "Интегра" - "НЕВОД", а также различные системы горного проектирования и планирования, которые также имеют некоторые функции диспетчеризации. [3],[5]

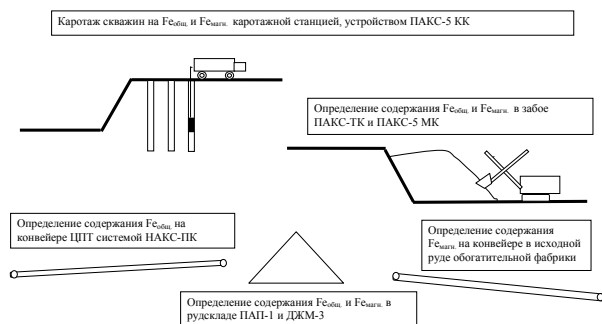
Системы диспетчеризации могут быть рассмотрены в некотором приближении как элементы будущей системы управления качеством в рудопотоках карьеров. При этом данные системы, как правило, не имеют оперативного контроля качества ни забоях, ни в рудопотоке.

Управление качеством невозможно без оперативного контроля, так как информация о реальных показателях содержания полезного компонента позволяет сопоставлять расчетные параметры качества руды в рудопотоке с фактическими, что необходимо для принятия решений.

Для формирования рудопотока карьера с заданными качественными характеристиками первоначально необходимо проведение доразведки взрывного блока путем каротажа, а для управления качеством в рудопотоке - контроль качественных характеристик в процессе добычи на основании методики оптимального периода опробования забоев. [7]

Средства и системы по контролю качества, разработанные коллективом проблемно-отраслевой лаборатории ГВУЗ «Криворожский национальный университет», на сегодняшний день наиболее полно охватывают основные этапы открытых горных работ. На рисунке 1 приведена общая схема системы контроля качества железорудного ГОКа. Данная система позволяет производить контроль как дискретно, так и в потоке, на конвейере. Информация о содержании полезного компонента, собранная на различных этапах горного производства, позволяет осуществлять анализ и в дальнейшем принимать оперативные технологические решения по управлению качеством.

Средства по контролю качества можно классифицировать следующим образом: контроль качества железорудного сырья в естественном залегании (каротаж) на  $Fe_{общ}$  и  $Fe_{магн}$ ; во взорванной горной массе, в рудопотоке ЦПТ на  $Fe_{общ}$ ; на рудскладе  $Fe_{общ}$  и  $Fe_{магн}$ ; на входе обогатительной фабрики в потоке на конвейере.



**Рис. 1.** Система контроля качества железорудного ГОКа

Каротаж скважин осуществляется каротажной станцией «Карьер-Кривбасс» путем опробования массива горных пород в шарошечных скважинах. Станция позволяет осуществлять одновременный каротаж на  $Fe_{общ}$  и  $Fe_{магн}$  с фиксацией данных о содержании полезного компонента в бортовом компьютере. Также каротаж на  $Fe_{магн}$  можно производить при помощи переносного устройства ПАКС-5КК, состоящего из измерительного пульта и каротажного зонда. Данные, полученные в результате каротажа, позволяют построить модель распределения содержания полезного компонента в блоке, подготовленном для взрывания.

После взрыва происходит перемешивание рудной массы, что обуславливает необходимость технологического контроля содержания  $Fe_{общ}$  (ПАКС-ТК) и  $Fe_{магн}$  (ПАКС-5МК) в процессе отработки забоя. Эти данные используются для текущего контроля соответствия фактических показателей качества расчетным данным, используемым при решении шихтовочной задачи при определении сменного задания.

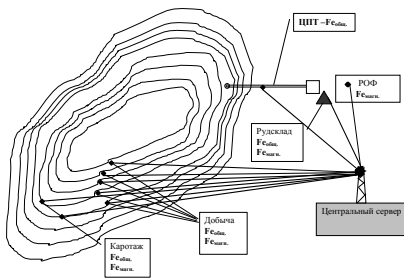
Для контроля содержания  $Fe_{общ}$  в рудопотоке на конвейере ЦПТ можно использовать микропроцессорную систему контроля качества и веса горной массы на конвейере (НАКС-ПК). Данные о содержании полезного компонента на конвейере ЦПТ дают практическую информацию и том, насколько соответствует сформированный рудопоток расчетным значениям.

Для контроля содержания  $Fe_{общ}$  в рудопотоке на конвейере ЦПТ можно использовать микропроцессорную систему контроля качества и веса горной массы на конвейере (НАКС-ПК). Данные о содержании полезного компонента на конвейере ЦПТ дают практическую информацию и том, насколько соответствует сформированный рудопоток расчетным значениям.

Контроль качества на рудскладе позволяет дискретно, с более высокой точностью, определить  $Fe_{общ}$  (ПАП-1) и  $Fe_{магн}$  (ДЖМ-3). На входе обогатительной фабрики, перед измельчением, контроль содержания железа магнитного в рудопотоке на конвейерных линиях осуществляется при помощи системы непрерывного контроля ДЖМ-К.

Для обеспечения эффективного процесса передачи и обработки информации о содержании полезного компонента на различных этапах горного производства все устройства и системы контроля качества объединены в единую сеть. Информация передается на центральный сервер, который производит ее фиксацию, обработку, анализ и визуализацию. Результаты анализа используются как для оценки показателей соответствия сформированного рудопотока расчетным значениям сменного задания, так и для перерасчета этого задания при выходе значений содержания полезного компонента за границы заданного диапазона. Объединение разных точек контроля качества в единую систему может быть реализовано только при наличии надежных каналов передачи информации и центрального сервера со специальным программным обеспечением. Скорость передачи информации является при этом весьма важным фактором, так как задержка во времени между опробованием и внесением данных в сервер искажает реальную картину качественных показателей в карьере. На рис. 2 показана общая схема передачи информации о содержании полезного компонента в железорудных карьерах.

Рис. 2. Общая схема передачи информации о содержании полезного компонента в железорудных карьерах



Поскольку задача оперативного управления рудопотоками относится к классу задач оперативного управления, то все методики, применимые к данному классу задач - применимы и к ней. В общем случае задача управления может состоять из следующих этапов:

1. Получение информации о динамике ситуации;
2. Прогноз развития ситуации;
3. Выработка управляющих решений;
4. Принятие решения;
5. Передача решения на объект управления [2]

Одной из задач системы горно-транспортной диспетчеризации являются формирование рудопотока с заданными качественными характеристиками. Однако, на практике, решение данной задачи сводится либо к прогнозно-имитационному управлению, либо к принятию решений на основании данных химанализа, запаздывающих как минимум на два-три часа, т. к. средства оперативного контроля качества на различных этапах производства либо отсутствуют, либо не используются как часть системы управления качеством. В связи с этим корректировка сменного задания производится только при выходе из строя какого-либо оборудования, при этом колебания качества в забоях и фактическая величина содержания полезного компонента в сформированном рудопотоке не учитывается.

Именно поэтому важной задачей является разработка такой системы контроля и управления качеством в рудопотоках карьеров, которая позволяет контролировать изменения содержания в забоях и потоке, анализировать величину отклонения от расчетного значения и, при необходимости, осуществлять корректировку задания для каждого из забоев.

Концепция создания данной системы выглядит как синергия автоматизированной системы диспетчерского управления с автоматизированным рабочим местом (АРМ) «Качество» карьера. Принципиальная схема данной системы приведена на рис. 3.

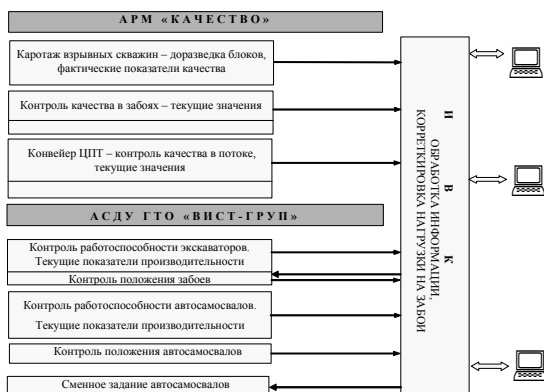


Рис. 3. Принципиальная схема системы контроля и управления качеством в рудопотоках железорудного карьера

При прямой передаче данных на сервер ИВК системы операции по прогнозированию и имитационному моделированию не требуются, т.к. в данном случае информация о содержании в забоях достоверна и своевременна. В случае выхода показателей содержания полезного компонента за расчетные значения, центральный сервер ИВК производит перерасчет производительности забоев с целью возврата величины колебаний качества в рудопотоке до нормативных величин. инергия

АСДУ ГТО с автоматизированным рабочим местом (АРМ) «Качество» карьера дает возможность получить принципиально новую систему управления качеством в рудопотоках карьеров.

При этом для управления качеством используется оперативная и достоверная информация о содержании полезного компонента, как в забоях, так и в сформированном рудопотоке, которая передается на центральный сервер для анализа и корректировки сменного задания по забоям. Опробование в забоях осуществляется переносными устройствами контроля качества, массив фактических данных о качестве передается радионавигационным комплексом (РНК), обрабатывается информационно-вычислительным комплексом (ИВК) и как управляющее воздействие передается в виде команды на экскаваторы и автосамосвалы.

Структурная схема этой системы (рис. 4) построена на принципе применения усреднения в качестве способа управления качеством минерального сырья на основании достоверной и своевременной информации о состоянии качества в забоях и в сформированном рудопотоке.



Рис. 4. Структурная схема комплексной системы контроля и управления качеством в рудопотоках карьеров

**Выводы.** Эффективное управление качеством в рудопотоках карьера обеспечивается путем синергии двух систем: системы контроля и системы управления качеством минерального сырья. Система контроля качества обеспечивает достоверную и оперативную информацию о состоянии массива во взрывном блоке (каротаж), во взорванной горной массе, а также в рудном потоке на конвейере, а система управления качеством позволяет сформировать рудопоток с заданными значениями содержания полезного компонента.

Комплексная система контроля и управления качеством рудопотоков выполняет функцию воздействия на выемочно-погрузочное и транспортное оборудование с учетом неоднородности качества руды на отдельных участках месторождения, одновременного начала работ забоев, плановых и внеплановых простоев техники, изменений расстояний транспортировки до ЦПТ, изменения содержания полезного компонента в забоях, а также позволяет отслеживать истинные показатели качества в рудопотоке и сопоставлять их с расчетными значениями.

При отклонении показателей за границы заданного диапазона система производит корректирующий перерасчет распределения нагрузки на забои, обеспечивая тем самым стабильность качества в рудопотоке.

#### Список литературы

1. Бызов В.Ф. Управление качеством продукции карьеров. – М. Недра, 1991
2. Морев А.Н. Диссертация кандидата технических наук «Управление содержанием полезного компонента в рудопотоке в условиях изменения цен на минеральное сырье». Институт проблем комплексного освоения недр РАН.
3. Тезисы доклада «Автоматизированные системы управления автотранспортом и процессом рудопотока» ООО «Интегра Груп.Ру» 2006 г.
4. Патент: 2100844 Закрытое акционерное общество "Интегра" Канцель А. В., Канцель М. А., Богусhevский Э. М. Способ управления погрузочно-транспортными средствами на карьерах при селективной выемке руд и система автоматизированного управления качеством рудопотока на основе экскаваторно-автомобильного комплекса.
5. Д. Я. Владимиров, А.Ф. Клебанов, А. И. Перепелицын «Система диспетчеризации "КАРЬЕР": от мониторинга большегрузных автосамосвалов к управлению горно-транспортным комплексом и оптимизации горных работ в карьере» "Горная промышленность" № 4-2004.
6. Капустин Ю. Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. - С-Пб, "НЕДРА", 2002
7. Азарян В.А. «Обоснование оптимального периода опробования забоев карьера» Вісник Криворізького національного університету, 2014. - вип. 38, , стр. 7-12.
8. Арсеньев С.Я., Прудовский А.Д. Внутрикьерное усреднение железных руд. – М.: Недра, 1980
9. Галиев С.Ж., Бояндинова А.А., Астраханцев В.А., Жусупов К.К. Структура и организация информационного обеспечения автоматизированной системы диспетчеризации работы экскаваторно-автомобильного комплекса «АДИС-Авто» // научно-техническое обеспечение горного производства: Сб. научн. тр. ИГД им. Д.А. Кунаева. Т. 72. Алматы, 2006. С. 138–143.
10. Жусупов К.К., Пуненков С.Е., Галиев С.Ж., Бояндинова А.А., Бояндинова Ж.А. Планирование и управление рудопотоками на АО «Костанайские минералы» // Современные проблемы механики сплошных сред. Вып. 7 «Гидрогазодинамика, геомеханика и геотехнологии». Бишкек, 2008. С. 64–72.

11. Кармазин В.В. Современные тенденции в использовании минерального сырья. Сб. «Устойчивое развитие горнодобывающей промышленности», Кривой Рог, КТУ, 2004.  
Рукопис поступила в редакцию 04.04.16.

УДК 622.647.2

Л.І. ЄФІМЕНКО, канд. техн. наук, доц., М.П.ТИХАНСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц.,  
І.О.ДОЦЕНКО, ст. викладач, Криворізький національний університет

## АНАЛІЗ НАВАНТАЖЕНЬ, ДІЮЧИХ НА ОПОРНІ КОНСТРУКЦІЇ КОНВЕЄРА ТА МЕТОДІВ ЇХ ПРОЕКТУВАННЯ

В роботі розглянуто існуючі методи проектування опорних конструкцій конвеєра. Загальним недоліком розглянутих методів проектуванні є те, що при визначенні навантажень на став беруться статичні складові, не враховується динаміка перехідних процесів і динамічні навантаження від дії крупних кусків вантажу, не використовуються можливості зменшення навантажень на конструкції шляхом управління режимами транспортування. Розробка методів зниження динамічних навантажень на став дозволить знизити металоємність конвеєра.

Використання регульованого приводу із змінною швидкістю транспортування викликає необхідність додаткових досліджень, як в частині насипного вантажу, так і при проходженні окремих кусків. Для дослідження динамічних процесів, що відбуваються в конструкціях конвеєра, використовують динамічні моделі. При розробці моделей динамічного навантаження ставу конвеєра проводилися дослідження залежності навантаження від типу роликкоопор, швидкості транспортування і маси крупних кусків, давалися рекомендації по вибору типу роликкоопор і максимальної швидкості транспортування залежно від маси крупного куска.

В результаті огляду і аналізу теоретичних і експериментальних робіт, встановлено, що:

навантаження на опорні конструкції стрічкового конвеєра залежать від конструктивних і технологічних чинників, режиму роботи, гранскладу вантажу, що транспортується, і інше;

забезпечення плавного пуску, регулювання швидкості стрічки знижує навантаження на конструкції і впливає на конструктивні параметри конвеєра (ширину і міцність стрічки, крок розставлення роликкоопор, металоємність ставу), підвищує ефективність використання.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** До сучасних металокопункцій лінійної частини конвеєра, а саме, конвеєрному стану пред'являється ряд вимог по міцності, амортизуючій здібності при динамічних навантаженнях, стійкості, мінімальній металоємності, довговічності. Аналіз розрахунків ряду підприємств і науково-дослідних організацій показав, що існуючі методи проектування конвеєрного ставу не повною мірою враховують дійсну картину його навантаження [1, 2, 4, 5].

**Аналіз досліджень та публікацій.** Основні розміри конвеєрних ставів призначаються по конструктивних міркуваннях із залученням галузевих стандартів і нормалей. По прийнятих розмірах проводяться перевірочні розрахунки, які полягають в наступному: вибирається розрахункова схема секції ставу у вигляді рами, зовнішні навантаження задаються у вигляді статично прикладених сил від мас вантажу, стрічки, роликкоопор. Крім того, вводиться коефіцієнт перевантаження, величина якого вагається від 1,2 до 1,7 без обґрунтування його величини.

Аналіз розрахунків ряду заводів виробників /Сизранського, ЗТМ, ДМЗ, Краснолучського і Александрівського МЗ, Маріупольського ПО «Азовмаш», проектних організацій /Механобрчормет, ВНДПТмаш/ та НДІ /УкрНДІпроект ІГТМ АН України/ показав, що науково-дослідні інститути працюють, в основному, над створенням нових типів конструкцій, а існуючі методи проектування жорсткого ставу не повною мірою враховують дійсну картину його навантаження. На Донецькому МЗ, в методиках ВНДПТмаша і Союзпроммеханізації додатково враховується, відповідно, частота власних коливань секції і внецентрове додаткове навантаження. У роботі [1] автор запропонував уточнений науково-обґрунтований метод розрахунку металокопункцій стрічкового конвеєра з перевіркою полегшеного ставу на стійкість, що надає можливість раціонального його проектування.

Загальним недоліком розглянутих методів проектуванні є те, що при визначенні навантажень на став беруться статичні складові, не враховується динаміка перехідних процесів і динамічні навантаження від дії крупних кусків вантажу, не використовуються можливості зменшення навантажень на конструкції шляхом управління режимами транспортування.

Питаннями навантажень що діють на опорні конструкції конвеєра загального й спеціального призначення займався ряд відомих вчених таких, як: В.М. Назаренко, О.І. Савиц-

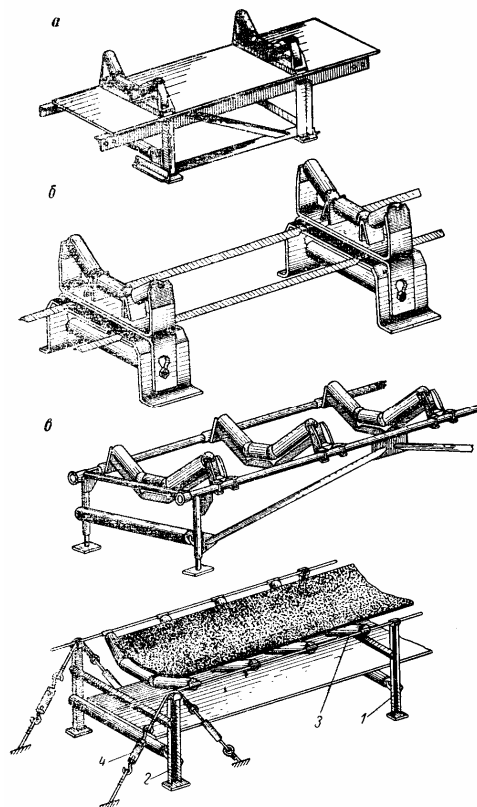


кий, В.С. Волотковський, А.Г. Нохрин, Г.Д. Кармасв, А.О. Спиваковський, В.Г. Дмитрисв, В.И. Галкин, С.С.Новиков, В.Ф. Монастирський, В.К. Смирнов, Г.К. Демін, Л.Г. Шахмейстер.

На рис. 1 представлені деякі різновиди існуючих конвеєрних ставів.

**Постановка завдання.** З аналізу наведених робіт видно, що конвеєрний став є основним елементом стрічкового конвеєра, що визначає його металоемність. Зі збільшенням його довжини значно збільшується вага конвеєра. За даними робіт [1,4,6] при довжині конвеєра близько 100 м, маса жорсткого ставу складає приблизно 20 %, а при довжині близько 500 м - більше 30 %, від всієї ваги конвеєра. Вага лінійної частини секцій конвеєра визначається шириною стрічки і характером вантажу, що транспортується. Від ширини стрічки залежить довжина роликів і конструктивні розміри секцій. Розробка методів зниження динамічних навантажень на став дозволить знизити металоемність конвеєра.

**Викладення матеріалу та результати.** Відомо, що оцінка навантажень на елементи конвеєрного ставу при транспортуванні крупно кускового вантажу в основному, виконувалася за допомогою коефіцієнта динамічності для насипного вантажу і крупних кусків, які йдуть один за одним при постійній швидкості транспортування [1, 2, 4-6]. Використання регульованого приводу із змінною швидкістю транспортування викликає необхідність додаткових досліджень, як в частині насипного вантажу, так і при проходженні окремих кусків.



**Рис. 1.** Стави конвеєрів: *а* – стаціонарний із прокату, з закритою нижньою гілкою; *б* – переносний із прокату, з відкритою нижньою гілкою; *в* – стаціонарний або переносний, трубчастий, з відкритою нижньою гілкою; *з* – канатний, з відкритою нижньою гілкою; 1 – лінійна опора; 2 – анкерна опора; 3 – канат; 4 – муфта для натягу канату

З'являється необхідність враховувати вплив тягового зусилля на навантаження опорних конструкцій, як в сталому режимі, так і у момент пуску [3].

Навантаження на став від коливань, викликаних дією стрічки з вантажем, роликками і крупними кусками, в сталому режимі і у момент пуску, не враховувалися. Облік вказаних чинників дозволить точніше визначити навантаження, понизити запаси міцності елементів конструкцій, як для конвеєрів з постійною швидкістю транспортування, так і для гнучкого автоматизованого виробництва з регульованим приводом.

Аналіз і облік динамічних навантажень, а також виконання заходів щодо їх усунення вимагає знань аналітичних залежностей між характером зміни навантаження в конвеєрному ставі в нестационарних режимах роботи.

Оцінку впливу параметрів системи автоматичного управління (САУ) на динамічні характеристики елементів стрічкового конвеєра зручно виконувати за

допомогою структурного методу, широко використовуваного в теорії автоматичного управління.

У цьому випадку стрічковий конвеєр представляється математичною моделлю у вигляді структурної схеми, що складається з відповідних елементів з відомими передавальними функціями, коефіцієнти посилення і постійні часу яких залежать від конструктивних параметрів, рівня навантаження конвеєра і наявності крупних кусків вантажу на стрічці.

Для побудови математичної моделі стрічкового конвеєра проведений порівняльний аналіз методів математичного опису динамічних процесів у конвеєрі для різних конструкцій, умов і режимів роботи установок.

На рис. 2 представлено рядові роликкоопори, які призначені для підтримки стрічки й надання їй необхідної форми.

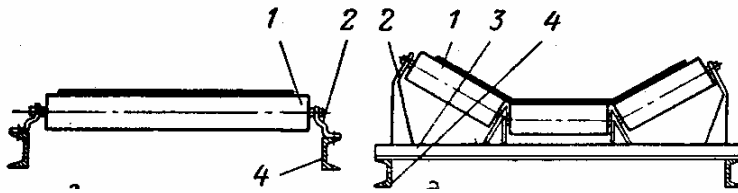


Рис. 2. Рядові роликоопори стрічкових конвеєрів: 1 - ролик; 2 - кронштейн; 3 - балка; 4 - рама конвеєра

Основи теорії несталої руху конвеєра розглянуті в роботах провідних вчених, для яких ха-

рактерний математичний опис лише тягового органу. Результати цих робіт не дозволяють отримати передавальні функції стрічкового конвеєра, де вхідною величиною було б тягове зусилля, що розвивається приводом, а вихідною – навантаження на опорні конструкції.

У роботі Л.Г. Шахмейстера і В.Г. Дмитрієва методом математичного моделювання отримана передавальна функція одно приводного стрічкового конвеєра.

Проте запропонований метод визначення параметрів передавальної функції стрічкового конвеєра трудомісткий і не дозволяє на стадії проектування оцінити по конструктивних параметрах динамічні характеристики стрічкового конвеєра і, тим більше, синтезувати пристрої, що корегують навантаження на опорні конструкції з точки зору екстремального управління.

Найбільш поширеним методом математичного опису стрічкового конвеєра є метод кусочно-лінійної апроксимації, основи вживання якого для математичного опису пуско-гальмівних режимів роботи стрічкового конвеєра викладені в роботах І.В. Запеніна, В.Е. Бельфора. і ін.

Використання цього методу для побудови структурних схем розглянуте в роботах В.М. Назаренко, О.І. Савицького, Л.І. Єфіменко.

Проте урахування прослизання стрічки і зміни натягу приводить до ускладнення структурних схем.

Огляд робіт в області опису стрічкового конвеєра як об'єкту регулювання показав, що розроблені структурні схеми основних різновидів конвеєрів не охоплюють опорних конструкцій конвеєра як об'єкту дослідження.

Існують математичні моделі навантаження опорних конструкцій конвеєра [1,3, 6-10], що описують дію крупнокускового вантажу на елементи ставу.

Вони отримані в результаті обробки експериментальних даних, або вихідними даними є параметри, що описують структуру вантажопотоку, геометричні і фізичні характеристики конвеєра.

У цих моделях навантаження, що сприймається роликоопорою, розділяється на статичне, обумовлене натиском матеріалу, що транспортується, і динамічне, обумовлене дією окремих крупних кусків вантажу. Ряд чинників враховується коефіцієнтами запасу міцності.

Проте, в цих роботах навантаження на опорні конструкції оцінюють при існуючих способах і режимах управління конвеєром.

Таким чином, огляд робіт з математичного опису стрічкового конвеєра показав, що існуючі математичні моделі у вигляді структурних схем не охоплюють опорних конструкцій конвеєра, а математичні моделі навантаження елементів конвеєрного ставу не враховують впливи автоматизованого приводу.

Розширення об'єму специфічних вимог, обумовлених особливостями гнучкого автоматизованого виробництва, вдосконалення засобів автоматизації, викликало необхідність розробки уточненої математичної моделі у вигляді структурної схеми, що враховує вплив режимів роботи автоматизованого конвеєра і що розглядає його як об'єкт, що складається з наступних основних елементів: привод - конвеєрна стрічка-став [7-11].

Ефективність використання стрічкових конвеєрів пов'язана із зниженням металоємності конвеєрного ставу, що є основним елементом, що визначає загальну металоємність конвеєра.

Металоємність знижується зі створенням нових конструкцій, що мають мінімальну металоємність при забезпеченні необхідної міцності, уточненням існуючих розрахунків, виконуються розрахунки на ЕОМ з подальшою оптимізацією конструкцій [3,4,10].

Автор роботи [8] розробив методику, що враховує особливості гірничотранспортного устаткування, отримав функціонал, що виражає металоємність залежно від статичного навантаження, геометричної схеми, матеріалу конструкцій.

Використання автоматизованого регульованого приводу надало додаткові можливості для підвищення ефективності використання стрічкових конвеєрів шляхом зниження металоємності,

оскільки гарантоване зниження динамічної дії приводу і крупних кусків вантажу на опорні конструкції дозволяє знизити їх металоємність.

При цьому з'явилася необхідність на основі розробленої моделі отримати функціонал металоємності ставу, що враховує особливості автоматизованого приводу [11].

Для дослідження динамічних процесів, що відбуваються в конструкціях конвеєра, використовують динамічні моделі.

При розробці моделей динамічного навантаження ставу конвеєра проводилися дослідження залежності навантаження від типу роликоопор, швидкості транспортування і маси крупних кусків, давалися рекомендації по вибору типу роликоопор і максимальної швидкості транспортування залежно від маси крупного куска [8-11].

На відміну від раніше проведених досліджень, в пропонованій роботі динамічні характеристики опорних конструкцій оцінюються спільно з процесами, що виникають в конвеєрній стрічці, з величиною і характером тягового зусилля, що розвивається приводом.

Внаслідок чого отримана модель динамічного навантаження системи «привод - конвеєрна стрічка - став», яка враховує реологічні властивості стрічки, особливості транспортування крупнокускового вантажу; розроблено на рівні винаходів окремі блоки системи управління.

Висновки та напрямки подальших досліджень.

У результаті огляду і аналізу теоретичних і експериментальних робіт, встановлено, що: навантаження на опорні конструкції стрічкового конвеєра залежать від конструктивних і технологічних чинників, режиму роботи, гранскладу вантажу, що транспортується, і інше; забезпечення плавного пуску, регулювання швидкості стрічки знижує навантаження на конструкції і впливає на конструктивні параметри конвеєра (ширину і міцність стрічки, крок розставляння роликоопор, металоємність ставу), підвищує ефективність використання.

Проте, питання, пов'язані із зниження навантажень на опорні конструкції і металоємності ставу за допомогою впровадження автоматизованого приводу, вимагають додаткового дослідження, оскільки:

динамічний вплив приводу на збільшення навантажень на став і його металоємність не враховується;

існуючі структурні схеми стрічкового конвеєра не включають опорні конструкції, як об'єкт дослідження;

вибір параметрів системи автоматичного управління конвеєром не передбачає розрахунку і введення гнучких зворотних зв'язків, що забезпечують обмеження динамічних навантажень на конструкції.

### Список літератури

1. Бейгул О.А. Исследование и обоснование параметров несущих металлоконструкций ленточных конвейеров: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1980. – 14 с.
2. Дмитриев В.Г., Егоров П.Н. Система автоматизированного расчета и оптимизации металлоконструкций става ленточного конвейера // Шахтный и карьерный транспорт. – М.: 1990. – С. 52-63.
3. Ефименко Л.И., Тиханский М.П. Определение нагрузок на конвейерный став от воздействия тягового усилия / Вісник КТУ: Кривий Ріг, 2010. - Вип. 26. - С. 250-254.
4. Коваль А.В. Исследование динамических нагрузок на выбор конструктивных параметров роликоопор шахтных ленточных конвейеров: Дисс. канд. техн. наук. – М., 1975.
5. Козлов Е.М. Определение нагрузок на основные элементы тяжелых ленточных конвейеров ГОКов // Шахтный и карьерный транспорт. – М.: Недра, 1990. – С. 24-27.
6. Поляков Н.С., Смирнов В.Н., Монастырский Р.Ф. Энергоёмкость транспортирования ленточными конвейерами крупнокузовых грузов. – М., 1977. – 8 с. – Деп. в ВИНТИ, №2772. – 77 Деп.
7. Савицький О.І., Єфіменко Л.І. Вплив вибору конструктивних параметрів конвеєра на його експлуатаційні характеристики / Механобрчермет «Енергосбереження в технології, техніке при переробці мінерального сировини» Сб. научных трудов ОАО НИПИ - Кривой Рог: Изд-во Механобрчермет, 2010. - Вып.46. - С. 59-68.
8. Ефименко Л.И., Тиханский М.П. Оценка влияния отдельных нагрузок, действующих на формирование металлоёмкости става ленточного конвейера / Вісник КТУ: Кривий Ріг, 2013. - Вип. 33. - С. 211-215.
9. Єфіменко Л.І., Тиханський М.П. Моделирование навантаження на опорні конструкції важких стрічкових конвеєрів / Вісник КНУ: Кривий Ріг, 2013. - Вип. 34. - С. 34-37.
10. Yefimenko L. Dynamic load reduction techniques for the flight of the belt conveyor / L.Yefimenko, M. Tykhanskyi // Metallurgical and Mining Industry, 2015. – № 3. – Metallurgical and Mining Industry, 2015. – № 3. – 47-51 pp.
11. Комп'ютеризовані системи управління конвеєрними установками: монографія / В.Й. Лобов, Л.І.Єфіменко, М.П.Тиханський, С.А.Рубан. – Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2015. – 450 с.

Рукопис подано до редакції 18.03.16

УДК 624.012.45

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф., Д.В. ПОПРУГА, канд. техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ УЛАШТУВАННЯ КОНТАКТНОГО ШВА ПРИ ПІДСИЛЕННІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У СТИСНУТІЙ ЗОНІ

Проаналізовано і співставлено вплив міцності контактних швів на синтетичному клеї, шпонках і випусках арматури, які улаштовують при підсиленні залізобетонних балок у стиснутій зоні шаром залізобетону, на міцність, тріщиностійкість і деформативність підсиленних зразків.

Несуча здатність підсиленних балок у порівнянні з непідсиленними збільшилася на 28–36%. Найбільше підвищення несучої здатності отримали балки підсилені за рахунок клею; найменша несуча здатність виявилася у балок підсиленних за допомогою шпонок. За результатами аналізу ширини розкриття тріщин підсиленних балок встановлено, що ширина розкриття тріщин зразків серії на клею зменшується на 34% порівняно з непідсиленою серією; для підсиленних зразків серій на шпонках та випусках арматури ширина розкриття тріщин зменшується на 47%. Прогини зразків серії на клею дорівнюють значенням прогину непідсиленних зразків при рівні експлуатаційних навантажень. Прогини зразків підсиленних серій на випусках арматури та шпонках, відповідно на 41% та 43%, менші за значення прогинів контрольних зразків.

Найбільш ефективним способом улаштування контактного шва при підсиленні залізобетонних згинальних елементів у стиснутій зоні шляхом нарощування, з точки зору підвищення несучої здатності, є застосування в якості з'єднувального шару – клею. З точки зору тріщиностійкості та деформативності, найбільш ефективними способами улаштування контактного шва є шпонкове з'єднання та з'єднання на випусках арматури.

Спосіб улаштування контактного шва за допомогою клею Ceginol ZH показав найменшу вартість і трудомісткість при улаштуванні.

**Ключові слова:** контактний шов, синтетичний клей, шпонки, випуски арматури, залізобетон, міцність, тріщиностійкість, деформація, підсилення, відходи збагачення, розрахунок.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Будівельні конструкції у процесі експлуатації втрачають свої міцнісні та деформативні характеристики. Повернення пошкодженим конструкціям первісних характеристик стає можливим за рахунок їх підсилення.

Серед будівельних конструкцій які багато років використовують у промислових спорудах переважають залізобетонні, тому узагальнення, аналіз та систематизація існуючих методів ефективного підсилення таких конструкцій має важливе прикладне значення.

Підсилення залізобетонних згинальних елементів можна виконувати двома основними способами: улаштуванням розвантажуючих елементів і нарощуванням шару бетону або залізобетону [1].

Збільшення міцності і жорсткості підсилюваного елемента нарощуванням реалізується лише при сумісній роботі підсилюваної конструкції та шару підсилення. Нарощування застосовують для підсилення як монолітних залізобетонних конструкцій так і збірних [2].

Відомо, що в зоні контакту бетону підсилення і бетону конструкції, що підсилюється, виникає складний напружено-деформований стан. При цьому зона контакту піддається одночасній дії стискаючих або розтягуючих, а також зсувних зусиль. Величина останніх може визначати несучу здатність підсиленої конструкції. Низька міцність зони контакту обмежує можливості підсилення при нарощуванні.

Сумісна робота підсиленого елемента досягається за рахунок механічного зачеплення, улаштуванням насічки та/або за рахунок встановлення додаткової поперечної арматури, яка приєднується зварюванням до існуючої арматури. Для підвищення зчеплення “старого” та “нового” бетонів можуть застосовуватися також композиції на основі епоксидного, акрилового та інших видів синтетичних клеїв.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Вивченню підсиленних залізобетонних конструкцій присвятили свої роботи Л.В.Афанасьєва, А.Я.Барашиков, С.В.Бондаренко, Б.А.Боярчук, Г.В.Гетун, О.Б.Голишев, О.Ю.Єрьоменко, О.Д.Журавський, І.В.Задорожнікова, П.І.Кривошеєв, Є.Ф.Лисенко, Г.А.Молодченко, Л.А.Мурашко, Й.П.Новаторський, Р.С.Санжаровський, П.О.Сунак, Г.Н.Хайдуков, О.Л.Шагін, В.С.Шмуклер, А.Касассбех, Г.В.Чанг, Л.М.Ли, М.А.Максур і багато інших.

Застосуванню клеїв у бетонних і залізобетонних конструкціях присвячені роботи Е.П.Александряна, Р.І. Бергена, М.С. Золотова, Л.Н. Шутенка та ін.

Питанням вивчення впливу механічного зчеплення “старого” та “нового” бетонів на міцність їхнього контакту присвячена достатня кількість робіт таких дослідників як Н.І.Руденко, Ю.Г.Хаютін, О.О.Шишкін, О.М. Ішінько та інших.

**Постановка завдання.** Перед авторами було поставлення завдання по визначенню найбільш ефективного способу улаштування контактної шва при підсиленні залізобетонних балок у стиснутій зоні шаром залізобетону, а також проаналізувати вплив підсилення стиснутої зони згинального елемента на експлуатаційні якості підсиленої конструкції.

Порівнювалися три способи улаштування контактної шва:

за допомогою клею Cerinol ZH фірми Dietermann на основі цементу, модифікованого синтетичними речовинами;

за допомогою улаштування шпонок;

за допомогою улаштування випусків арматури.

**Викладення матеріалу та результати.** Програма виготовлення експериментальних балок наведена в табл. 1.

Для експерименту було виготовлено п'ять серій експериментальних зразків балок, по дві у кожній серії. При цьому балки першої та другої серій підсиленню не підлягали та мали прямокутний і тавровий поперечні перерізи відповідно. Балки третьої, четвертої та п'ятої серій були підсилені в стиснутій зоні, при цьому їх поперечний переріз змінився з прямокутного на тавровий.

Експериментальні балки виготовляли в заводських умовах з використанням стандартної опалубки для перемичок серії ЗПБ 21–8. Балки контрольної серії таврового перерізу виготовляли у заздалегідь виготовленій дерев'яній опалубці. Розміри поперечного перерізу балок до підсилення склали 120×220 мм, а загальна довжина - 2070 мм [3].

Зразки виготовлені з бетону проектного класу В-20 та В - 25 на відходах збагачення залізних руд, для якого використали шлакопортландцемент М400 Криворізького цементного заводу, пісок з відходів збагачення мокрої магнітної сепарації залізистих кварцитів ВАТ “Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат” з модулем крупності  $M_k = 2,0$  і щебінь сухого магнітного збагачення залізистих кварцитів ВАТ “Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат” крупністю 5-20 мм.

Бетонування шару підсилення проводили не раніше 28 діб після бетонування непідсиленних балок. Перед укладанням бетонної суміші зразки балок, окрім контрольних серій, піддавали навантаженню, яке становило 0,7–0,8 від руйнівного та спричиняло розкриття нормальних тріщин до рівня 0,15–0,2 мм. Цим відтворювали ситуацію перебування дослідних балок під впливом різних силових факторів (сейсмологічних впливів).

Підсилення нарощуванням проводили в такий спосіб: на поверхні балок третьої серії (БПКП) у зоні контакту “старого” та “нового” бетонів виконували насічку глибиною до 10 мм з подальшою обробкою поверхні металевими щітками та знежиренням. Потім вкладали з'єднувальний шар з клею Cerinol ZH фірми Dietermann, який сильно втирали в поверхню балок за допомогою щітки. Шар бетону підсилення наносили на ще свіжий з'єднувальний шар з матеріалу Cerinol ZH.

Cerinol ZH - це модифікований синтетичними речовинами матеріал на основі цементу, призначений для виконання з'єднувального шару на елементах будівельних конструкцій, що піддаються високим навантаженням [3].

Для балок четвертої серії (БПШП) у контактному шві між основним бетоном та бетоном підсилення улаштовували шпонкове з'єднання (штучні заглиблення глибиною 10 мм і більше). Перед укладанням шару підсилення проводили обробку поверхні металевими щітками та знежирення.

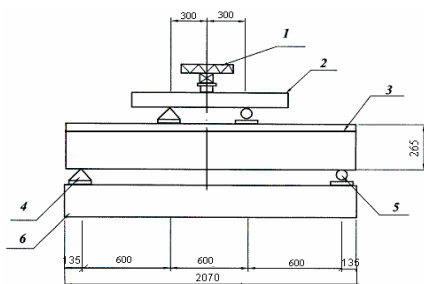
Для балок п'ятої серії (БПВП) в зоні контакту “старого” та “нового” бетонів були передбачені вертикальні випуски з арматури  $\varnothing 8$  А400С, розташовані парами з кроком 70 мм по краях балки. Укладання шару підсилення проводили на попередньо підготовлену поверхню. Проектне положення арматурних каркасів шару підсилення забезпечували за рахунок поперечної арматури каркасів, яка обмежувала їх рухомість під час бетонування.

## Програма виготовлення дослідних балок

Маркування зразків	№ серії	Спосіб підсилення	Поперечний переріз зразків	Кількість
БКП-1 БКП-2	1	Балки контрольні без підсилення (контрольна серія)		2
БКПТ-1 БКПТ-2	2	Балки контрольні таврового перерізу без підсилення (контрольна серія)		2
БКПП-1 БКПП-2	3	Балки підсилені в стиснутій зоні на клею		2
БПШП-1 БПШП-2	4	Балки підсилені в стиснутій зоні на шпонках		2
БПВП-1 БПВП-2	5	Балки підсилені в стиснутій зоні на випусках		2

Бетонування полиць підсилення проводили у лабораторних умовах за допомогою попередньо виготовленої (для серії БКПТ) дерев'яної опалубки.

Розпалублення зразків виконували через 28 днів після бетонування підсилюючого шару. Після чого балки ретельно обстежували, перевіряли рівність їх поверхонь, наявність тріщин та раковин.



**Рис. 1.** Схема установки для випробування балок на згин: 1 - плита-траверса преса; 2 - траверса; 3 - дослідна балка; 4 - нерухома опора; 5 - рухома опора; 6 - нижня траверса преса

Перед випробуваннями зовнішні поверхні балок були очищені і промарковані.

Короточасні випробування експериментальних балок проводили на універсальному гідравлічному пресі ПММ-250 за схемою однопролітної вільнолежачої балки навантаженої двома зосередженими силами в третинах прольоту[4].

#### Висновки та напрямок подальших досліджень.

Найбільш ефективним способом улаштування контактної шви при підсиленні залізобетонних згинальних елементів у стиснутій зоні, з точки зору підвищення несучої здатності, є застосування в якості з'єднувального шару – клею. Несуча здатність підсилених балок у порівнянні з непідсиленими збільшилася на 28–36%. Найбільше підвищення несучої здатності отримали балки підсилені за рахунок клею; найменша несуча здатність виявилася у балок підсилених за допомогою шпонок [5,8].

З точки зору тріщиностійкості та деформативності, найбільш ефективними способами улаштування контактного шва є шпонкове з'єднання та з'єднання на випусках арматури. Ширина розкриття тріщин зразків серії БПКП зменшується на 34% порівняно з непідсиленою серією; для підсилених зразків серій БПШП та БПВП ширина розкриття тріщин зменшується на 47% [6,9]. Прогини зразків серії БПКП на стадії навантажень 0,7-0,8 від руйнівного, дорівнюють значенням прогинів непідсилених зразків серії БКП при рівні експлуатаційних навантажень. Прогини зразків підсилених серій БПВП та БПШП, відповідно на 41% та 43%, менші за значення прогинів контрольних зразків [7,10].

Спосіб улаштування контактного шва за допомогою клею Cerinol ZH показав найменшу вартість і трудомісткість при улаштуванні.

Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення технології підсилення залізобетонних згинальних елементів існуючих будівель та споруд.

### Список літератури

1. Лазовский Д.Н. Усиление железобетонных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений / Д.Н. Лазовский. – Новополоцк: Изд-во Полоцкого гос. ун-та, 1998. – 240 с.
  2. Тур В.В. Расчёт железобетонных конструкций при действии перерезывающих сил / В.В. Тур, А.А. Кондратчик – Брест: изд. БГТУ, 2000. – 400 с.
  3. Попруга Д. В. Ефективні матеріали для підсилення залізобетонних конструкцій / М. О. Валовой, Д. В. Попруга // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. – Вип. 17. – Рівне : НУВГП, 2008. – С. 7–13.
  4. Попруга Д.В. Міцність стикових з'єднань при підсиленні залізобетонних згинальних елементів у стиснутій зоні: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 “Будівельні конструкції, будівлі та споруди” / Д.В. Попруга. – Київ, 2009. – 20 с.
  5. Попруга Д. В. Напружено-деформований стан підсилених залізобетонних згинальних елементів виготовлених на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів / Д. В. Попруга, О.І. Валовой // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. – Вип. 21. – Рівне : НУВГП, 2011. – С. 611–617.
  6. Попруга Д. В. Тріщиностійкість підсилених у стиснутій зоні залізобетонних згинальних елементів / Д. В. Попруга, О.І. Валовой // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. – Вип. 20. – Рівне : НУВГП, 2010. – С. 493–499.
  7. Попруга Д.В. Прогини підсилених у стиснутій зоні залізобетонних згинальних елементів / Д.В. Попруга, О.І. Валовой // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Вип. 38. – Одеса : ОДАБА, 2010. – С. 525-529.
  8. Ditlevsen O. Stochastic Model of Self – Weight load // Journal of Struct. Engineering, ASCE V. 113, № 1, 1988. – P.P. 38 – 49.
  9. Ditlevsen O. Narrow Reliability Analysis of Frame Structures // Journal of Struct. Mechacics. V.1, № 4, 1979.- P.P.457 – 472.
  10. Cornel C.A. Stochastic Process Models in Structural Engineering. Dept. Of Civ. Engineering Stanford University. Technical Report. № 34, 1969. – P.P. 14 – 18.
- Список літератури*
1. Лазовский Д.Н. Усиление железобетонных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений / Д.Н. Лазовский. – Новополоцк: Изд-во Полоцкого гос. ун-та, 1998. – 240 с.
  2. Тур В.В. Расчёт железобетонных конструкций при действии перерезывающих сил / В.В. Тур, А.А. Кондратчик – Брест: изд. БГТУ, 2000. – 400 с.
  3. Попруга Д. В. Ефективні матеріали для підсилення залізобетонних конструкцій / М. О. Валовой, Д. В. Попруга // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. – Вип. 17. – Рівне : НУВГП, 2008. – С. 7–13.
  4. Попруга Д.В. Міцність стикових з'єднань при підсиленні залізобетонних згинальних елементів у стиснутій зоні: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 “Будівельні конструкції, будівлі та споруди” / Д.В. Попруга. – Київ, 2009. – 20 с.
  5. Попруга Д. В. Напружено-деформований стан підсилених залізобетонних згинальних елементів виготовлених на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів / Д. В. Попруга, О.І. Валовой // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. – Вип. 21. – Рівне : НУВГП, 2011. – С. 611–617.
  6. Попруга Д. В. Тріщиностійкість підсилених у стиснутій зоні залізобетонних згинальних елементів / Д. В. Попруга, О.І. Валовой // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. – Вип. 20. – Рівне : НУВГП, 2010. – С. 493–499.
  7. Попруга Д.В. Прогини підсилених у стиснутій зоні залізобетонних згинальних елементів / Д.В. Попруга, О.І. Валовой // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Вип. 38. – Одеса : ОДАБА, 2010. – С. 525-529.
  8. Ditlevsen O. Stochastic Model of Self – Weight load // Journal of Struct. Engineering, ASCE V. 113, № 1, 1988. – P.P. 38 – 49.
  9. Ditlevsen O. Narrow Reliability Analysis of Frame Structures // Journal of Struct. Mechacics. V.1, № 4, 1979.- P.P.457 – 472.
  10. Cornel C.A. Stochastic Process Models in Structural Engineering. Dept. Of Civ. Engineering Stanford University. Technical Report. № 34, 1969. – P.P. 14 – 18.

Рукопис подано до редакції 18.03.16

УДК 658.155: 331.08-057.21

В.А. КОВАЛЬЧУК, д-р техн. наук, проф., С.Г. ЛЫСЕВИЧ, канд. эконом. наук,  
Криворожский национальный университет

## ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА ПРЕДПРИЯТИЯ С УЧЕТОМ ВОЗРОСШЕЙ РОЛИ ЕГО ПЕРСОНАЛА

В статье рассматриваются пути реформирования хозяйственного механизма предприятия с точки зрения возросшей роли человека в обществе и на предприятии. На основе статистических данных и работ учёных установлено, что эффективность работы предприятий зависит не только от формы собственности, но и от действующего хозяйственного механизма. Анализ литературных источников свидетельствует, что за рубежом стали широко применять участие персонала в управлении предприятиями. Результаты исследований показали, что такие предприятия более конкурентоспособны, ибо это способствует формированию чувства хозяина, добросовестного отношения к труду.

Главным и наиболее ценным ресурсом предприятия является его персонал. Роль персонала возрастает в современных условиях хозяйствования, ибо возрастает интеллектуальность труда, его ответственность, повышается образовательный и культурный уровень персонала, труд все более становится творческим. Это вызывает необходимость изменять подход к управлению персоналом, что связано с усовершенствованием хозяйственного механизма предприятия по всех его составляющих: организационно-экономическом, административном, нормативно-правовом и социально-психологическом механизмах. Важным направлением улучшения хозяйственного механизма является повышение уровня работы с персоналом, занимающимся умственным видом деятельности, так как именно от него, во многом, зависит результат работы всего предприятия. В статье предложено усовершенствовать хозяйственный механизм предприятия с учётом зарубежного опыта работы с персоналом и перспективных тенденций развития организационной структуры предприятия.

**Ключевые слова:** хозяйственный механизм предприятия; собственность; роль персонала; факторы, влияющие на роль персонала; участие в управлении.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Хозяйственный механизм предприятия представляет собой систему форм, методов и рычагов воздействия на коллектив персонала с целью достижения определённых целей. В научной литературе хозяйственный механизм, в основном, рассматривается с точки зрения его структуры. Однако в современных условиях хозяйствования возросла роль человека в обществе, в деятельности предприятий, что вызывает одновременно и повышение роли персонала в хозяйственном механизме субъектов хозяйствования. Следует отметить, что возросшая роль персонала в хозяйственном механизме предприятия изучена недостаточно и поэтому нуждается в дальнейшем исследовании.

**Анализ исследований и публикаций.** Рассмотрим точки зрения ученых по этому вопросу.

С.В. Мочерный, определяя хозяйственный механизм, говорит, что он является системой форм и методов «всестороннего развития человека» [7, с.269]. Мы считаем, что именно в этом определении проявляется важнейшая направленность совершенствования хозяйственного механизма, которую необходимо рассматривать в тесной связи по улучшению работы с персоналом предприятия.

А.И. Амоша, говоря о стратегии усовершенствования хозяйственного механизма, делает ударение на необходимости учитывать и роль трудовых коллективов в этом процессе [3, с.15]. Однако автор не наводит конкретных рекомендаций по этому вопросу.

А.И. Колганов, на основании исследования результатов деятельности зарубежных компаний, приходит к выводу, что:

существует прямая связь между участием трудящихся в управлении предприятиями и ростом эффективности производства;

предприятия, где работники являются реальными собственниками, принимают участие в управлении производством, капиталом, доходами являются более жизнестойкими и конкурентоспособными [9].

**Постановка задания.** Исследование направлений реформирования хозяйственного механизма современных предприятий и место в этом процессе работающего персонала.

**Изложение материала и результаты.** За годы рыночных преобразований в экономике страны произошли существенные изменения в форме собственности. Однако это не изменило



существенно результаты хозяйственной деятельности. Так, согласно статистических данных, за январь-сентябрь 2015 г. удельный вес предприятий, получивших убыток, составил 40,3 %. Аналогичный показатель за 2013 г. составил 41 % [14]. Это свидетельствует о том, что изменение формы собственности не повлекло существенного улучшения деятельности предприятий.

Таким образом, для повышения эффективности предприятий, необходимо не только изменять форму собственности, но и усовершенствовать их хозяйственный механизм.

Ученые в работе [12,с.59] исследуют направления реформирования хозяйственного механизма в странах СНГ и результаты этого процесса. Авторы приходят к выводу, что хозяйственный механизм на территории СНГ может быть охарактеризован как «административно-зависимая форма собственности». При этом они отмечают, что цель формирования «эффективного собственника» и создание социально ориентированной экономики не достигнута. Как следует из результатов этого исследования, реформирование собственности на территории СНГ не привело к достижению поставленных результатов.

Это подтверждает и Л.И. Абалкин, говоря о собственности, он утверждает, что не только форма собственности влияет на развитие производительных сил. По его мнению, на эффективность деятельности влияют организационные отношения и связи. А это не что иное, как хозяйственный механизм предприятия [1,с.53].

Таким образом, это является подтверждением предыдущих выводов.

В.Я. Амбросов, исследуя социально-экономические отношения в сельском хозяйстве, отмечает, что абсолютное большинство субъектов хозяйствования не привлекает собственников земли к управлению производством, к решению социальных вопросов [2,с.24]. С нашей точки зрения, это является одной из главных причин деградации населения в сельской местности. Отчуждение населения от производства и управления им, отрицательно сказывается на моральном состоянии населения. К сожалению, цели населения определенной местности не всегда совпадают с целями сельскохозяйственных производителей.

Хозяйственный механизм предприятия, с нашей точки зрения, включает:

- организационно-экономический механизм;
- административный механизм;
- нормативно-правовой механизм;
- социально-психологический механизм [10,с.94-95].

Важнейшей составляющей хозяйственного механизма является организационная структура, представляющей собой внутреннюю конструкцию предприятия, на основании которой осуществляется управление им [4,с.96]. Чем более усовершенствованной является организационная структура, тем более эффективно управление предприятием. Именно поэтому улучшение организационной структуры является одним из важнейших направлений усовершенствования хозяйственного механизма предприятия.

Питер Друкер отмечает, что организационная структура не самоцель, это инструмент для повышения эффективности совместного труда [6,с.25]. Этот ученый отмечает также, что в 21 веке самая главная задача менеджмента - это повышение производительности труда работников умственной деятельности [6,с.209-210].

Из этого следует, что организационная структура не является постоянной, она должна изменяться под воздействием требований внутренней и внешней среды. Кроме этого, в хозяйственном механизме необходимо учитывать определенные особенности взаимоотношения с работниками умственного труда, ибо от результатов этого труда зависит результат деятельности всего предприятия.

Б.С. Мильнер, говоря об организации будущего, считает, что главным свойством организации будущего станет ее приспособляемость к постоянно изменяющейся среде. При этом автор выделяет такие черты будущей организации:

- большую гибкость;
- приверженность индивидуумам;
- преимущественное использование команд;
- высокая внутренняя конкурентоспособность;
- стремление к диверсификации [11,с.212-216].

Б.С. Мильнер считает, что для повышения конкурентоспособности организации необходимым является повышение уровня знаний, квалификации сотрудников. Поэтому основа развития

организации, с его точки зрения - это управление знаниями. Мы согласны с такой позицией, ибо именно знания способствуют повышению уровня квалификации персонала, что отражается на результатах их работы. Однако следует отметить, что сами по себе знания еще не способствуют производительному труду. Персонал нуждается в определенной мотивации, стимулировании.

В.В. Добровольский исследует организационную структуру горно-обогатительных комбинатов, считая, что именно совершенствование организационной структуры является важной и актуальной задачей в повышении конкурентоспособности предприятий [5,с.311]. В данной работе Добровольский В.В. исследует применения аутсорсинга горнообогатительными комбинатами с целью повышения их конкурентоспособности на мировом рынке.

Однако говоря о снижении затрат в результате реформирования организационной структуры, автор ничего не говорит о социальной защищенности персонала, сокращённого или переведённого в другие подразделения при аутсорсинге.

В работе [8] авторы раскрывают сущность широко используемой в мире программы ESOP, проявляющаяся в том, что с помощью финансового механизма происходит переход предприятий в собственность работников путём наделения их акциями.

Авторы данной работы исследуют элементы этой программы на примере ПАО «НКМЗ» и показывают эффективность её применения.

Главным и самым ценным ресурсом на предприятии в современных условиях хозяйствования является человек. Многие ученые исследуют место и роль персонала на предприятии и в обществе. Так, Е.С. Пивнев выделяет такие факторы, влияющие на повышение роли персонала в современном обществе:

изменение содержания труда, заключающегося в повышении его интеллектуальности и ответственности;

уменьшение возможности контроля над сотрудниками и повышение значения самоконтроля и самодисциплины;

макроэкономические факторы, проявляющиеся в том, что при равных уровнях развития техники и технологии именно качество персонала является решающим фактором в конкурентной борьбе;

изменение форм и организации труда на предприятии, что проявляется в использовании коллективных форм труда и управления, распространении автономных бригад, привлечение рабочих к управлению производством;

повышение образовательного и культурного уровня работников, увеличение личностных запросов к трудовой деятельности, что проявляется в формировании нового, более зрелого типа работника, который не довольствуется ролью механического исполнения указаний руководства. Особенно это касается молодёжи;

производственная демократия, проявляющаяся в формировании советов рабочих, профессиональных организаций, тарифных соглашений, что позволяет работникам принимать активное участие в решении, прежде всего, социальных вопросов;

рост цены рабочей силы, что связано с высокой заработной платой в развитых странах мира, социальным страхованием [13,с.169-177].

Эти и другие факторы повышают значимость персонала в современном производстве и вызывают необходимость учитывать эти особенности в деятельности предприятий и перспективном их развитии.

Согласно теории человеческого развития, эффективность государственной политики определяется не только и не столько экономическими показателями, сколько развитием человека, его способностей, повышении роли в жизни общества [15,с.96].

Считаем, что учитывать особенности изменения роли персонала в современном производстве необходимо в хозяйственном механизме, составной частью которого является организационная структура.

Учитывая зарубежный опыт и тенденции организационного развития, считаем, что хозяйственный механизм украинских предприятий необходимо совершенствовать в таких направлениях:

- способствовать распространению акций среди работников предприятия;
- организовывать из представителей трудящихся комитеты управления, участвующих в работе правления предприятия, разработке стратегии развития, социальных программ, осуществляющих текущий контроль над положением дел на предприятии;
- массово вовлекать трудящихся в различные «кружки качества», «группы решения различных проблем»;
- отразить эти созданные органы в организационной структуре предприятия, определив их права и обязанности;
- доводить до персонала информацию о состоянии дел в сфере производства, реализации, финансов и других направлений деятельности предприятия;
- постоянно повышать уровень квалификации персонала, поощрять самообразование и использование знаний на производстве;
- содействовать формированию нормального психологического климата на предприятии;
- проводить эффективную социальную политику;
- уменьшить административное воздействие на работающий персонал, заменив его повышением уровня корпоративной культуры, социально-психологическим воздействием, передачей полномочий на низовые звенья организационной структуры предприятия.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Такой подход к совершенствованию хозяйственного механизма позволит сформировать чувство хозяина работающего персонала, что позитивно отразится на конкурентоспособности предприятия. Дальнейшие исследования могут быть проведены в направлении экономической оценки предложенных мероприятий на экономические результаты деятельности.

#### *Список литературы*

1. **Абалкин Л.И.** Собственность, хозяйственный механизм, производительные силы / **Л.И. Абалкин** // Экономическая наука современной России.-Экспресс-выпуск №1(5).-2000.-С.52-53.
2. **Амбросов В.Я.** Власність та дохідність виробництва / **В.Я. Амбросов** // Агроінком : науково-практичне видання. - 2008. - №5. - С. 23 - 24.
3. **Амоша О.І.** Стратегія вдосконалення господарського механізму / **О.І. Амоша** // Вісник НАН України.-2002.-№1.-С.11-15.
4. **Гетьман О.О.** Економіка підприємства: Навч. посіб. // **О.О. Гетьман, В.М. Шаповал** . –К.: Центр учбової літератури, 2010. – 488с.
5. **Добровольский В.В.** К вопросу совершенствование организационной структуры управления горно-обогатительным комбинатом / **В.В. Добровольский** // – Вісник КНУ.-Вип.33, 2012. – С.311-314.
6. **Друкер, Питер,Ф.** Задачи менеджмента в XXI веке.: Пер. с англ./ Питер Друкер,Ф.//М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 272 с.
7. **Економічна енциклопедія: у трьох томах. Т.1.** / редкол.: **С.В. Мочерний** (відп. ред.) та ін.// – К.: Видавничий центр «Академія», 2000. – 864 с.
8. **Еськов А.П.** Концепция рабочей акционерной собственности как важный фактор роста эффективности производства / **А.П. Еськов, Н.С. Рыжиков, Н.В. Чернышова** [и др.] // Вісник ЖДТУ.-2012.-№2(60).-С.185-187.
9. **Колганов А.И.** Коллективная собственность и коллективное предпринимательство / **А.И. Колганов** // – М.: Экономическая демократия. 1993. – 176с.
10. **Лысевич С.Г.** Структура хозяйственного механизма горнорудного предприятия – основа для его совершенствования / **С.Г. Лысевич** // Майбутнє – аудит: матер. міжнар. наук.-практ. конф. 29 лист. 2014 р. – Кривий Ріг: Вид. **Р. Козлов**, 2014. – 351с.
11. **Мильнер Б. З** Теория организации: Учебник / **Б.З. Мильнер** // 2-е изд., перераб. и доп. –М.:ИНФРА-М, 2000. – 480с.
12. **Овчинникова Т. И.** Модели трансформации хозяйственного механизма корпораций в рыночных реформах независимых государств / **Т.И. Овчинникова, И.Л. Полянская, Ю.А. Мороз** // ТДР . 2010. №9.- С.57-59.
13. **Пивнев Е.С.** Теория управления. Учебное пособие / **Е.С. Пивнев** // Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2005. – 246 с.
14. **Фінансові результати діяльності великих та середніх підприємств України за січень-вересень 2015 року** [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
15. **Чухно А.А.** Сучасні економічні теорії: підручник / **А.А. Чухно, П.І. Юхименко, П.М. Леоненко** // - К.: Знання, 2007. – 878с.

Рукопис постуила в редакцію 30.03.16

## А Н О Т А Ц І Ї

УДК 622.06: 662.2

**Коваленко І.Л., Ступник Н.И., Короленко М.К., Полторащенко С.П., Карапа І.А., Киященко Д.В., Небогін В.З.**

Особенности технологии формирования скважинных зарядов эмульсионными ВВ Украинит в подземных условиях

В мировой практике подземной добычи отсутствует опыт формирования и удержания заряда наливных эмульсионных взрывчатых веществ в восходящих и круто-наклонных скважинах диаметром более 90 мм. В Украине при подземной добыче в забоях, недоступных для самоходной техники, осуществляется ручное бурение скважин с диаметром до 105 мм. Особенности разработки железорудных и урановых месторождений Украины определяют необходимость создания уникальной смесительно-зарядной техники, индивидуальной рецептуры компонентов эмульсионных систем и особую технологию формирования заряда в восходящих и круто-наклонных скважинах различного диаметра. Целью работы являлась разработка техники и технологии механизированного заряжания восходящих и круто-наклонных скважин эмульсионным взрывчатым веществом марки Украинит. Задачи работы: разработка рецептуры и оборудования, позволяющего получить высоковязкие эмульсионные композиции с очень высокой скоростью газогенерации, а также разработка устройства для формирования заряда в условиях высокой обводненности. Разработка статического смесителя оригинальной конструкции и применение специально созданной форсунки позволило получать высоковязкие высокодисперсные эмульсионные композиции, обеспечивать равномерное смешение компонентов и высокую скорость газогенерации с дополнительным увеличением дисперсности и вязкости конечного взрывчатого вещества. Конструкция форсунки позволяет размещать на ней патрон-боевик для обеспечения обратного иницирования заряда. Разработанные технические решения легли в основу принципиальной схемы смесительно-зарядной машины типа RTCh-23. Для заряжания кругового веера обводненных скважин на откаточных выработках разработана технология с использованием запорных устройств оригинальной конструкции. Создана самоходная и блочно-модульная техника, позволяющая с высокой производительностью, механизировано заряжать скважины любого диаметра и степени обводненности как с устья, так и с забоя. Промышленное освоение технологии показало ее эффективность, надежность и безопасность по сравнению с пневмозаряджанием скважин тротилсодержащими гранулированными взрывчатыми веществами.

**Ключевые слова:** эмульсионные взрывчатые вещества, смесительно-зарядная техника, восходящие скважины.**Коваленко І.Л., Ступник Н.И., Короленко М.К., Полторащенко С.П., Карапа І.А., Киященко Д.В., Небогін В.З.**

Особливості технології формування свердловинних зарядів емульсійними ВР Україніт в підземних умовах

У світовій практиці підземного видобутку відсутній досвід формування та утримання заряду наливних емульсійних вибухових речовин у висхідних та крутопохилих свердловинах діаметром понад 90 мм. В Україні при підземному видобутку у вибоях, недоступних для самохідної техніки, здійснюється ручне буріння свердловин з діаметром до 105 мм. Особливості розробки залізрудних та уранових родовищ України визначають необхідність створення унікальної змішувально-зарядної техніки, індивідуальної рецептури компонентів емульсійних систем і особливу технологію формування заряду у висхідних та крутопохилих свердловинах різного діаметру. Метою роботи була розробка техніки і технології механізованого заряджання висхідних і крутопохилих свердловин емульсійною вибуховою речовиною марки Україніт. Завдання роботи: розробка рецептури та пристроїв, що дозволяють отримати високов'язкі емульсійні композиції з дуже високою швидкістю газогенерації, а також розробка пристрою для формування заряду в умовах високого обводнення. Розробка статичного змішувача оригінальної конструкції і застосування спеціально створеної форсунки дозволило отримувати високов'язкі високодисперсні емульсійні композиції, забезпечити рівномірне змішування компонентів і високу швидкість газогенерації з додатковим збільшенням дисперсності та в'язкості кінцевої вибухової речовини. Конструкція форсунки дозволяє розмішувати на ній патрон-бойовик для забезпечення зворотнього ініціювання заряду. Розроблені технічні рішення лягли в основу принципової схеми змішувально-зарядної машини типу RTCh-23. Для заряджання кругового віяла обводнених свердловин на відкатних виробках розроблена технологія з використанням запірних пристроїв оригінальної конструкції. Створена самохідна і блочно-модульна техніка, що дозволяє з високою продуктивністю механізовано заряджати свердловини будь-якого діаметру і ступеню обводнення, як з гирла, так і з забоя. Промислове освоєння технології показало її ефективність, надійність і безпеку у порівнянні з пневмозарядженням свердловин, гранульованими трилітмісними вибуховими речовинами.

**Ключові слова:** емульсійні вибухові речовини, змішувально-зарядна техніка, висхідні свердловини.**Kovalenko I.L., Stupnik N.I., Korolenko M.K., Poltorashchenko S.P., Karapa I.A., Kiiashchenko D.V., Nebogin V.Z.**

Features of technology of borehole charge forming by emulsion explosives Ukrainite in underground conditions

In world practice of underground mining there is no experience in the formation and retention of the charge of filling emulsion explosives in the upward and high-angle wells with diameter of more than 90 mm. In Ukraine, for underground mining in bottom holes not accessible for the self-propelled machinery, manual boring of wells diameter up to 105 mm is carried out. The aim of the paper is development of formulations and equipment allowing obtaining of high-viscosity emulsion compositions with very high rate of gas generation, as well as development of device for charge forming in high water cuts. Development of the original design static mixer and the use of specially designed injector made it possible to obtain high viscosity fine emulsion compositions providing uniform mixing of the components and the high rate of gas generation with additional increase in degree of fineness and viscosity of the final explosive. The injector design makes it possible to place priming cartridge on it for ensuring inverse initiation of the charge. The developed technical solutions formed the basis of the circuit diagram of the mobile manufacturing unit of RTCh-23 type. For charging the circular drill ring of flooded wells on the mine roadways the technology with the use of locking devices of the original design was developed. Self-propelled and block-modular equipment is created allowing mechanized charging wells of any diameter and degree of watering both from mouth and bottom with high-performance.

**Keywords:** emulsion explosives, mix-charging equipment, upward wells

УДК 001.57: 681.5.015

**Кондратець В.О., Мацуї А.М.** Математичне моделювання рівномірного руху пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора

Подроблення бідних залізних руд у перших стадіях відрізняється великими витратами, що в значній мірі викликано частковою або повною відсутністю інформації відносно деяких технологічних процесів, до яких можливо віднести і транспортування пульпи у пісковому жолобі механічного односпірального класифікатора, де недостатньо вивчений рівномірний рух пульпи. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Її метою є математичне моделювання рівномірного руху пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора з пошуком залежностей між основними параметрами та встановленням меж їх зміни при експлуатації технологічного обладнання. Отримані аналітичні залежності об'ємної витрати пульпи та швидкості її руху від висоти потоку. Між об'ємною витратою пульпи і висотою потоку спостерігається практично лінійна залежність. Середня швидкість потоку пульпи нелінійно залежить від висоти при будь-якій ширині піскового жолоба. За певних похилах піскового жолоба, матеріалі футеровки та ширині дана залежність є функціональною. Висота потоку, об'ємна витрата пульпи, середня швидкість і час її руху змінюються в достатньо широких межах. Ширину піскового жолоба при проектуванні слід вибирати такою, що дорівнює 0,3 м. Такий канал володіє необхідною пропускною спроможністю і незначною нелінійністю статичної характеристики. Отримані результати являють собою основу для розробки засобів вимірювання об'ємної витрати пульпи у відкритих потоках, встановлення їх меж вимірювання, визначення факторів впливу на точність. Крім того, вони є базою для математичного моделювання хвильового руху пульпи у піскових жолобах механічних односпіральних класифікаторів.

**Ключові слова:** односпіральний класифікатор, пісковий жолоб, рівномірний рух, моделювання, об'ємна витрата, швидкість

**Кондратец В.А., Мацуї А.Н.** Математическое моделирование равномерного движения пульпы в песчаном желобе односпирального классификатора

Измельчение бедных железных руд в первых стадиях отличается большими расходами, что в значительной степени вызвано частичным или полным отсутствием информации относительно некоторых технологических процессов, к которым возможно отнести и транспортировка пульпы в песчаном желобе механического односпирального классификатора, где недостаточно изучено равномерное движение пульпы. Решение данной задачи складывает актуальность работы. Ее целью является математическое моделирование равномерного движения пульпы в песчаном желобе односпирального классификатора с поиском зависимостей между основными параметрами и установлением пределов их изменения при эксплуатации технологического оборудования. Полученные аналитические зависимости объемной затраты пульпы и скорости ее движения от высоты потока. Между объемной затратой пульпы и высотой потока наблюдается практически линейная зависимость. Средняя скорость потока пульпы нелинейно зависит от высоты при любой ширине песчаного желоба. За определенных похилах песчаного желоба, материале футеровки и ширине данная зависимость является функциональной. Высота потока, объемная затрата пульпы, средняя скорость и время ее движения изменяются в достаточно широких пределах. Ширину песчаного желоба при проектировании следует выбирать такой, что равняется 0,3 м. Такой канал владеет необходимой пропускной способностью и незначительной нелинейностью статической характеристики. Полученные результаты являют собой основу для разработки средств измерения объемной затраты пульпы в открытых потоках, установление их пределов измерения, определения факторов влияния на точность. Кроме того, они являются базой для математического моделирования волнового движения пульпы в песчаных желобах механических односпиральных классификаторов.

**Ключевые слова:** односпиральный классификатор, песчаный желоб, равномерное движение, моделирование, объемная затрата, скорость

**Kondratets V., Matsui A.** mathematical modeling of uniform motion in a sand pulp chute single spiral classifier

Grinding poor iron ore in the first stage is characterized by high cost, which is largely caused by the partial or complete absence of information about certain processes, which include transportation and pulp in the mechanical sand chute single-classifier where poorly understood uniform motion of the pulp. The solution to this task is the relevance of the work. Its purpose is mathematical modeling of uniform motion in a sand pulp chute single-classifier with the search for relationships between key parameters and boundary changes in the operation of the process equipment. The resulting analysis based pulp volume flow and its velocity on the height of the flow. Between the volumetric flow rate pulp and the height of the flow is observed almost linear relationship. The average flow rate of pulp depends nonlinearly on the height of an arbitrary width of the sand chute. When determining the slope of sand trench lining material and the width of this relationship is a functional. The height of the flow, volume flow pulp, the average speed of its motion and time vary within sufficiently wide limits. The width of the sand chute the design should be chosen such that amounted to 0.3 m. This channel provides the necessary bandwidth and small nonlinear static characteristics. The results serve as a basis for the development of tools measuring the volumetric flow rate pulp in the open streams, establishing their limits of measurement, determining factors of influence on the accuracy. In addition, they are the basis for mathematical modeling of wave motion pulp in sand chutes mechanical single-classifiers.

**Keywords:** single spiral classifier, sand chute, uniform motion, modeling, volumetric flow, speed

УДК 622.272: 624.191.5

**Роечко А.Н., Харин С.А.** Анализ применения контурного взрывания при организации проходческих работ с использованием JAVA-программ

Указано, что сооружение протяженных горизонтальных горных выработок буровзрывным способом в крепких породах, в условиях Криворожского бассейна, приводит к тому, что фактическая площадь поперечного сечения может существенно превышать проектную, а величина отбитой породы на 15-19 % быть больше расчетной, что приводит к дополнительным работам и затратам времени и средств при уборке породы и креплении выработок. Отмечено, что в

таких условиях для уменьшения переборов и трещинообразования в массиве целесообразно применение контурного взрывания. На основе разработки программного обеспечения на языке Java, которое выступило в качестве инструмента исследований вопросов организации строительства горных выработок, использованы возможности Swing - библиотеки для создания графического интерфейса, которая содержит ряд графических компонентов, таких как кнопки, поля ввода, таблицы и предоставляет более гибкие интерфейсные компоненты, чем более ранняя библиотека AWT. Получена зависимость параметров размещения шпуров при контурном взрывании от коэффициента крепости пород по шкале проф. М.М. Протодяконова, при этом показано, что расстояние между шпурами контурного ряда и линия наименьшего сопротивления в зависимости от  $f$  соответственно описываются логарифмической и степенной функциями. Показаны результаты анализа воздействия контурного взрывания на скорость проходки выработок для разных случаев. Отмечено, что интенсивность строительства горизонтальных выработок при контурном взрывании при прочих равных условиях может снижаться в 1,1-1,24 раза, при этом более значительное уменьшение скорости работ при росте  $f$  объясняется уменьшением производительности средств бурения.

**Роенко А.М., Харін С.А.** Аналіз застосування контурного підривання при організації прохідницьких робіт з використанням JAVA-програм

Зазначено, що спорудження протяжних горизонтальних гірничих виробок буропідривним способом в міцних породах, в умовах Криворізького басейну, призводить до того, що фактична площа поперечного перерізу може істотно перевищувати проектну, а величина відбитої породи на 15-19 % бути більше розрахункової, що призводить до додаткових робіт і витрат часу і коштів при збиранні породи і кріпленні виробок. Відзначено, що в таких умовах для зменшення переборів і трещиноутворення в масиві доцільне застосування контурного підривання. На основі розробки програмного забезпечення на мові Java, яке виступило в якості інструменту досліджень питань організації будівництва гірничих виробок, використано можливості Swing - бібліотеки для створення графічного інтерфейсу, яка містить ряд графічних компонентів, таких як кнопки, поля введення, таблиці і надає більш гнучкі інтерфейсні компоненти, ніж більш рання бібліотека AWT. Отримано залежність параметрів розміщення шпурів при контурному підриванні від коефіцієнту міцності порід за шкалою проф. М.М. Протодяконова, при цьому показано, що відстань між шпурами контурного ряду і лінія найменшого опору в залежності від  $f$  відповідно описуються логарифмічною і ступінцевою функціями. Показані результати аналізу впливу контурного підривання на швидкість проходки виробок для різних випадків. Відзначено, що інтенсивність будівництва горизонтальних виробок при контурному підриванні за інших рівних умов може знижуватися в 1,1-1,24 рази, при цьому більш значне зменшення швидкості робіт при зростанні  $f$  пояснюється зменшенням продуктивності засобів буріння.

**Royenko A.N., Kharin S.A.** Analysis of applications to the contour blasting tunnel works using JAVA-software

It is indicated that the construction of the long horizontal mine workings by drilling and blasting in hard rock, in terms of the Krivoy Rog basin leads to the actual cross-sectional area may be substantially higher than projected, and the value of muck to be more than 15-19% estimated, resulting in additional work and cost time and money in cleaning rocks and mount workings. It is noted that in such circumstances, to reduce the search and cracking in the array is advisable to use a contour blasting. On the basis of software development language Java, which acted as a tool of research questions of the organization of building mines. Use your ability to Swing - a library for creating graphical user interface, which includes a number of graphical components such as buttons, input fields, tables, and provides a more flexible interface components than the earlier library AWT. The dependence of the parameters of drilling in contour blasting of rock fortress factor on a scale of prof. M. Protodjakonov, while shows that the distance between the hole contour line and the line of least resistance as a function of  $f$ , respectively described by logarithmic and exponential functions. The results of analysis of the impact of contour blasting workings in the rate of penetration for different occasions. It is noted that the intensity of horizontal workings in contour blasting ceteris paribus may decline to 1,1-1,24 times, with a significant decrease in performance with increasing  $f$  due to the reduction of productivity of drilling tools.

УДК 622.834:622.862.3

**Кипко А.Э., Чепига Д.А., Подкопаев Е.С.** О проявлении природных опасностей при поддержании выработок в сложных горно-геологических условиях

Применяемые в настоящее время способы управления кровлей в лаве и охраны подготовительных выработок в большинстве случаев не позволяют максимально эффективно использовать механизм разгрузки боковых пород от вредных проявлений горного давления. Все это является причиной обрушений пород кровли и почвы, завалов выработок и высокого уровня травматизма. В результате выполненных исследований было установлено, что наиболее неблагоприятная геомеханическая обстановка в угленосном массиве, с точки зрения проявления природных опасностей, имеет место при способе управления кровлей удержанием на кострах. Это можно объяснить неэффективным взаимодействием боковых пород с охранными сооружениями, оставляемыми в выработанном пространстве по всей длине лавы. Имея ограниченную податливость (до 10%) эти сооружения являются концентраторами напряжений и способствуют максимальному изгибу породных слоев. Такое положение является особо опасным, при наличии в их составе неустойчивых пород. Совершенно иная картина имеет место при наличии над штреком широкой податливой опоры, обеспечивающей плавный прогиб пород кровли. Правильное представление о характере распределения напряжений в массиве пород при разработке крутых угольных пластов способствует не только разработке эффективных мероприятий по сохранению устойчивости выработок, но и снижению уровня травматизма горнорабочих. При этом необходимо учитывать надежное взаимодействие применяемых охранных сооружений с породами кровли и почвы. Такой подход позволит минимизировать концентрацию напряжений в массиве. Это может быть обеспечено за счет разработки специальных способов по механическому закреплению боковых пород или их удержанию, с помощью специальных конструкций.

**Ключевые слова:** угольный пласт, боковые породы, способ управления кровлей, моделирование, охранные сооружения, подготовительная выработка.

**Кіпко О.Е., Чепіга Д.А., Подкопась Є.С.** Про прояв природних небезпек при підтримці виробок в складних гірничо-геологічних умовах

Способи керування покрівлею в лаві і охорони підготовчих виробок, котрі застосовуються в даний час, в більшості випадків не дозволяють максимально ефективно використовувати механізм розвантаження бічних порід від шкідливих проявів гірничого тиску. Все це є причиною обвалень порід покрівлі і підшви, завалів виробок і високого рівня травматизму. В результаті виконаних досліджень було встановлено, що найбільш несприятлива геомеханічна ситуація у вуглепородному масиві, з точки зору прояву природних небезпек, має місце при способі управління покрівлею утриманням на кострах. Це можна пояснити неефективною взаємодією бічних порід з охоронними спорудами, що залишаються у виробленому просторі по всій довжині лави. Маючи обмежену податливість (10%) ці споруди є концентраторами напружень і сприяють максимальному вигину породних шарів. Такий стан є особливо небезпечним, при наявності в породах безпосередньої підшви нестійких порід. Зовсім інша картина має місце при наявності над штреком широкою податливої опори, що забезпечує плавний прогин порід покрівлі. Правильне уявлення про характер розподілу напружень в масиві порід при розробці крутих вугільних пластів сприяє не тільки розробці ефективних заходів щодо збереження стійкості виробок, але і зниження рівня травматизму гірників. При цьому необхідно враховувати надійну взаємодію охоронних споруд, які застосовуються, з породами покрівлі і підшви. Такий підхід дозволить мінімізувати концентрацію напружень в масиві. Це може бути забезпечено за рахунок розробки спеціальних способів по механічному закріпленню бічних порід або їх утриманню, за допомогою спеціальних конструкцій.

**Ключові слова:** вугільний пласт, бічні породи, спосіб управління покрівлею, моделювання, охоронні спорудження, підготовча виробка.

**Kipko A.E., Chepiga D.A., Podkopaev E.S.** On the manifestation of natural hazards while maintaining developments in complex geological conditions

Roof control methods in the lava and the protection of development workings which are currently used in most cases do not allow the best use of the mechanism of discharging lateral rocks from harmful manifestations of rock pressure. All this is a cause of the collapse of the roof and the ground rocks, rubble workings and high level injury. That the most unfavorable geomechanical conditions in coal rock mass, in terms of manifestations of natural hazards, It occurs in a process control roof retention at the cribbing was established as a result of the research. This can be attributed to inefficient interaction rock walls with security facilities, that are left in the mined-out space along the entire length of lava. With unlimited ductility (10%) of these structures are stress concentrators and contribute the maximum bending of rock layers. This situation is particularly dangerous in the presence of rocks in the immediate soil unstable rocks. A completely different situation occurs in the presence of drifts wide supple support, which provides a smooth deflection of roof rock. Proper understanding of the nature of the distribution of stresses in the rock mass in the development of steep coal seams contributes not only to the development of effective measures to preserve the stability of workings, but also reduce the level of injuries miners. It is necessary to take into account the interaction of reliable security structures applied to the roof rocks and soil. Such an approach would minimize the stress concentration in the array. This can be achieved through the development of specific methods of mechanical fastening wall rocks or their retention with special designs.

Keywords: coal vein, rock walls, roof control method, modeling, installations security, development working.

UDC 622.281.74

**Tereschuk R., Hryhoriev O., Tikhonenko V.** Parameters of single anchor effect area in homogeneous border rock mass

Analysis of basic methods to increase stability of mine workings is carried out. Objective of the paper is to study and determine area of single anchor effect on border mass at different anchor length, mining depth and physical and mechanical characteristics of enclosing rocks. Results of mathematical simulation of mine working located in homogeneous rock mass and fixed by single anchor are given. The research was based on the data of surveying regularities in changes of border mass strain-stress behaviour and amounted to the determining of expected displacement of natural mine working contour. Dependences of changes in single anchor effecting border rock mass upon anchor length, the working depth, and physical and mathematical characteristics of rock are obtained. Rational dimensions of single anchor effect area on border mass upon the anchor length, the mine working depth and physical and mathematical characteristics of rock are determined. Efficient anchor length for the mining and geological conditions is defined. Further research will be focused on studying effect of single anchor in heterogeneous border rock mass.

**Keywords:** anchor, mathematical simulation, border rock mass, mine working.

**Терещук Р.Н., Григорьев А.Е., Тихоненко В.В.** Параметры зоны влияния одиночного анкера, установленного в однородном приконтурном массиве

Выполнен анализ основных направлений повышения устойчивости горных выработок. Целью работы является изучить и определить размеры зоны влияния одиночного анкера на приконтурный массив при различной длине анкера, различных глубинах разработки и физико-механических характеристиках вмещающих пород. Приведены результаты математического моделирования выработки, которая расположена в однородном породном массиве и закреплена при помощи одиночного анкера. Исследование влияния одиночного анкера на приконтурный массив выполнялось на основе изучения закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния приконтурного массива пород и сводилось к определению ожидаемых смещений породного контура выработки. Получены зависимости изменения зоны влияния одиночного анкера на приконтурный массив от длины анкера, глубины заложения выработки и физико-механических характеристик пород. Определены рациональные размеры зоны влияния одиночного анкера на приконтурный массив от длины анкера, глубины заложения выработки и физико-механических характеристик пород. Для данных горно-геологических условий определена рациональная длина анкера. Дальнейшие исследования будут направлены на изучения влияния одиночного анкера на неоднородный приконтурный массив.

**Ключевые слова:** анкер, математическое моделирование, приконтурный массив, горная выработка.

**Терещук Р.М., Григор'єв О.С., Тихоненко В.В.** Параметри зони впливу одиночного анкера, що встановлений в однорідному приконтурному масиві

Виконано аналіз основних напрямків підвищення стійкості гірничих виробок. Метою роботи є вивчити та визначити розміри зони впливу одиночного анкера на приконтурний масив при різній довжині анкера, різних глибинах розробки та фізико-механічних характеристиках порід, що вміщують. Наведено результати математичного моделювання виробки, що розташована в однорідному породному масиві та закріплена за допомогою одиночного анкера. Дослідження впливу одиночного анкера на приконтурний масив виконувалося на основі вивчення закономірностей зміни напружено-деформованого стану приконтурного масиву порід і зводилося до визначення очікуваних зміщень породного контуру виробки. Отримано залежності зміни зони впливу одиночного анкера на приконтурний масив від довжини анкера, глибини закладення виробки та фізико-механічних характеристик порід. Визначено оптимальні розміри зони впливу одиночного анкера на приконтурний масив від довжини анкера, глибини закладення виробки та фізико-механічних характеристик порід. Для даних гірничо-геологічних умов визначена раціональна довжина анкера. Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення впливу одиночного анкера на неоднорідний приконтурний масив.

**Ключові слова:** анкер, математичне моделювання, приконтурний масив, гірничі виробки.

УДК 626.82

**Є.З. Маланчук, А.О. Христюк** Моделювання системи керування процесом свердловинного гідровидобутку корисних копалин шляхом візуального програмування

З відкриттям на Рівненщині покладів цеоліт-смектитових туфів та зернистих фосфоритів постала проблема їх ефективної розробки і використання в народному господарстві. В результаті аналізу геологічних особливостей залягання порід авторами обґрунтовано доцільність використання свердловинної гідротехнології видобутку.

Складність і умови проведення технологічного процесу підземного гідророзмиву створюють проблеми оперативного контролю за технологічними параметрами. Авторами пропонується здійснювати управління процесом гідромоніторного розмиву на основі контролю відстані між насадкою гідромонітора і стінкою вибою та швидкості розмиву породи. Контроль за зміною розмірів камери виїмання несе також інформацію про продуктивність процесу розмиву.

Сучасні ультразвукові, акустичні та лазерні дальноміри дають змогу проводити вимірювання відстані безконтактним способом з високою точністю та швидкістю. Використання ПЛК дозволить реалізовувати програмним способом складні закони регулювання та логічні схеми обробки інформації, будувати складні системи керування процесами свердловинного гідровидобутку.

Авторами запропонована та побудована імітаційна Simulink-модель системи керування процесом гідромоніторного розмиву на основі контролю швидкості та дальності розмиву. Запропоновано алгоритм роботи, придатний для програмної реалізації в промисловому логічному контролері.

Наведена імітаційна Simulink-модель може бути використана при проектуванні та розрахунку систем управління процесом гідромоніторного розмиву та бути основою для побудови гнучких систем управління з використанням адаптивних, екстремальних, самонастроювальних та нечітких методів керування, що дозволить використовувати їх для видобутку різних корисних копалин.

**Ключові слова:** свердловинний гідровидобуток, моделювання, гідромонітор, імітаційна модель, робоча рідина, швидкість розмиву.

**Маланчук Е.З., Христюк А.А.** Моделирование системы управления процессом скважинной гидродобычи полезных ископаемых путем визуального программирования.

С открытием в Ровенской области залежей цеолит-смектитовых туфов и зернистых фосфоритов всталла проблема их эффективной разработки и использования в народном хозяйстве. В результате анализа геологических особенностей залегания пород авторами обосновано целесообразность использования скважинной гидротехнологии добычи. Сложность и условия проведения технологического процесса подземного гидроразмыва создают проблемы оперативного контроля технологических параметров. Авторами предлагается осуществлять управление процессом гидромониторного размыва на основе контроля расстояния между насадкой гидромонитора и стенкой забоя и скорости размыва породы. Контроль за изменением размеров камеры извлечения несет также информацию о производительности процесса размыва. Современные ультразвуковые, акустические и лазерные дальнометры позволяют проводить измерения расстояния бесконтактным способом с высокой точностью и скоростью. Использование ПЛК позволит реализовывать программным способом сложные законы регулирования и логические схемы обработки информации, строить сложные системы управления процессами скважинной гидродобычи. Авторами предложена и построена имитационная Simulink-модель системы управления процессом гидромониторного размыва на основе контроля скорости и дальности размыва. Предложенный алгоритм работы пригоден для программной реализации в промышленном логическом контроллере. Приведенная имитационная Simulink-модель может быть использована при проектировании и расчете систем управления процессом гидромониторного размыва и быть основой для построения гибких систем управления с использованием адаптивных, экстремальных, самонастраивающихся и нечетких методов управления, что позволит использовать их для добычи различных полезных ископаемых.

**Ключевые слова:** скважинная гидродобыча, моделирование, гидромонитор, имитационная модель, рабочая жидкость, скорость размыва.

**E.Z. Malanchuk, A.O. Khrystyuk** Visual programming in modeling of control system of hydraulic borehole mining.

With the discovery of deposits in the Rivne region zeolite-smectite tuffs and granular phosphorite faced the problem of their effective development and use in the national economy. As a result of analysis of geological singularities, children bedding rocks authors justified the feasibility of using wellbore hydrotechnologies production. The complexity and conditions of the technological process underground gidrorazmyva create problems vno-go-operative control of technological parameters. The authors propose to manage the process of guide-romonitornogo erosion on the basis of the distance between the nozzle jetting



control and face the wall and rock erosion rate. Monitoring the changes in the size of the extraction chamber also carries information about the manufacturer, of the erosion process. Modern ultrasound, acoustic and laser dalmemiry allow measurement of distance in a contactless manner with high precision and speed. Using a PLC allows to implement programmatically complex regulatory laws and logic of information processing, to build sophisticated process control systems hydraulic borehole. The authors proposed and constructed a simulation model of the Simulink-jetting process control system based on erosion control RMS-velocity and range of erosion. The proposed algorithm works suitable for software implementation in industry Mr. logic controller. The above simulation the Simulink-model can be used at the project-ing and calculating control systems process jetting erosion and serve as the basis for the construction of flexible control systems with the use of adaptive, extreme, self-tuning and fuzzy methods-ment councils, which will use them for the production of various minerals .

**Keywords:** hydraulic borehole mining, modeling, hydraulic giant, simulation moel, hydraulic fluid, speed of erosion.

УДК 622.698(01)

**Білецький В.С., Світлий Ю.Г.** Гідравлічний транспорт відходів вугільної промисловості та теплоенергетики

Запропонована методика розрахунку параметрів гідравлічного транспортування відходів вугільної промисловості та теплоенергетики, зокрема, вугільних шламів та золи виносу і шлаку. При цьому в основу розрахунку гідравлічних та технологічних параметрів при проектуванні промислових гідротранспортних систем для видалення відходів флотації вуглезбагачувальних фабрик, золи та шлаків теплових електростанцій, гранульованих шлаків покладено дані експериментальних досліджень, які отримано авторами на пілотних установках з трубопроводами промислових діаметрів, а також в умовах виробництва на хвостопроводах та золошлакопроводах.

Узагальнення, обробка та аналіз експериментальних даних та матеріалів промислових спостережень дали можливість отримати емпіричні залежності для визначення критичних швидкостей та питомих гідравлічних опорів.

В основу розрахунку гідравлічних та технологічних параметрів при проектуванні промислових гідротранспортних систем для видалення відходів флотації вуглезбагачувальних фабрик, золи та шлаків теплових електростанцій, гранульованих шлаків покладено дані експериментальних досліджень, які отримано авторами на пілотних установках з трубопроводами промислових діаметрів, а також в умовах виробництва на хвостопроводах та золошлакопроводах. Запропонована методика розрахунку параметрів гідравлічного транспортування відходів вугільної промисловості та теплоенергетики, зокрема, вугільних шламів та золи виносу і шлаку.

**Ключові слова:** гідравлічний транспорт, вугільний шлам, відходи ТЕС.

**Белецкий В.С., Свитлый Ю.Г.** Гидравлический транспорт отходов угольной промышленности и теплоэнергетики

Предложена методика расчета параметров гидравлического транспортирования отходов угольной промышленности и теплоэнергетики, в частности, угольных шламов, золы уноса и шлака. При этом в основу расчета гидравлических и технологических параметров при проектировании промышленных гидротранспортных систем для удаления отходов флотации углеобогатительных фабрик, золы и шлаков тепловых электростанций, гранулированных шлаков положены данные экспериментальных исследований, полученные авторами на пилотных установках с трубопроводами промышленных диаметров, а также в условиях производства на хвостопроводах и золошлакопроводах.

Обобщение, обработка и анализ экспериментальных данных и материалов промышленных наблюдений позволили получить эмпирические зависимости для определения критических скоростей и удельных гидравлических сопротивлений.

В основу расчета гидравлических и технологических параметров при проектировании промышленных гидротранспортных систем для удаления отходов флотации углеобогатительных фабрик, золы и шлаков тепловых электростанций, гранулированных шлаков положены данные экспериментальных исследований, которые получены авторами на пилотных установках с трубопроводами промышленных диаметров, а также в условиях производства на хвостопроводах и золошлакопроводах. Предложенная методика расчета параметров гидравлической транспортировки отходов угольной промышленности и теплоэнергетики, в частности, угольных шламов и золы выноса и шлака.

**Ключевые слова:** гидравлический транспорт, угольный шлам, отходы ТЭС.

Beletsky V.S., Svitly Y.G. Slurry transport coal mining waste and combined heat and power

Waste coal industry - coal sludge with high ash and waste heat power - fly ash - large-products, for which the transfer within enterprises use industrial slurry transport.

The method of calculating the parameters of the hydraulic transportation of waste coal and thermal power, including coal sludge and fly ash and slag. Thus the basis for calculating the hydraulic and process parameters in the design of industrial hydrotransport systems for waste flotation coal preparation plants, ash and slag thermal power stations, granulated slag on data from experimental studies that obtained by the authors in pilot installations of pipelines industrial diameters, as well as in production on hvostoprovodah and zoloshlakoprovodah.

Synthesis, processing and analysis of experimental data and observations industrial materials made it possible to get empirical dependences for determination of critical velocity and specific hydraulic resistance.

The interest of international scientific and technical community of hydraulic transport of coal and of coal materials, waste of thermal power station confirmed today by a number of publications. This shows a return of interest in hydraulic solid materials, which peaked at 70-90 years of the twentieth century. It actualizes our modern research.

**Keywords:** slurry transport, coal slurry, thermal power station, fly ash.

УДК 621.651.694

**Ткаченко Н.В.** Увеличение мотто-ресурса винтовых забойных двигателей за счет упрочнения поверхностного слоя их роторов

Проведен анализ причин выхода из строя винтовых забойных двигателей, показано, что большинство случаев потери работоспособности связанные с износом рабочих органов. Одним из решений продолжения срока службы винтовых забойных двигателей есть изготовление рабочих органов повышенной надежности. Наибольшее распространение

получил способ упрочнения поверхностного слоя ротора методом хромирования. Как показала практика, несмотря на высокую износостойкость хромовых покрытий, хромирования поверхностного слоя не позволяет существенно увеличить долговечность ротора, а изготовление новых роторов, в конечном счете, увеличивает стоимость двигателя.

Для решения этой проблемы предлагается альтернативный вариант поверхностного упрочнения ротора газотермическим напылением. Анализ показывает, что данный метод является одним из кардинальных в решении вопроса повышения надежности ротора, снижения себестоимости его обслуживания, обеспечения конкурентоспособности, продолжения ресурса эксплуатации винтового забойного двигателя. С использованием оборудования, которое существует в настоящее время, материалов и технологий газотермического напыления становится возможным значительно снизить или исключить влияние на изнашивание деталей таких факторов, как эрозия, коррозия, кавитация и другие. Приведены преимущества и результаты использования метода газотермического напыления.

Внедрение в конструкцию винтовых забойных двигателей роторов с упрочненным поверхностным слоем обеспечит повышение их энергетических характеристик и надежности при бурении и ремонте нефтяных и газовых скважин.

**Ключевые слова:** мотто-ресурс, винтовые забойные двигатели, газотермическое напыление, работоспособность.

**Ткаченко Н.В.** Збільшення мотто-ресурсу гвинтових забійних двигунів за рахунок зміцнення поверхневого шару їх роторів

Проведений аналіз причин виходу з ладу гвинтових забійних двигунів, показано, що більшість випадків втрати працездатності пов'язані зі зносом робочих органів. Одним з рішень продовження терміну служби гвинтових забійних двигунів є виготовлення робочих органів підвищеної надійності. Найбільшого поширення набув спосіб зміцнення поверхневого шару ротора методом хромування. Як показала практика, незважаючи на високу зносостійкість хромових покриттів, хромування поверхневого шару не дозволяє істотно збільшити довговічність ротора, а виготовлення нових роторів, кінець кінцем, збільшує вартість двигуна.

Для вирішення цієї проблеми пропонується альтернативний варіант поверхневого зміцнення ротора газотермическим напыленням. Аналіз показує, що цей метод є одним з кардинальних у вирішенні питання підвищення надійності ротора, зниження собівартості його обслуговування, забезпечення конкурентоспроможності, продовження ресурсу експлуатації гвинтового забійного двигуна. З використанням устаткування, яке існує нині, матеріалів і технологій газотермического напылення стає можливим значно понизити або виключити вплив на зношування деталей таких чинників, як ерозія, корозія, кавітація і інші. Приведені переваги і результати використання методу газотермического напылення.

Впровадження в конструкцію гвинтових забійних двигунів роторів із зміцненим поверхневим шаром забезпечить підвищення їх енергетичних характеристик і надійності при бурінні і ремонті нафтових і газових свердловин.

**Ключові слова:** мотто-ресурс, гвинтові забійні двигуни, газотермічне напылення, працездатність.

**Ткаченко Н.В.** Increase of slogan-resource of spiral downhole motors due to work-hardening of superficial layer of their rotors

The analysis of reasons of death is conducted spiral downhole motors, it is shown that most cases of loss of capacity related to the wear of working organs. One of decisions of extending of service of spiral downhole motors is making of working organs of enhanceable reliability. Most distribution was got by the method of work-hardening of superficial layer of rotor by the method of chrome-plating. As practice showed, in spite of high wearproofness of chromic coverages, chrome-plating of superficial layer longevity of rotor, and making of new rotors, does not allow substantially to increase, in final analysis, increases the cost of engine.

For the decision of this problem the alternative variant of the superficial work-hardening of rotor is offered газотермическим напылением. An analysis shows that this method is one of cardinal in the decision of question of increase of reliability of rotor, declines of prime price of his service, providing of competitiveness, continuation of resource of exploitation of spiral downhole motor. With the use of equipment which exists presently, materials and technologies of газотермического напыления, becomes possible considerably to reduce or eliminate influence on the wear of details of such factors, as erosion, corrosion, кавітація et al. Advantages over and results of the use of method of газотермического напыления are brought.

Introduction in the construction of spiral downhole motors of rotors with the work-hardened superficial layer will be provided by the increase of their power descriptions and reliability at the boring drilling and repair of petroleum and gas mining holes.

**Keywords:** moto resource, spiral downhole motors, gas is thermal dust, work is ability.

УДК 624.131

**Григорьев И.Е., Кононенко В.В., Григорьев Ю.И** Оценка влияния геометрической формы контура на характер напряжений и деформаций в обделке туннеля

Приведен краткий обзор типов техногенных объектов, приведена их краткая классификация. Определено, что создание георесурсов необходимо осуществлять в процессе эксплуатации месторождения. Рассмотрен способ формирования техногенного месторождения. Способ предусматривает закладку горизонтальных тоннелей и вертикальных колодцев при формировании техногенного месторождения. Оценено влияние характера геометрической формы контура выработки на характер деформирования и разрушения породного массива. Была рассмотрена круглая и арочная форма сечения выработки. Решение задачи проводилось с помощью метода конечных элементов. Решение реализовано программным комплексом PLAXIS в связи с невозможностью аналитического решения. Комплекс представляет собой пакет вычислительных программ для конечно-элементного расчёта напряжённно-деформированного состояния сооружений, фундаментов и оснований. Рассмотренная задача решалась как статическая, для упрощения расчетов была принята модель Кулона-Мора для изотропного грунта. В ходе расчета получены значения напряжённно-деформированного состояния на контуре обделки туннеля. Расчеты показали, что толщина крепи туннеля в 300 мм проходит проверку по несущей способности для обоих вариантов сечения конструкции. Установлено, что для ароч-

ного варианта обделки выработки преобладают значительные деформации в подошве, что приведет к вспучиванию подошвы выработки. Сделан вывод, что круглое сечение обделки туннеля более предпочтительно как с точки технологически-конструктивных, так и деформационных особенностей. Более детальные результаты исследований позволят получить динамический анализ устойчивости контура выработки и использование нелинейных моделей с анизотропным грунтом. Такие расчеты могут являться предметом дальнейших исследований в выбранном направлении.

**Ключевые слова:** горная порода, техногенные объекты, туннель, обделка, напряжённое состояние, расчётная схема.  
**Григор' єв І. С., Кононенко В. В., Григор' єв Ю. І.** Оцінка впливу геометричної форми контура на характер напруги і деформацій в обробленні тунеля

Проведено короткий огляд типів техногенних об'єктів, наведено їх коротку класифікацію. Визначено, що створення георесурсів необхідно здійснювати в процесі експлуатації родовища. Розглянуто спосіб формування техногенного родовища. Спосіб передбачає закладку горизонтальних тунелів і вертикальних колодязів при формуванні техногенного родовища. Оцінено вплив характеру геометричної форми контуру виробки на характер деформування і руйнування породного масиву. Була розглянута кругла і арочна форма перерізу виробки. Рішення задачі проводилося за допомогою методу скінченних елементів. Рішення реалізовано програмним комплексом PLAXIS у зв'язку з неможливістю аналітичного рішення. Комплекс являє собою пакет обчислювальних програм для кінцево-елементного розрахунку напружено-деформованого стану споруд, фундаментів і основ. Розглянута задача вирішувалася як статична, для спрощення розрахунків була прийнята модель Кулона-Мора для ізотропного ґрунту. В ході розрахунку отримано значення напружено-деформованого стану на контурі обкладки тунелю. Розрахунки показали, що товщина кріплення тунелю в 300 мм проходить перевірку за несучою здатністю для обох варіантів перетину конструкції. Встановлено, що для арочного кріплення варіанти обкладки виробки мають місце значні деформації в підшві, що призведе до здуття підшви виробки. Зроблено висновок, що круглий перетин кріплення тунелю більш доцільний як з точки технологічно-конструктивних, так і деформаційних особливостей. Більш детальні результати досліджень дозволить отримати динамічний аналіз стійкості контуру виробки і використання нелинійних моделей з анізотропним ґрунтом. Такі розрахунки можуть бути предметом подальших досліджень в обраному напрямку.

**Ключові слова:** гірська порода, техногенні об'єкти, тунель, оброблення, напружений стан, розрахункова схема.

**Grigoryev I.E., Kononenko V.V. Grigoryev Y.I.** Assessment of the circuit geometric form influence to the nature of the stress and deformation in tunnel lining

Conducted an overview of types of man-made objects, see their brief classification. It was determined that the creation of georesources should be implemented in the course of the field. A method of formation of technogenic deposits. The method includes a bookmark of horizontal tunnels and vertical wells in the formation of technogenic deposits. The influence of the nature of the geometric shape generation circuit on the nature of the deformation and failure of the rock mass. round and arched section of development was considered. Solution was conducted using the finite element method. Solution implemented software PLAXIS complex due to the inability of the analytical solutions. The complex is a package of computer programs for finite element calculation of stress-strain state of structures, foundations and bases. Considered the problem was solved as a static, Mohr-Coulomb model was adopted to simplify the calculations for isotropic soil. During calculation, the values of the stress-strain state of tunnel lining on the circuit. Calculations have shown that the thickness of the lining of the tunnel is 300 mm tested for load capacity of both design options section. It is found that variant arch lining generate significant deformations prevail at the bottom, which will lead to swelling of the sole output. It is concluded that the circular cross-section of the tunnel lining, more preferably, both in terms of design, technology and deformation features. Detailed research results will provide dynamic stability analysis of the circuit development and use of non-linear models with anisotropic soil. Such calculations may be the subject of further research in this direction.

Keywords: rock, man-made objects, tunnel, lining, the stress state, the calculated scheme.

УДК 004.056. 5:004.738.5(045)

**Мелешко О.О., Болотнікова О.С., Герасимова К.В.** Способи захисту інформації в мобільних пристроях в корпорації від витоку

У даній статті визначено, що основним завданням є пошук способів захисту інформації з обмеженим доступом у корпораціях, що зберігається на мобільному пристрої від злому, крадіжки й просто втрати смартфона.

Виявлено, що на сьогоднішній день концепція BYOD (Bring Your Own Device) стає все далі актуальнішою, адже вона досить вигідна як для робітників, так і для керівників компанії. Адже використовуючи особисті пристрої в роботі, компанія чекає збільшення продуктивності праці і зниження витрат, пов'язаних з мобільними пристроями. Але як і будь-який пристрій мобільні пристрої та планшети мають свої слабкі місця, у зв'язку з цим розглядається ряд проблем, що можуть з'явитись з точки зору інформаційної безпеки.

Визначено та розглянуто три різні рівня захисту, що можуть залежати від того які саме пристрої використовуються в компанії. Розглянуто різні варіанти розмежування доступу до особистих й корпоративних даних на одному пристрої таких як: MDM - «Mobile Device Management», розробка контейнерів інформації та віртуалізація.

Для вирішення питання щодо захисту інформації на мобільних пристроях розглянуто декілька легких, але в той же час й ефективні загальноприйнятні варіантів, а саме: двоетапна аутентифікація, складні паролі, віддавлений доступ до пристрою, створення резервних копій та інші.

У результаті автори надають поради, що до оптимального захисту мобільного пристрою(планшету), для оптимального використання його для роботи в офісі, корпорації тощо.

**Ключові слова:** бездротові мережі, мобільні пристрої, продуктивність праці, технологія віртуалізації.

**Мелешко О.О., Болотнікова О. С., Герасимова Е.В.** Способы защиты информации в мобильных устройствах в корпорации от истока

В данном полу определенно, что основным заданием является поиск способов защиты информации с ограниченным доступом в корпорациях, что хранится на мобильном устройстве от взлома, кражи и просто потери смартфона.

Выявлено, что на сегодняшний день концепция BYOD (Bring Your Own Device) становится все дальше актуальнее, ведь она достаточно выгодна как для рабочих, так и для руководителей компании. Ведь используя личные устройства в работе, компания ожидает увеличения производительности труда и снижения расходов, связанных с мобильными устройствами. Но как и любое устройство мобильные устройства и планшеты имеют свои слабые места, в связи с этим рассматривается ряд проблем, которые могут появиться с точки зрения информационной безопасности.

Определены и рассмотрены три разные уровня защиты, что могут зависеть от того какие именно устройства используются в компании. Рассмотрены разные варианты разграничения доступа к личным и корпоративным данным на одном устройстве таких как: MDM - "Mobile Device Management", разработка контейнеров информации и виртуализация.

Для решения вопроса относительно защиты информации на мобильных устройствах рассмотрено несколько легких, но в то же время и эффективные общепринятые варианты, а именно: двуступенчатая аутентификация, сложные пароли, отключенный доступ к устройству, создание резервных копий и другое.

В итоге авторы предоставляют советы, что к оптимальной защите мобильного устройства (планшета), для оптимального использования его для работы в офисе, корпорации и тому подобное.

**Ключевые слова:** беспроводные сети, мобильные устройства, производительность труда, технология виртуализации.

**Meleshko O., Bolotnikova E., Gerasimova E.** Methods of priv in mobile devices in a corporation from a source

In this floor certainly, that a basic task is a search of methods of priv with the limited access in corporations, that is kept on a mobile device from breaking, theft and simply loss of смартфона.

It is educed, that to date conception of BYOD (Bring Your Own Device) becomes all farther more actual, in fact she is advantageous enough both for workers and for the leaders of company. In fact using the personal devices in-process, a company expects the increase of the labour and cost, related to the mobile devices cutting productivity. But as well as any device mobile devices and plane-tables have the weak points, the row of problems which can appear from the point of view of informative safety is examined in this connection.

Certainly and considered three different levels of defence, that which one devices can depend on that used in a company. The different variants of differentiation of access are considered to the personal and corporate data on one device such as: MDM - "Mobile Device Management", development of containers of information and virtualization.

For the decision of question in relation to a priv on mobile devices a few lungs are considered, but at the same time and effective generally accepted variants, namely: двоступенчатая authentication, difficult passwords, crushed access to the device, creation of back-up copies and other.

In the total authors give advices, that to optimal defence of mobile device(to the plane-table), for the optimal use him for work in an office, corporations and others like that.

**Keywords:** wireless networks, mobile devices, labour productivity, technology of virtualization.

УДК 519.242.7

**Тимченко Р.А., Кришко Д.В., Савченко В.О.** Оптимизация конструктивного решения подпорной стены специального типа на основании линейной модели регрессии

Подпорные стены в настоящее время находят широкое применение не только в гражданском и промышленном строительстве, но и в градостроительном проектировании для сложных ландшафтов. Возникают ситуации строительства объектов в стесненных условиях, на неблагоприятных территориях с активными действующими деформационными воздействиями, что усложняет применение имеющихся типов конструкций подпорных стен. В настоящее время данная проблема актуальна для подрабатываемых территорий и для просадочных грунтов, т.к. при сложных деформациях основания не всегда можно реализовать имеющиеся технические решения в виду их неприспособленности к условиям работы. Существующие конструкции подпорных стен не рассчитаны на дополнительные усилия от горизонтального сдвижения грунта, который вызывает концентрацию напряжений в нижней части лицевой плиты, что соответственно приводит к разрушению конструкции. Поэтому на стадии проектов детальной планировки с целью комплексной защиты населенных пунктов, промышленных объектов, инженерных сетей и транспортных коммуникаций с определенным уровнем безопасности и защиты необходимо использовать инженерные сооружения специального назначения. Поставлена следующая задача: провести исследования с использованием положений теории планирования эксперимента, определить оптимальное конструктивное решение подпорной стены специального типа. Целью исследований является определение такого сочетания факторов, при котором нагрузка на удерживаемый грунт будет максимальной. Для выбора оптимального конструктивного решения подпорной стены специального типа планируется учитывать несколько факторов: контактная площадь опорных призматических участков; объем полостей; угол резанья, градус; вид грунта (в виде удельного сцепления); несущая способность основания. Полученное уравнение позволит уменьшить количество экспериментов и определить максимальную нагрузку на удерживаемый конструкцией грунт (функция отклика) с учетом оптимального сочетания значимых факторов.

**Ключевые слова:** подпорные стены специального типа (ПССТ); планирование эксперимента; матрица планирования, модель регрессии.

**Тимченко Р. О., Кришко Д.В., Савченко В. О.** Оптимізація конструктивного рішення підпірної стіни спеціального типу на підставі лінійної моделі регресії

Підпірні стіни нині знаходять широке застосування не лише в цивільному і промислового будівництві, але і в містобудівному проектуванні для складних ландшафтів. Виникають ситуації будівництва об'єктів в обмежених умовах, на несприятливих територіях з активними діючими деформаційними діями, що ускладнює застосування наявних типів конструкцій підпірних стін. Нині ця проблема актуальна для територій, що підробляються, і для ґрунтів просадчиків, оскільки при складних деформаціях основи не завжди можна реалізувати наявні технічні рішення з причини їх непристосованості до умов роботи. Існуючі конструкції підпірних стін не розраховані на додаткові зусилля від горизонтального зрушення ґрунту, який викликає концентрацію напруги в нижній частині лицьової плити,

що відповідно призводить до руйнування конструкції. Тому на стадії проектів детального планування з метою комплексного захисту населених пунктів, промислових об'єктів, інженерних мереж і транспортних комунікацій з певним рівнем безпеки і захисту необхідно використовувати інженерні спорудження спеціального призначення. Поставлено наступне завдання: провести дослідження з використанням положень теорії планування експерименту, визначити оптимальне конструктивне рішення підпірної стіни спеціального типу. Метою досліджень є визначення такого поєднання чинників, при якому навантаження на утримуваний ґрунт буде максимальним. Для вибору оптимального конструктивного рішення підпірної стіни спеціального типу планується враховувати декілька чинників: контактна площа опорних призматичних ділянок; об'єм порожнин; кут різання, градус; вид ґрунту (у вигляді питомого зчеплення); здатність основи, що несе. Отримане рівняння дозволить зменшити кількість експериментів і визначити максимальне навантаження на утримуваний конструкцією ґрунт (функція відгуку) з урахуванням оптимального поєднання значущих чинників.

**Ключові слова:** підпірні стіни спеціального типу (ПССТ); планування експерименту; матриця планування, модель регресії.

**Timchenko R.A., Krishko D.A., Savenko V.O.** Constructive solution optimization of the retaining walls of a special type on the basis of linear regression model

Retaining walls now are widely used not only in civil and industrial engineering, but also in urban planning for complex landscapes. There are situations of construction of objects in cramped conditions for disadvantaged areas with the active deformation effects, which complicates the use of the available types of constructions of retaining walls. At present, this problem for undermining areas and soil subsidence, as in complex deformation of the base it is not always possible to implement existing technical solutions in view of their failure to adapt to the working conditions. Existing construction of retaining walls are not designed for additional horizontal displacement force from the ground, which causes the stress concentration at the bottom of the front plate, which consequently leads to structural failure. Therefore, at the stage of detailed planning projects with a view to a comprehensive protection of settlements, industrial facilities, utilities and transport communications with a certain level of security and protection is necessary to use special-purpose engineering structures. The following objectives: to conduct research using the theory of design of experiments to determine the optimal design solution of the retaining wall of a special type. The aim of this research is to identify the combination of factors in which the load is held in the soil will be maximum. To select the optimal design solution of a special type of retaining wall is planned to consider several factors: the contact area of the supporting prismatic sites; volume of the cavities; cutting angle, degrees; type of soil (in the form of specific adhesion); bearing capacity of the ground. The resulting equation can reduce the number of experiments and to determine the maximum load on the ground retaining structures (response function), taking into account the optimal combination of relevant factors.

**Keywords:** retaining walls of a special type (RWST); experiment planning; planning matrix, regression model.

УДК 622 – 032. 35: 502. 7

**Повзун О.І., Парфенюк О.С., Вірич С.О., Кононихін С.В., Смоляга В.Г.** В'язуче для укріплення горілих порід шахтних териконів в основах дорожніх одягів

Вивчено процеси структуроутворення в кам'яновугільних в'язучих, модифікованих відходами полістиролу (полістирольним пилом). Показано, що зростання ефективної в'язкості та температури розм'якшення модифікованих до 1% полістирольним пилом кам'яновугільних в'язучих при температурі 25 оС не залежить від в'язкості вихідного середовища, що модифікується. Зростання відносної в'язкості модифікованого кам'яновугільного в'язучого з масовою концентрацією полістирольного пилу до 6% прямо пропорційне кількості введенного полімеру. При вмісті понад 6% полістирольного пилу ступінь посилення в'язучого різний: він тим більший, чим вища умовна в'язкість вихідного середовища, що модифікується. Концентраційні залежності еластичності і розтяжності модифікованих кам'яновугільних в'язучих при температурі 0 оС свідчать про суттєвий вплив вихідного середовища на їхні властивості. Для рідкого вихідного кам'яновугільного середовища з концентрацією полімеру до 4% за масою спостерігається лінійна залежність умовної в'язкості від неї. Зі зниженням умовної в'язкості вихідного кам'яновугільного середовища та з підвищенням концентрації відходів полістиролу в ньому коефіцієнти температурочувливості бетонів на еквів'язких модифікованих полістиролом кам'яновугільних в'язучих суттєво зменшуються. Коефіцієнт водостійкості при тривалому водонасиченні є досить низьким, але за умов відсутності постійного впливу атмосферних опадів є достатнім. Характерно, що модифікація кам'яновугільних речовин полістирольним пилом призводить до зниження оптимального вмісту в'язучого в органополімергорілопородній суміші.

**Ключові слова:** транспортний процес, руйнування, міцність, зсувостійкість, горілі породи, в'язуче, полістирол

**Повзун А.И., Парфенюк А.С., Вирич С.А., Кононыхин С.В., Смоляга В.Г.** Вяжущее для укрепления горелых пород шахтных терриконов в основаниях дорожных одежд

Изучены процессы структурообразования в каменноугольных вяжущих, модифицированных отходами полистирола (полистирольной пылью). Показано, что повышение эффективной вязкости и температуры размягчения модифицированных до 1 % полистирольной пылью каменноугольных вяжущих при температуре 25 оС не зависит от вязкости исходной модифицируемой среды. Повышение относительной вязкости модифицированного каменноугольного вяжущего с массовой концентрацией полистирольной пыли до 6 % прямо пропорционально количеству введенного полимера. При содержании сверх 6 % отходов полистирола степень упрочнения вяжущего различный: она тем больше, чем выше условная вязкость исходной модифицируемой среды. Концентрационные зависимости эластичности и растяжимости модифицированных каменноугольных вяжущих при температуре 0 оС свидетельствуют о существенном влиянии исходной среды на их свойства. Для жидкого исходной каменноугольной среды с концентрацией полимера до 4 % по массе наблюдается линейная зависимость условной вязкости от нее. С повышением условной вязкости исходной каменноугольной среды и с повышением концентрации отходов полистирола в нем коэффициенты температурочувствительности бетон на эквивязких модифицированных полистиролом каменноугольных вя-

жущих значительно уменьшаются. Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении достаточно низкий, но при отсутствии постоянного влияния атмосферных осадков является достаточным. Характерно, что модификация каменноугольных веществ полистирольной пылью приводит к снижению оптимального содержания вяжущего в органополимергорелопородной смеси.

**Ключевые слова:** транспортный процесс, разрушение, прочность, сдвигустойчивость, горелые породы, вяжущее, полистирол.

**Povzun O.I., Parfenyuk O.S., Virych S.A., Kononykhin S.V., Smolyaga V.G.** Binder for strengthening combustion metamorphik rock of slagheap in the pavement base

The process of structure formation in coal binders which were modified by polystyrene waste (polystyrene dust) has been studied. It has been shown that the effective increase of viscosity and softening temperature of the modified ones with up to 1% of polystyrene dust of the binders having temperature of 25 oC degrees does not depend on the viscosity of the original environment that is modified. The increase of the relative viscosity of the coal modified binder with a mass concentration of polystyrene dust over 6% is directly proportional to the quantity of the used polymer. When the content of polystyrene dust is more than 6%, the binder amplification degree is different: the bigger it is, the higher relative viscosity of the original environment is. The concentration dependence on elasticity and extensibility of the coal modified binders at 0 °C indicates a significant impact of the original environment on their properties. For the liquid coal original environment with the polymer concentration up to 4% of its weight one can observe linear dependence of the apparent viscosity on it. When the relative viscosity of coal original environment is decreased and the concentration of polystyrene waste in it is increased (Table), the temperature sensitiveness to concrete factors on equi-viscous coal binders which were modified by polystyrene is significantly reduced. The coefficient of water resistance while having continuous water saturation is quite low, but it is sufficient if there are no permanent effects of rainfall. Characteristically, the modification of coal substances by dust polystyrene results in reduction of the optimum content of binder in organopolimeric combustion metamorphic rock mixture.

**Keywords:** transport process, destruction, strength, durability, combustion metamorphic rocks, binder, polystyrene

УДК 622.271.4.012.3

**Несмашный Е.А., Ткаченко Г.И., Болотников А.В.** Расчет устойчивости участка Восточного борта карьера ПАО «ИнГЭК» в песчано-глинистой толще

Анализ информации о нормативных и расчетных показателях значений сопротивлению срезу песчано-глинистых пород восточного борта и результаты визуальных осмотров участков борта позволили систематизировать и выбрать показатели прочностных свойств пород месторождения, которые были использованы в геомеханических расчетах при оценке степени устойчивости. Выполнен расчет устойчивости участка восточного борта карьера ПАО «ИнГЭК» в песчано-глинистой толще на основании анализа текущего состояния откосов. Для предотвращения опасных деформаций на участках восточного борта карьера сложными песчано-глинистыми породами были выполнены проверочные расчеты устойчивости в положении планируемом после проведения восстановительных горных работ. За базовые характеристики прочностных свойств песчано-глинистых пород приняты показатели, полученные в результате выполненных обратных расчетов по участку наблюдаемых деформаций, а также учтена вероятность снижения молекулярного сцепления в нижней части вероятной поверхности скольжения в результате значительного обводнения песчано-глинистых пород.

Разработаны рекомендации и мероприятия по стабилизации деформаций участка восточного борта карьера расположенного в песчано-глинистой толще (гор. -15÷+40, м.о. 66-72). В виду значительной обводненности слоя песков в районе восточного борта рекомендовано выполнить частичную выемку песков с последующей пригрузкой скальной массой, которая помимо удерживающего эффекта также будет выполнять и дренирующую функцию.

**Ключевые слова:** расчетные показатели, прочностные породы, песчано-глинистые породы.

**Несмашный Е.А., Ткаченко Г.И., Болотников А.В.** Розрахунок стійкості ділянки Східного борта кар'єра ВАТ «ІнГЭК» в піщано-глинистій товщі

Аналіз інформації про нормативні і розрахункові показники значень опору зрізу піщано-глинистих порід східного борту і результати візуальних оглядів ділянок борту дозволили систематизувати і вибрати показники прочностних властивостей порід родовища, які були використані в геомеханічних розрахунках при оцінці міри стійкості. Виконаний розрахунок стійкості ділянки східного борту кар'єру ПАО "ІнГЭК" в піщано-глинистій товщі на підставі аналізу поточного стану укосів. Для запобігання небезпечним деформаціям на ділянках східного борту кар'єру складених піщано-глинистими породами були виконані перевірочні розрахунки стійкості в положенні планованому після проведення відновних гірських робіт. За базові характеристики прочностних властивостей піщано-глинистих порід прийняті показники, отримані в результаті виконаних зворотних розрахунків по ділянці спостережуваних деформацій, а також врахована вірогідність зниження молекулярного зчеплення в нижній частині вірогідної поверхні ковзання в результаті значного обводнення піщано-глинистих порід.

Розроблені рекомендації і заходи по стабілізації деформацій ділянки східного борту кар'єру розташованого в піщано-глинистій товщі (гір. - 15(+40, м.о. 66-72). З причини тієї, що значної обводнює шару пісків в районі східного борту рекомендовано виконати часткову виїмку пісків з наступною пригрузкою скельною масою, яка окрім утримуючого ефекту також виконуватиме і дрениуючу функцію.

**Ключові слова:** розрахункові показники, місцеві породи, піщано-глинисті породи.

**Nesmashny E.A., Tkachenko G.I., Bolotnikov A.V.** Calculation of stability of area of east side of open pit ПАО "ИнГЭК" is in a sand-clay layer

Analysis of information about the normative and calculation indexes of values to resistance to the cut of sand-clay breeds of east side and the results of visual examinations of areas of side allowed to systematize and choose the indexes of прочностных properties of breeds deposits which were used in geomechanical calculations at the estimation of degree of stability. The calculation of stability of area of east side of quarry of ПАО "ИнГЭК" is executed in a sand-clay layer on the basis of analysis of current status of slopes. For prevention of dangerous deformations on the areas of east side of quarry built by

sand-clay breeds the checking calculations of stability were executed in position planned after realization of restoration mountain works. For base descriptions of прочностных properties of sand-clay breeds indexes, got as a result of the executed reverse calculations on the area of the looked after deformations, are taken, and also probability of decline of the molecular coupling is taken into account in the underbody of credible shute as a result of considerable irrigation of sand-clay breeds.

Рекомендации и мероприятия is worked out on stabilizing of deformations of area of east side of quarry located in the sand-clay layer (of mountains. - 15(+40, м.о. 66-72). In a kind considerable обводненности of layer of sands in the district of east side it is recommended to execute the partial coulisse of sands with subsequent пригрузкой by rocky mass which besides a holding effect also will perform the draining duty.

**Keywords:** calculation indexes, durability of breeds, sand-clay breeds.

УДК 331.454: 614.8(4/9)

**Швагер Н.Ю., Заїкіна Д.П.** Аналіз систем управління охороною праці зарубіжних країн

У статті проведено порівняльний аналіз систем управління охороною праці зарубіжних країн. Кількість нещасних випадків та професійної захворюваності є основним компонентом, який показує ефективність функціонування системи управління охороною праці на виробництві. В основі підходу до визначення цілей модернізації системи управління охороною праці в промислово розвинених країнах лежить розуміння того, що жодне підприємство не може обмежуватися турботою про виробництво товарів або послуг, не турбуючись про умови безпеки праці, здоров'я і благополуччя своїх працівників. І це відбувається не тільки через гуманні міркування, але також через розуміння прямого або непрямого впливу умов праці на ефективне функціонування працівників.

Аналіз організації роботи з охорони праці на рівні підприємств свідчить про те, що вона складається на базі спільних зусиль адміністрації та працюючих. У розвинених країнах відповідальність за законом за створення безпечних умов праці лежать на першому керівнику, який видає накази, організовує і контролює всю діяльність на підприємстві, в тому числі і з охорони праці. Перший керівник делегує свої владні повноваження з питань охорони праці конкретній особі з управлінського персоналу, який повинен організовувати роботу з охорони праці. Крім того, створюються спеціальні служби безпеки та гігієни праці.

**Ключові слова:** охорона праці, виробничий травматизм, державний нагляд, безпека праці.

**Швагер Н.Ю., Заїкіна Д.П.** Анализ систем управления охраной труда зарубежных стран

В статье проведен сравнительный анализ систем управления охраной труда зарубежных стран. Количество несчастных случаев и профессиональной заболеваемости является основным компонентом, который показывает эффективность функционирования системы управления охраной труда на производстве. В основе подхода к определению целей модернизации системы управления охраной труда в промышленно развитых странах лежит понимание того, что ни одно предприятие не может ограничиваться безопасностью о производстве товаров или услуг, не беспокоясь об условиях безопасности труда, здоровья и благополучия своих работников. И это происходит не только через гуманные рассуждения, но также через понимание прямого или непрямого влияния условий труда на эффективное функционирование работников.

Анализ организации работы из охраны труда на уровне предприятий свидетельствует о том, что она складывается на базе совместных усилий администрации и работающих. В развитых странах ответственность по закону за создание безопасных условий труда лежат на первом руководителе, который выдает приказы, организует и контролирует всю деятельность на предприятии, в том числе и из охраны труда. Первый руководитель делегирует свои властные полномочия по вопросам охраны труда конкретному лицу из управленческого персонала, который должен организовывать работу из охраны труда. Кроме того, создаются специальные службы безопасности и гигиены труда.

**Ключевые слова:** охрана труда, производственный травматизм, государственный надзор, безопасность труда.

**Shvager N.Ju., Zaikina D.P.** Analysis of control system by a labour of foreign countries protection

The comparative analysis of control system by a labour of foreign countries protection is conducted in the article. An amount of accidents and professional morbidity is a basic component which shows efficiency of functioning of control system by a labour protection on a production. In basis of going near determination of aims of modernization of control system by a labour protection in the industrially developed countries, understanding lies that not a single enterprise can be limited to the anxiety about producing goods or services, not worrying about the terms of safety of labour, health and prosperity of the workers. And it takes place not only through the humane reasonings, but also through understanding of direct or indirect influence of terms of labour on the effective functioning of workers.

The analysis of organization of work from a labour protection at the level of enterprises testifies that she is folded on the base of joint efforts of administration and working. In the developed countries responsibility by law for creation of safe terms of labour lie on the first leader, which gives out orders, organizes and controls all activity on an enterprise, including from a labour protection. The first leader delegates the imperious plenary powers on questions of labour to the concrete person protection from a managerial staff which must organize work from a labour protection. In addition, the special security and occupational health services are created.

**Keywords:** labour protection, productive traumatism, state supervision, safety of labour.

УДК 622.232.5:622.2

**Маланчук Е.З., Корниенко В.Я., Маланчук З.Р.** Перспективы внедрения новых технологий добычи янтара в Ровенской области.

В работе описано сегодняшнее состояние и перспективы добычи янтара в Украине, в частности, в Ровенской области. Отмечается, что ровенский янтарь отличается своим химическим составом. Он наиболее насыщенный примесями и включает 18 химических элементов. Кроме кремния, магния, железа, кальция, которые присутствуют почти во всех месторождениях, добавляются такие как свинец, цирконий и до 3.19% серы. Добыча янтара в основном осуществляется двумя способами: механическим и гидравлическим. Однако все они сопровождаются выносом минерального

грунта на поверхню месторождения, не обеспечивают полного извлечения янтаря с месторождений, энергоемкие, приводят к изменению структуры почв, образование полостей и соответственно оказывают значительное негативное техногенное воздействие на окружающую среду.

Для интенсификации процесса извлечения, при котором достигается высокая производительность и эффективность, а также уменьшается негативное экологическое воздействие на окружающую среду авторами разработана технология интенсификации процесса добычи янтаря из месторождений за счет использования гидромеханического способа подъема янтаря на поверхность песчаного месторождения.

Суть указанного способа заключается в том, что массив насыщается водой и активизируется путем механического вибровозбуждения до образования сплошного суспензного слоя такой плотности, при которой возникает выталкивающая сила, которая поднимает янтарь на поверхность месторождения.

Данная технология интенсифицирует процесс извлечения янтаря, при котором достигается высокая производительность и эффективность, а также уменьшается негативное экологическое воздействие на окружающую среду.

**Ключевые слова:** янтарь, гидромеханический способ, интенсификатор, извлечение.

**Маланчук Є.З., Корнієнко В.Я., Маланчук З.Р.** Перспектививпровадженні нових технологій з видобутку бурштину в Рівненській області.

В роботі описано сьогодиншній стан і перспективи видобутку бурштину в Україні, зокрема, в Рівненській області. Відзначається, що рівненський бурштин відрізняється своїм хімічним складом. Він найбільш насичений домішками і включає 18 хімічних елементів. Крім кремнію, магнію, заліза, кальцію, які присутні майже в усіх родовищах, додаються такі як свинець, цирконій і до 3.19% сірки. Видобуток бурштину в основному здійснюється двома способами: механічним і гідравлічним. Однак всі вони супроводжуються виносом мінерального ґрунту на поверхню родовища, не забезпечують повного вилучення бурштину з родовищ, енергоємні, призводять до зміни структури ґрунтів, утворення порожнин і відповідно мають значний негативний техногенний вплив на навколишнє середовище. Для інтенсифікації процесу вилучення, при якому досягається висока продуктивність і ефективність, а також зменшується негативний екологічний вплив на навколишнє середовище авторами розроблена технологія інтенсифікації процесу видобутку бурштину з родовищ за рахунок використання гідромеханічного способу підйому бурштину на поверхню піщаного родовища. Суть зазначеного способу полягає в тому, що масив насичується водою і активізується шляхом механічного вібровозбудження до освіти суцільного суспензного шару такої щільності, при якій виникає виштовхуюча сила, яка піднімає бурштин на поверхню родовища. Дана технологія інтенсифікує процес вилучення бурштину, при якому досягається висока продуктивність і ефективність, а також зменшується негативний екологічний вплив на навколишнє середовище.

**Ключові слова:** бурштин, гідромеханічний спосіб, интенсификатор, витяг.

**Malanchuk E.Z., Kornienko V.Y., Malanchuk Z.R.** Perspectives of new technologies extraction of amber in the Rivne region.

The paper describes the current state of and prospects for amber extraction in Ukraine, in particular in the Rivne region. It is noted that the Rovno amber is distinguished by its chemical composition. It is most saturated with impurities and contains 18 chemical elements. Apart from silicon, magnesium, iron, calcium, are present in almost all fields are added such as lead, zirconium and up to 3.19% sulfur. Production of amber is mainly carried out in two ways: mechanical and hydraulic. However, all of them are accompanied by removal of mineral soil on the surface of the field, do not provide complete extraction of amber from the fields, energy-intensive, lead to changes in soil structure, the formation of cavities and thus have a significant negative anthropogenic impact on the environment. To intensify the extraction process, which achieves high productivity and efficiency, and reduced negative environmental impact on the environment by the authors developed a technology for the intensification of the process of production of amber deposits through the use of hydro-mechanical method amber rise on the surface of the sand deposits. The essence of this method lies in the fact that the array is saturated and is activated by mechanical vibroexcitation suspensnogo to form a continuous layer of such density at which a buoyant force which raises the surface amber deposit. This intensifies the process technology amber extract that achieves high productivity and efficiency and reduced negative environmental impact on the environment.

**Keywords:** amber, hydromechanical way, intensification, extraction.

УДК 502.654

**Яковишина Т.Ф.** Екологічна оцінка поліелементного забруднення важкими металами ґрунтів м. Дніпропетровська  
В статті проаналізовані існуючі в Україні та за кордоном підходи щодо нормування елементного та поліелементного забруднення ґрунтів важкими металами. Актуальність даної роботи стосується пошуку адекватної екологічної оцінки поліелементного забруднення важкими металами ґрунтів міст промислових агломерацій з прив'язкою до рівня здоров'я, що має велике науково-практичне завдання для забезпечення норм екологічної безпеки для населення при функціонуванні урбоєкосистем. Детально проаналізовані підходи щодо визначення коефіцієнтів концентрації, фактору забруднення за окремими хімічними елементами, а також сумарного показника забруднення та ступеня забруднення з подальшою його модифікацією, що дало змогу встановити між ними невідповідності. Обґрунтована доцільність використання сумарного показника забруднення Ю.В. Саета, як такого, що не зводить комплексний вплив важких металів до простої сумачі, проте відносно нього виявлена невідповідність визначеної категорій забруднення санітарно-гігієнічному нормативу - ГДК. На прикладі м. Дніпропетровська здійснена екологічна оцінка поелементного та поліелементного забруднення ґрунтів урбоєкосистеми важкими металами. Досліджувані важкі метали (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni) відносились до пріоритетних забруднювачів ґрунтів, адже виконувались умови перевищення коефіцієнту концентрації у два рази. Встановлено, що ступень забруднення змінювався від дуже слабкого – 27, слабкого – 17, помірного - 17, до сильного - 4 ділянки відбору проб відповідно. Лівобережжя м. Дніпропетровська в меншій мірі було забруднено, ніж Правобережжя. Ареали сильного ступеня мають локальний характер і зумовлюються накладанням дії автотранспорту на зони впливу промислових підприємств машинобудівної та оброблювальної промисловостей.



**Ключові слова:** важкі метали, ґрунт, екологічна оцінка, поліелементне забруднення, урбоекосистема, нормування, коефіцієнт концентрації.

**Яковичина Т.Ф.** Экологическая оценка полиэлементного загрязнения тяжелыми металлами почв г. Днепропетровска

В статье проанализированы существующие в Украине и за рубежом подходы к нормированию элементного и полиэлементного загрязнения почв тяжелыми металлами. Актуальность данной работы касается поиска адекватной экологической оценки полиэлементного загрязнения тяжелыми металлами почв городов промышленных агломераций с привязкой к уровню здоровья, что имеет большое научно-практическое значение для обеспечения норм экологической безопасности для населения при функционировании урбоэкосистем. Подробно проанализированы подходы к определению коэффициентов концентрации, фактора загрязнения по отдельным химическими элементами, а также суммарного показателя загрязнения и степени загрязнения с последующей ее модификацией, что позволило установить между ними несоответствия. Обоснована целесообразность использования суммарного показателя загрязнения Ю.В. Саета, как такового, который не сводит комплексное воздействие тяжелых металлов в простой суммации, однако в отношении него выявлено несоответствие определенной категории загрязнения санитарно-гигиеническому нормативу – ПДК. На примере г. Днепропетровска проведена экологическая оценка поэлементного и полиэлементного загрязнения почв урбоэкосистемы тяжелыми металлами. Исследуемые тяжелые металлы (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni) относились к приоритетным загрязнителям почв, ведь выполнялись условия превышения коэффициента концентрации в два раза. Установлено, что степень загрязнения менялась от очень слабой – 27, слабой – 17 умеренной – 17 до сильной – 4 участка отбора проб соответственно. Левобережье г. Днепропетровска в меньшей степени было загрязнено, чем Правобережье. Ареалы сильной степени имеют локальный характер и обусловлены наложением действия автотранспорта на зоны влияния промышленных предприятий машиностроительной и обрабатывающей промышленности.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, почва, экологическая оценка, полиэлементное загрязнение, урбоэкосистема, нормирование, коэффициент концентрации.

**Yakovyshyna T.F.** Ecological estimation of the polyelemental contamination by the heavy metals of dnipropetrovsk soils  
The existing in Ukraine and abroad approaches to rationing elemental and polyelemental soil contamination by the heavy metals have been analyzed in this article. The actuality of this work has been consisted in search of the adequate ecological estimation of the polyelemental contamination by the heavy metal of urban soils of the industrial agglomerations with reference a level to the health. It is a great scientific and practical importance of the ensuring environmental safety standards for the population in the functioning urban ecosystems. The approaches to the determination of the concentration coefficients, contamination factors for individual chemical elements, summary contamination index and contamination degree with its modification have been analyzed in detail, which allowed to establish a mismatch. The expediency of using the summary contamination index by Y. Saet has been substantiated, as such, which does not reduce the combined effect of the heavy metals to the simple summation. But a discrepancy of certain contamination categories has been revealed to the sanitary standards – MPC. Ecological estimation of the polyelemental contamination by the heavy metals of the urban soils has been conducted for example of Dnepropetrovsk. The investigated heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni) is a priority contaminates of soil, as the conditions of the double excess of the concentration coefficient has been performed. It was found that the contamination degree ranged from very low – 27, low – 17, moderate – 17 to the strong – 4 sampling sites, respectively. Left part of Dnepropetrovsk has been less contaminated than the right bank. Areas of high degree have local nature and are caused by the imposition of the transport activities to the influence area of the industrial engineering and manufacturing industries.

Keywords: heavy metals, soil, environmental estimation, polyelemental contamination, urban ecosystems, rationing, concentration coefficient.

УДК 332.6

**Малашевський М.А.** Оподаткування об'єктів підземного комерційного простору

З розвитком сучасних технологій будівельної галузі, особливо такі тенденції характерні для міст, спостерігається інтенсивний розвиток підземного комерційного будівництва. В статті розглянута законодавча та нормативно-правова база реєстрації земельних ділянок як об'єкту нерухомого майна. Відповідно до норми податкового кодексу передбачено об'єкти за які справляється плата, та ті об'єкти які звільнені від такої плати. Проведений аналіз законодавчого забезпечення оподаткування об'єктів комерційного простору засвідчив, що існують підземні об'єкти які використовуються в комерційних цілях, але на сьогоднішній день не оподатковуються. Також встановлено що відсутні відомості про підземні об'єкти в Державному земельному кадастрі, та право на землю для таких об'єктів не оформлюється. Виконано розрахунки об'єкту підземного комерційного простору на прикладі міста Києва за які на сьогоднішній день земельний податок, або орендна плата не сплачується. Розраховано нормативно-грошової оцінку одного з підземних торговельних комплексів яка урахуванням особливостей місцезнаходження та розраховано орендну ставку. Представлено надходження коштів який отримає бюджет міста Києва від плати за землю за договором оренди на прикладі досліджуемого об'єкта. Дослідження в даній роботі невід'ємно пов'язане з формуванням національної податкової системи в Україні, та просторовим впорядкуванням земель. Налаштування механізмів реєстрації та оподаткування об'єктів підземного комерційного простору невід'ємно пов'язано з державною цільовою програмою розвитку земельних відносин. Державна реєстрація права власності на підприємство як єдиний майновий комплекс, житловий будинок, будівлю, споруду або їх окремі частини проводиться незалежно від того, чи зареєстроване право власності на земельну ділянку, на якій вони розташовані.

**Малашевский М. А.** Налогообложение объектов подземного коммерческого пространства

С развитием современных технологий строительной отрасли, особенно такие тенденции характерны для городов, наблюдается интенсивное развитие подземного коммерческого строительства. В статье рассмотрена законодательная и нормативно-правовая база регистрации земельных участков как объекту недвижимого имущества. В соответствии с нормой налогового кодекса предусмотрены объекты за которых производится плата, и те объекты которые освобож-

дены от такой платы. Проведенный анализ законодательного обеспечения налогообложения объектов коммерческого пространства засвидетельствовал, что существуют подземные объекты которые используются в коммерческих целях, но на сегодняшний день не облагаются налогом. Также установлено что отсутствующие сведения о подземных объектах в Государственному земельному кадастру, и право на землю для таких объектов не оформляется. Выполнены расчеты объекта подземного коммерческого пространства на примере города Киева за которой на сегодняшний день земельный налог, или арендная плата не платится. Рассчитано нормативно-денежной оценку одного из подземных комплексов торговли которая учетом особенностей местонахождения и рассчитана арендная ставка. Представлено поступление средств который получит бюджет города Киева от платы за землю за договорам аренды на примере досліджуемого объекта. Исследование в данной работе неотъемлемо связано с формированием национальной налоговой системы в Украине, и пространственным упорядочением земель. Налаживание механизмов регистрации и налогообложения объектов подземного коммерческого пространства неотъемлемо связано с государственной целевой программой развития земельных отношений. Государственная регистрация права собственности на предприятие как единственный имущественный комплекс, жилой дом, здание, сооружение или их отдельные части проводится независимо від того, зарегистрированное право ли собственности на земельный участок, на которой они расположены.

**Malashevskiy N.** Taxation of underground commercial space objects

With the development of the modern technology of the construction industry (the tendency is specially characteristic of cities), the intensive development of the underground commercial construction is observed. The legal basis and regulatory framework of land parcel registration as a piece of real estate has been considered in the article. According to the Internal Revenue Code, there are objects subject to taxation and those exempted from it. The analysis of legal provisions for commercial for commercial space objects taxation has witnessed the existence of subterranean objects used for commercial purposes and currently not subject to taxation. It has also been discovered there is no information on the subterranean objects in the State Land Cadastre and land ownership right is not formally established for such objects. The estimation of a subterranean commercial object in Kyiv, for which land tax or rent is not paid, has been carried out. Standard monetary value of one of the subterranean shopping centres considering location and rent rate have been estimated. The flow of funds the Kyiv budget could get from land fees in accordance with the rental contract on the example of the researched object has been presented.

УДК 69.059-027.45: 622.012.2

**Андрєєв Б.М., Бровко Д.В., Хворост В.В.** Забезпечення надійності поверхневого комплексу методом прогнозування технічного стану елементів будівель і споруд

Викладено концепцію технічного нагляду за об'єктами на поверхні шахт та виробничої безпеки як складової частини промислової безпеки. Наведено основні терміни та визначення надійності, вказані основні небезпеки технічного стану прогнотних будов шахто видобувних підприємств. Розглянуто основні положення теорії надійності. Наведено математичні формулювання, що використовуються при оцінці та розрахунку основних властивостей і параметрів надійності технічних об'єктів. Виконано аналіз напружено-деформованого стану прогнотних будов за умови переходу їх на полегшені огорожувальні конструкції. Розрахунок виконано за допомогою проектно-обчислювального комплексу SCAD. Комплекс реалізує скінчено-елементне моделювання статичних і динамічних розрахункових схем, перевірку стійкості, вибір невідгнотних поєднань зусиль, підбір арматури залізобетонних конструкцій, перевірку несучої здатності сталевих конструкцій. За результатами проведених досліджень встановлено, що власна частота коливань прогнотної будови перебуває в обернено пропорційній залежності від маси його елементів і довжини прогону. Закономірності, отримані в результаті теоретичних, експериментальних досліджень і в комп'ютерному моделюванні, використано для розробки рекомендацій з визначення раціональних конструктивних параметрів прогнотних будов при переході на полегшені огорожувальні конструкції. За результатами комп'ютерного моделювання була виведена залежність верхньої та нижньої границь резонансної зони від поєднання статичних навантажень. Так, чим меншим є статичне навантаження, тим вищим є значення резонансних зон. У результаті проведених досліджень отримано ряд залежностей, завдяки яким значно спрощуються перевірки розрахунки на стадії проектування реконструкції прогнотних будов. За допомогою даної методики та завдяки проведеним дослідженням і накопиченому практичному досвіду сформовано перспективний напрям розвитку технології реконструкції галерей.

Ключові слова: надійність; реконструкція; поверхня шахт; прогнотні будови; динамічні характеристики; відмова об'єкта; резонанс.

**Андрєєв Б.М., Бровко Д.В., Хворост В.В.** Обеспечение надежности поверхностного комплекса методом прогнозирования технического состояния элементов зданий и сооружений

Изложена концепция технического надзора за объектами на поверхности шахт и производственной безопасности как составной части промышленной безопасности. Приведены основные сроки и определения надежности, указаны основные опасности технического состояния прогнотных строений шахто добывающих предприятий. Рассмотрены основные положения теории надежности. Приведены математические формулировки, которые используются при оценке и расчете основных свойств и параметров надежности технических объектов. Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния прогнотных строений при условии перехода их на облегченные ограждающие конструкции. Расчет выполнен с помощью проектно-вычислительного комплекса SCAD. Комплекс реализует законченно-элементное моделирование статических и динамических расчетных схем, проверку стойкости, выбор невыгодных сочетаний усилий, подбор арматуры железобетонных конструкций, проверку несущей способности стальных конструкций. По результатам проведенных исследований установлено, что собственная частота колебаний прогнотной строения находится в обратно пропорциональной зависимости от массы его элементов и длины прогонки. Закономерности, полученные в результате теоретических, экспериментальных исследований и в компьютерном моделировании, использованы для разработки рекомендаций из определения рациональных конструктивных параметров прогнотных строений при переходе на облегченные ограждающие конструкции. По результатам компьютерного моде-

лирования была выведенная зависимость верхней и нижней границ резонансной зоны от сочетания статических нагрузок. Да, чем меньшей является статическая нагрузка, тем выше является значение резонансных зон. В результате проведенных исследований получен ряд зависимостей, благодаря которым значительно упрощаются проверяющие расчеты на стадии проектирования реконструкции прогонных строений. С помощью данной методики и благодаря проведенным исследованиям и накопленному практическому опыту сформировано перспективное направление развития технологии реконструкции галерей.

Ключевые слова: надежность; реконструкция; поверхность шахт; прогонні строения; динамические характеристики; отказ объекта; резонанс.

**Andreev B. M., Brovko D. V., Khvorost V. V.** Ensuring the reliability of the surface complex method of forecasting technical condition of elements of buildings

The conception of technical supervision of facilities for surface mines and industrial safety as part of industrial safety. The basic terms and definitions of reliability, these basic technical state of danger spans mine mining companies. The basic tenets of the theory of reliability. The mathematical formulation used in the assessment and calculation of basic characteristics and parameters of reliability of technical objects. The analysis of stress-strain state spans, provided their transition to lightweight walling. The calculation is made using the design-computer complex SCAD. Implements complex finite-element modeling of static and dynamic design scheme, check the stability, the choice of unfavorable combinations effort reinforcement of concrete structures selection, check the bearing capacity of steel structures. The results of the studies found that the natural frequency of oscillation span is inversely proportional to the mass of its components and the length of the run. Laws derived from theoretical and experimental research in computer simulation used to develop recommendations on rational determination of design parameters spans the transition to lightweight walling. According to the results of computer simulation was bred dependence upper and lower limits of the resonance zone from a combination of static loads. Thus, the smaller the static load, the higher the value of high-profile areas. As a result of the research received a number of dependencies that make much simplified Testing calculations at the design stage of reconstruction spans. Using this methodology and due to studies and gained practical experience formed a promising area of technology reconstruction galleries.

Keywords: reliability; reconstruction; surface mines; The beam structure; dynamic characteristics; the refusal of the facility; resonance.

UDC 661.52:662.2

**Kovalenko I.L., Stupnik N.I., Nebogin V.Z., Korolenko M.K., Karapa I.A., Onopriyenko E.P., Rychko V.S.** Development of native equipment and technology of drillholes charging with emulsion explosives of mark Ukrainit

The absence in Ukraine of native technology and compact mixing-charge equipments restrains the use of bulk emulsion explosives in the tunnel faces in underground mining. The solution to this problem is the relevance of this work. The aim is to develop technology and native mixing-charge equipment for charging drillholes with emulsion explosives of mark Ukrainit. A special feature of the emulsion explosive Ukrainit is peroxide gas generation of "cold" emulsion, which ensures its high detonation characteristics and operability as well as minimum harmfulness of explosion gases. Gas filling time of the emulsion is reduced to 15-25 minutes due to the introduction of the catalyst in the structure of gas-generating additive, and the detonation velocity is increased to 5000-5200 m/s. Portable mixing-charge equipment "СЗС-1", compact chargers "ЗЭП-15", "ЗЭП-10" and self-propelled charger "ЗЭВС-1", equipped with dosing pumps of the original design, which provides a balanced dosage (within 0.8-1.2% in the gas-generating additive) and high-quality mixing in the necessary proportions, are developed. A distinctive feature of the self-propelled charger "ЗЭВС-1" from the existing analogs is the usage of an additional low-power diesel engine providing the work of dosing pumps while charging drillholes in poorly ventilated faces. This reduces fuel consumption and waste gases emissions, which is extremely important for conducting blasting work in dead-end faces. Completely standalone and does not requiring connection to the mine pneumatic and electric grids, self-propelled charger "ЗЭВС-1" should occupy a niche in conducting tunnel blasting works in mines with section 9-15 m<sup>2</sup> and charging 2-3 faces per shift.

Keywords: emulsion explosives, mixing-charge equipment, drillholes.

**Коваленко І.Л., Ступнік Н.І., Небогін В.З., Короленко М.К., Карапа І.А., Онопрієнко Е.П., Ричко В.С.** Розробка вітчизняної техніки і технології зарядки шпурів емульсійними ВВ марки Україніт

Відсутність в Україні технології і вітчизняної малогабаритної змішувально-зарядної техніки стримує застосування наливних емульсійних вибухових речовин в прохідницьких забоях при підземному гірському видобутку. Вирішення цього завдання становить актуальність даної роботи. Її метою є розробка технології та вітчизняної змішувально-зарядної техніки для зарядання шпурів емульсійними вибуховими речовинами марки Україніт. Особливістю емульсійної вибухової речовини Україніт є пероксидна газогенерація «холодної» емульсії, що забезпечує його високі детонаційні характеристики і працездатність, а також мінімальну шкідливість газів вибуху. За рахунок введення до складу газогенеруючої добавки каталізатора було знижено час газонаповнення емульсії до 15-25 хвилин, а швидкість детонації підвищена до 5000-5200 м/с. Розроблено переносні змішувально-зарядні пристрої СЗС-1, малогабаритні зарядники ЗЭП-15, ЗЭП-10 і самохідний зарядник ЗЭВС-1, забезпечені насосами-дозаторами оригінальної конструкції, яка забезпечує збалансоване дозування (в межах 0,8-1,2% по газогенеруючій добавці) і якісне змішування в необхідній пропорції. Змішування реалізовано в спеціальній камері на вході в статичний міксер і зарядний шланг, а принцип дозування дозволив виключити коштовні гідропрілади та електроніку. Відмінною особливістю самохідного ЗЭВС-1 від існуючих аналогів, є використання додаткового малопотужного дизельного двигуна, що забезпечує роботу насосів-дозаторів при заряданні шпурів в слабо провітрюваних забоях. Це знижує витрати палива і викиди відпрацьованих газів, що вкрай важливо для ведення вибухових робіт в тупикових вибоях. Повністю автономний, що не вимагає підключення до шахтних пневматичних і електричних мереж, самохідний зарядник ЗЭВС-1 повинен зайняти нішу ведення прохідницьких вибухових робіт у виробках з перетином 9-15 м<sup>2</sup> та заряданням 2-3 вибоїв у змину.

**Ключові слова:** емульсійні вибухові речовини, змішувально-зарядна техніка, шпури.

**Коваленко І.Л., Ступник Н.І., Небогин В. З., Короленко М.К., Карапа І.А., Оноприенко Е.П., Рычко В.С.** Разработка отечественной техники и технологии зарядки шпуров емульсионными ВВ марки Украинит

Отсутствие в Украине технологии и отечественной малогабаритной смесительно-зарядной техники сдерживает применение наливных емульсионных взрывчатых веществ в проходческих забоях при подземной горной добыче. Решение этой задачи составляет актуальность данной работы. Ее целью является разработка технологии и отечественной смесительно-зарядной техники для зарядания шпуров емульсионными взрывчатыми веществами марки Украинит. Особенностью емульсионного взрывчатого вещества Украинит является пероксидная газогенерация «холодной» емульсии, что обеспечивает его высокие детонационные характеристики и работоспособность, а также минимальную вредность газов взрыва. За счет введения в состав газогенерирующей добавки катализатора было снижено время газонаполнения емульсии до 15-25 минут, а скорость детонации повышена до 5000-5200 м/с. Разработаны переносные смесительно-зарядные устройства СЗС-1, малогабаритные зарядчики ЗЭП-15, ЗЭП-10 и самоходный зарядчик ЗЭВС-1, снабженные насосами-дозаторами оригинальной конструкции, которая обеспечивает сбалансированное дозирование (в пределах 0,8-1,2% по газогенерирующей добавке) и качественное смешение в необходимой пропорции. Смешение реализовано в специальной камере на входе в статический миксер и зарядный шланг, а принцип дозирования позволил исключить дорогостоящую гидроаппаратуру и электронику. Отличительной особенностью самоходного ЗЭВС-1 от существующих аналогов, является использование дополнительного маломощного дизельного мотора, обеспечивающего работу насосов-дозаторов при зарядании шпуров в слабо проветриваемых забоях. Это снижает расход топлива и выбросы отработанных газов, что крайне важно для ведения взрывных работ в тупиковых забоях. Полностью автономный, и не требующий подключения к шахтным пневматическим и электрическим сетям, самоходный зарядчик ЗЭВС-1 должен занять нишу ведения проходческих взрывных работ в выработках с сечением 9-15 м<sup>2</sup> и заряданием 2-3 забоев в смену.

**Ключевые слова:** емульсионные взрывчатые вещества, смесительно-зарядная техника, шпуры.

УДК 622.831

**Солодянкин А.В., Машурка С.В.** Оценка интенсивности ремонтных работ и устойчивость протяженных горных выработок

Показано, что с увеличением глубины разработки и отработкой запасов в сложных горно-геологических условиях, существенно ухудшилась геомеханическая ситуация при ведении горных работ. В статье делается анализ подходов к оценке устойчивости протяженных горных выработок и общих затрат при их строительстве и эксплуатации. Учитывая стохастическую природу выработки, как сложного подземного объекта, рассматривается вероятностная модель выработки. Для оценки состояния конкретного сечения выработки предлагается использование коэффициента устойчивости. В качестве параметра для оценки состояния протяженного участка выработки рассматривается показатель устойчивости. На основе обобщения данных об объемах ремонтных работ по выработкам шахт объединения «Добропольеуголь», показана возможность определения показателя устойчивости ремонтируемой выработки на каждом этапе ее эксплуатации. Вводится понятие интенсивности ремонтных работ в выработке. Получены зависимости интенсивности ремонтных работ, и изменения показателя устойчивости от времени эксплуатации выработки. Получено выражение для определения показателя устойчивости выработки от времени, а также его связь со смещениями породного контура. Дальнейшие исследования в этом направлении будут направлены на обоснование таких параметров систем крепления, которые позволяют максимально уменьшить объемы требуемых ремонтных работ, в том числе и за счет снижения кратности ремонтов.

**Ключевые слова:** подготовительная выработка, ремонт, показатель устойчивости, смещения породного контура

**Солодянкин О.В., Машурка С.В.** Оцінка інтенсивності ремонтних робіт та стійкість протяжних гірничих виробок

Показано, що зі збільшенням глибини розробки та відпрацюванням запасів у складних гірничо-геологічних умовах, істотно погіршилася геомеханічна ситуація при веденні гірничих робіт. У статті робиться аналіз підходів до оцінки стійкості протяжних гірничих виробок і загальних витрат при їх будівництві та експлуатації. З огляду на стохастичну природу виробки, як складного підземного об'єкта, розглядається імовірнісна модель виробки. Для оцінки стану конкретного перетину виробки пропонується використання коефіцієнта стійкості. Як параметр для оцінки стану протяжної ділянки виробки розглядається показник стійкості. На основі узагальнення даних про обсяги ремонтних робіт у виробках шахт об'єднання «Добропілляугілля», показана можливість визначення показника стійкості виробки, що ремонтується, на кожному етапі її експлуатації. Вводиться поняття інтенсивності ремонтних робіт у виробці. Отримані залежності інтенсивності ремонтних робіт і зміни показника стійкості від часу експлуатації виробки. Отриманий вираз для визначення показника стійкості виробки від часу, а також його зв'язок зі змінами породного контуру. Подальші дослідження в цьому напрямку будуть спрямовані на обґрунтування таких параметрів систем кріплення, які дозволять максимально зменшити обсяги необхідних ремонтних робіт, в тому числі і за рахунок зниження кратності ремонтів.

**Ключові слова:** підготовча виробка, ремонт, показник стійкості, зміщення породного контуру

**Solodyankin O.V., Mashurka S.V.** Evaluation of the intensity of repairs and extended stability of mine workings

With increasing depth of mining and mining stocks in difficult geological conditions, geomechanical situation deteriorated significantly during mining operations has been shown. The article is an analysis of approaches to the assessment of the sustainability of long mine workings and overall costs in their construction and exploitation. Probabilistic model of workings, which has a stochastic nature, a complex underground facility, was considered. To assess the state of a particular section of workings sustainability factor was proposed. As a parameter for the assessment of an workings area generation rate stability was considered. On the basis of generalization of data on the amount of repair work to workings mines association "Dobropoleugol", the possibility of determining the stability of the repaired indicator workings at every stage of its operation was demonstrated. Term repair work intensity in the workings was introduced. Depending on the intensity of repairs and changes the stability index of the operating time of workings were obtained. The expression to define sustainability indicators

workings from time to time, as well as its relationship with displacements of rock contour was obtained. Further research in this area will be used to study parameters such fastening systems that will minimize the amount of required repairs, including by reducing the multiplicity of repairs.

**Keywords:** development working, repair, rate stability, rock displacement contour

УДК 622.831

**Солодянкин А.В., Дудка И.В.** Исследование влияния очистных работ на устойчивость участков выработок в условиях ОП «шахта «Партизанская» ГП «Антрацит»

В статье приведены результаты шахтных исследований деформационных процессов в выемочных выработках ОП «Шахта «Партизанская» ГП «Антрацит». Выполнен анализ производственной деятельности шахты «Партизанская» и состояния выработок, испытывающих влияние очистных работ. Рассмотрены перспективы развития шахты с применением бесцеликтовых способов охраны выработок и переходом на комбинированные рамно-анкерные крепи. Комплекс исследований включал визуальное обследование состояния выработок и инструментальные измерения деформаций металлической рамной крепи. В качестве объектов исследований выбраны подготовительные выработки, испытывающие влияние очистных работ и предназначенные для повторного использования при отработке второй лавы. Выявлены характерные виды деформаций крепи и объемы ремонтных работ. Установлены основные факторы, которые определяют степень сложности эксплуатации выработок. Предложено новое устройство для измерения параметров поперечного сечения выработки, которое снижает трудоемкость выполнения замеров и повышает точность результатов. Для разных этапов эксплуатации выработки получены зависимости изменения ее сечения от расстояния до лавы. Отмечены особенности деформирования поперечного сечения выработки. Намечены пути снижения деформаций крепи и повышения устойчивости подготовительных выработок для их повторного использования при отработке лав.

**Ключевые слова:** подготовительная выработка, шахтные исследования, деформация крепи, лава.

**Солодянкин О.В., Дудка И.В.** Дослідження впливу очисних робіт на стійкість дільничних виробок в умовах ОП «шахта «Партизанська» ДП «Антрацит»

У статті наведені результати шахтних досліджень деформаційних процесів у виймальних виробках ОП «Шахта «Партизанська» ДП «Антрацит». Виконаний аналіз виробничої діяльності шахти «Партизанська» та стану виробок, що зазнають вплив очисних робіт. Розглянуті перспективи розвитку шахти з застосуванням безціликотвих способів охорони виробок і переходом на комбіноване рамно-анкерне кріплення. Комплекс досліджень включав візуальне обстеження стану виробок і інструментальні вимірювання деформацій металевого рамного кріплення. Як об'єкти досліджень обрані підготовчі виробки, які зазнають впливу очисних робіт і призначені для повторного використання при відпрацюванні другої лави. Виявлені характерні види деформацій кріплення і обсяги ремонтних робіт. Встановлені основні фактори, які визначають ступінь складності експлуатації виробок. Запропонований новий пристрій для вимірювання параметрів поперечного перерізу виробки, яке знижує трудомісткість виконання вимірів і підвищує точність результатів. Для різних етапів експлуатації виробки отримані залежності зміни її перетину від відстані до лави. Відзначені особливості деформування поперечного перерізу виробки. Намічені шляхи зниження деформацій кріплення і підвищення стійкості підготовчих виробок для їх повторного використання при відпрацюванні лав.

**Ключові слова:** підготовча виробка, шахтні дослідження, деформация кріплення, лава.

**Solodyankin A.V., Dudka I.V.** Investigation of longwall influence for stability local workings in conditions of "mine "Partizanskaya" SE "Anthracite"

The article of mine investigations of deformation processes in the excavation workings of "Mine"Partizanskaya" SE"Anthracite" lists. Analysis of the production activity of mines "Partizanskaya" and state workings, experiencing of the longwall influence performed. Prospects for the development of the mine using non-pillar ways maintenance of workings and the transition to the combined metal frame and bolts support considered. Research complex include a visual examination of state workings and the instrumental measurements of metal frame support deformation. The objects of research are selected local workings of longwall influence and intended for re-use when developing a second longwall. Specific types of support deformations and volumes of repair work identified. The main factors that determine the degree of complexity of exploitation workings installed. The new device for measuring the parameters of the cross-section workings, that reduces the complexity and performance of measurements increases the accuracy of the results suggested. The dependence of the cross section on its distance from the longwall for the operation of the different stages of workings are obtained. Features of the deformation of the cross section of workings marked. Ways to reduce deformations support and increase the stability of development workings for reuse when developing longwall scheduled.

**Keywords:** local workings, mining studies, support deformation, longwall.

УДК 662.612.3: 504

**Сизоненко А.В.** Экологические аспекты сжигания мазутных эмульсий

В данной статье рассмотрены оптимальные организации процесса сжигания водоземulsionных топлив, с помощью которых можно добиться снижения содержания NOx в процессе горения за счет ввода пара или впрыскивании воды в зону горения. Применение водо-топливной эмульсии позволяет значительно повысить эффективность использования углеводородных топлив и намного уменьшить выброс вредных веществ в окружающую среду. При этом экономия топлива составляет 15-20 % при сохранении той же механической или тепловой мощности, а уменьшение выбросов по некоторым видам загрязнений составляет 2-3 раза.

Содержащиеся в топливе высокодисперсные частицы водной фазы, при прогреве в камере сгорания превращаются в паровые пузырьки, дробящие топливные капли на мельчайшие частицы, которые быстрее прогреваются, интенсивнее взаимодействуют вначале с кислородом, образующимся в результате диссоциации воды, воспламеняются и перемешиваясь с кислородом воздушного заряда, сгорают с большей интенсивностью (в 5-6 раз быстрее), чем чистый

мазут. При дополнительном дроблении капель эмульсии достигается ускорение их испарения и улучшается процесс перемешивания топлива с воздухом, в результате чего с учетом наличия в зоне горения продуктов диссоциации воды процесс сгорания мазута существенно интенсифицируется. Эти особенности сжигания водотопливной эмульсии в литературных источниках представлены только качественно. Поэтому целью данной работы является поиск функциональной взаимосвязи влияния различных факторов и параметров эмульсии на количество NOx в отработанных газах. Приведены результаты работы эксперимента по сжиганию водоземulsionных топлив, доказан эффект сокращения выбросов NOx

**Ключевые слова:** экология, мазутная эмульсия, сжигание.

**Сизоненко А.В.** Екологічні аспекти спалювання мазутних емульсій

У даній статті розглянуто оптимальні організації процесу спалювання водоемульсійних палив, за допомогою яких можна домогтися зниження змісту NOx в процесі горіння за рахунок введення пара або уприскування води в зону горіння. Застосування водо-паливної емульсії дозволяє значно підвищити ефективність використання вуглеводневих палив і набагато зменшити викид шкідливих речовин в навколишнє середовище. При цьому економія палива складає 15-20 % при збереженні тієї ж механічної або теплової потужності, а зменшення викидів за деякими видами забруднень становить 2-3 рази. Паливі високодисперсні частинки водної фази, при прогріванні в камері згорання перетворюються на парові бульбашки, дроблять паливні краплі на найдрібніші частинки, які швидше прогріваються, інтенсивніше взаємодіють спочатку з киснем, що утворюється внаслідок дисоціації води, запалали і перемішуються з киснем повітряного заряду, згорають з більшою інтенсивністю (у 5-6 разів швидше), ніж чистий мазут.

При додатковому дробленні крапель емульсії досягається прискорення їх випару і покращується процес перемішування палива з повітрям, внаслідок чого з урахуванням наявності в зоні горіння продуктів дисоціації води процес згорання мазуту істотно інтенсифікується. Ці особливості спалювання водопаливної емульсії в літературних джерелах представлені тільки якісно. Тому метою цієї роботи є пошук функціонального взаємозв'язку впливу різних чинників і параметрів емульсії на кількість NOx у відпрацьованих газах.

Наведено результати роботи експерименту по спалюванню водоемульсійних палив, доведений ефект скорочення викидів NOx.

**Ключові слова:** екологія, мазутна емульсія, спалювання.

**Syzonenko A.V.** Ecological aspects of burning oil emulsions

Currently, the environmental activities carried out in the existing thermal power plants and boilers, are aimed at reducing emissions of nitrogen oxides, carbon monoxide and sulfur oxides.

This article describes the optimum organization of the combustion process water-based fuels that can be used to reduce NOx emissions in the combustion process by introducing steam or water is injected into the combustion zone.

The use of water-fuel emulsions can significantly increase the efficiency of the use of hydrocarbon fuels and a much reduced emission of harmful substances into the environment. Wherein fuel economy is 15-20 % while maintaining the same mechanical or thermal capacity, and reduce emissions by some kinds of contaminants is 2-3 times.

Contained in the fuel fine particles of the aqueous phase, during heating in the combustion chamber are converted into steam bubbles, crushing fuel droplets into tiny particles that warms up quickly, more intensively interact first with oxygen resulting from the dissociation of water, ignite and mixing with the oxygen of the air charge, burn with greater intensity (5-6 times faster) than pure oil. At the additional crushing of drops of emulsion the acceleration of their evaporation is arrived at and the process of interfusion of fuel gets better with air, as a result taking into account a presence in the area of burning of foods of dissociation of water the process of combustion of fuel oil intensifies substantially. These features of incineration of fuel by a fuel emulsion in literary sources are presented only high - quality. Therefore a purpose hired is a search of functional intercommunication of influence of different factors and parameters of emulsion on the amount of NOx in exhaust gases.

Powered by the results of the experiment on the incineration of water-based fuels, proved the effect of reducing NOx emissions.

**Keywords:** ecology, oil emulsions, burning.

УДК 422.458

**Коновалюк В.А., Голишев А.О.** Розрахунок збірних повітропроводів вентиляційних мереж

Робота присвячена розробці методики розрахунку повітропроводів з використанням коефіцієнтів витрат повітря і збільшення тиску, яка актуальна для розрахунку жорстких збірних повітропроводів. Запропоновані рівняння описують аеродинамічний процес, що має місце в повітропроводі і в його нещільностях.

При визначенні розрахункової залежності вважається що витрати на ділянках змінюються, а в самому з'єднанні має місце додатковий місцевий опір. Використовуючи цю модель В.Н. Воронін отримав залежність, для визначення втрати тиску і зробив припущення, що коефіцієнт витрат можна визначати по тій же залежності, що некоректно. Медведєв Б.І. отримав значення KQ і Kh, але в неявному вигляді. Скориставшись методикою І.Є. Ідельчика для врахування додаткової втрати тиску при злитті чи поділу струменя авторами запропоновані рівняння для визначення коефіцієнтів витрат повітря KQ і збільшення тиску Kh, як для нагнітальних так і для всмоктувальних повітропроводів. Згідно отриманих залежностей побудовані графіки для найбільш поширених діаметрів трубопроводів з різною якістю монтажу стиків, що працюють як при нагнітанні так і при всмоктуванні. Із отриманих графічних залежностей наглядно видно, що характер кривих KQ і Kh при малих і великих кількостях стиків відрізняються дуже суттєво. Рівність цих коефіцієнтів можна допускати при числі стиків не більше 20. При роботі трубопроводу на всмоктування значення коефіцієнтів KQ і Kh збільшуються майже в два рази.

Таким чином запропонована методика розрахунку негерметичних повітропроводів придатна при будь-якому числі стиків і відомій якості монтажу трубопроводу, а для діючого трубопроводу можливо визначити фактичне значення коефіцієнтів KQ і Kh експериментально.

**Ключові слова:** повітропроводи, аеродинамічний процес, коефіцієнт витрат, нагнітальні та всмоктувальні повітропроводи.

**Коновалюк В.А., Голишев А.А.** Расчет сборных воздухопроводов вентиляционных сетей

Работа посвящена разработке методики расчета воздухопроводов с использованием коэффициентов расхода воздуха и увеличения давления, которая актуальна для расчета жестких сборных воздухопроводов. Предложенные зависимости описывают аэродинамический процесс, имеющий место в воздуховоде и в его неплотностях.

При определении расчетной зависимости считается, что расходы на участках меняются, а в самом соединении имеет место дополнительное местное сопротивление. Используя эту модель В.Н. Воронин получил уравнение для определения потери давления и предположил, что коэффициент расхода можно определять по той же зависимости, что некорректно. Б.И. Медведев получил значение  $KQ$  и  $Kh$ , но в неявном виде. Воспользовавшись методикой И.Е. Идельчика для учета дополнительной потери давления при слиянии или разделении струи авторами предложены уравнения для определения коэффициентов расхода воздуха  $KQ$  и увеличения давления  $Kh$ , как для нагнетательных так и для всасывающих воздухопроводов. Согласно полученным зависимостям построены графики для наиболее распространенных диаметров трубопроводов с разным качеством монтажа стыков, работающих как при нагнетании так и при всасывании. Из полученных графических зависимостей наглядно видно, что характер кривых  $KQ$  и  $Kh$  при малых и больших количествах стыков отличаются очень существенно. Равенство этих коэффициентов можно допускать при числе стыков не более 20. При работе трубопровода на всасывание значения коэффициентов  $KQ$  и  $Kh$  увеличиваются почти в два раза.

Таким образом предложенная методика расчета негерметичных воздухопроводов пригодна при любом числе стыков и известном качестве монтажа трубопровода, а для действующего трубопровода можно определить фактическое значение коэффициентов  $KQ$  и  $Kh$  экспериментально.

**Ключевые слова:** воздухопроводы, аэродинамический процесс, коэффициент вилат, нагнетательные и всасывающие воздухопроводы.

**Konovaliuk V.A., Golyshev A.A.** Calculation of collapsible air-channels of vent networks

The work is dedicated to the development of methodology for calculating ductworks using air flow coefficients and increasing the pressure, which is relevant for the calculation of rigid collecting ductworks. The proposed depending describing aerodynamic process, taking place in the ductworks and its leakages. In determining the estimated depending considered that costs on the plot is change, and the connection is an additional local resistance. Using this model В.Н. Воронин got an equation to determine the pressure loss and suggested, that the flow coefficient can be determined by the same dependence, that is incorrect. Медведев Б.И. got a value  $KQ$  and  $Kh$ , but implicitly. Using the method of И.Е. Идельчика to account for the additional loss of pressure the merger or division jet the authors proposed equations for determining the coefficients of the air flow  $KQ$  and increase pressure  $Kh$ , for injection and to the suction ductworks. According to the dependencies of the graphs for the most common diameters of pipes with different quality mounting joint working both at discharge and suction. The obtained graphic dependences can be clearly seen that the character of the curves  $KQ$  and  $Kh$  for small and large quantities of joints differ very much. The equality of these coefficients can be tolerated if the number is not more than 20 bayonets. When the pipe working on the suction value of coefficients  $KQ$  and  $Kh$  increased almost two times.

Thus, the proposed method of calculating the leaky ducts is suitable for any number joints and known as a pipeline installation and to the existing pipeline is possible to determine the actual value of the coefficients  $KQ$  and  $Kh$  experimentally.

**Keywords:** air of send - offs, aerodynamic process, coefficient of вилат, forcing and suction air of send - offs.

УДК 004.67

**Купін А.І., Кузнецов Д.І.** Інформаційні моделі автоматичної діагностики побутової техніки у системах типу «Інтелектуальний дім»

Сучасні котеджі, квартири, апартаменти та приватні будинки є складними інженерними комплексами, які вимагають кваліфікованої експлуатації. Системи «Інтелектуальний дім» дають змогу, у автоматичному режимі, виконувати управління енергозабезпеченням, опаленням, вентиляцією, кондиціонуванням тощо. Завдяки такій автоматизації кожна частина такої інформаційної системи працює злагоджено з іншими, у оптимальному режимі, що дозволяє економити час та гроші. Окрім виконання функції контролю та забезпечення комфортних умов перебування у приміщенні, на даний момент, перспективним шляхом досліджень систем «Інтелектуальний дім» є самодіагностика побутової техніки, комунікаційного обладнання тощо. Наприклад, визначення протікань батарей, труб, неправильної роботи або роботи у аварійних режимах побутової техніки. У свою чергу, наявність сучасних бездротових технологій дозволяють власнику будинку одразу дізнатися про будь-яку нештатну ситуацію. На даний момент існуючі розробки та технологічні рішення, щодо автоматичної самодіагностики побутової техніки вимагають наявності спеціалізованих блоків або видів побутової техніки з інтегрованими елементами діагностики, що є досить дорогим рішенням для упрощення в систему «Інтелектуальний дім». У даній статті авторами запропоновано метод спектр-струмової діагностики побутової техніки на основі спектрального аналізу електромережі у якій працюють побутові прилади з асинхронними двигунами. Використання запропонованого підходу дозволяє виконувати непряму діагностику та ідентифікацію будь-якого побутового обладнання елементом якого є асинхронний двигун, що дозволяє зменшити витрати коштів на використання спеціалізованого обладнання, а також спростити логіку управління інформаційною системою «Інтелектуальний дім».

**Ключові слова:** інтелектуальний дім, самодіагностика, асинхронних двигун, інформаційна система, спектр-струмовий аналіз.

**Купин А.И., Кузнецов Д.И.** Информационные модели автоматической диагностики бытовой техники в системах типа «Интеллектуальный дом»

Современные коттеджи, квартиры, апартаменты и частные дома являются сложными инженерными комплексами, которые требуют квалифицированной эксплуатации. Системы «Интеллектуальный дом» позволяют, в автоматическом режиме, выполнять управление энергообеспечением, отоплением, вентиляцией, кондиционированием и тому подобное. Благодаря такой автоматизации каждая часть такой информационной системы работает слаженно с дру-

гими, в оптимальному режимі, що дозволяє економити час і гроші. Крім виконання функції контролю і забезпечення комфортних умов перебування в приміщенні, на даний момент, перспективним шляхом дослідження систем «Інтелектуальний дім» є самодіагностика побутової техніки, комунікаційного обладнання і т. ін. Наприклад, визначення протічків батарей, труб, неправильної роботи або роботи в аварійних режимах побутової техніки. В свою чергу, наявність сучасних неспроможних технологій дозволяють власнику будинку одразу знати про будь-яку нештатну ситуацію. На даний момент існуючі розробки і технологічні рішення, по автоматичній самодіагностиці побутової техніки вимагають наявності спеціалізованих блоків або видів побутової техніки з інтегрованими елементами діагностики, є достатньо дорогим рішенням для впровадження в систему «Інтелектуальний дім». В цій статті авторами запропоновано метод спектр-токової діагностики побутової техніки на основі спектрального аналізу електричної мережі в якій працюють побутові прилади з асинхронними двигачами. Використання запропонованого підходу дозволяє виконувати косвенну діагностику і ідентифікацію будь-якого побутового обладнання елемента якого є асинхронний двигач, що дозволяє зменшити витрати засобів на використання спеціалізованого обладнання, а також спростити логіку управління інформаційною системою «Інтелектуальний дім».

**Ключевые слова:** інтелектуальний дім, самодіагностика, асинхронний двигач, інформаційна система, спектр-токовий аналіз.

**Kupin A., Kuznetsov D.** Auto diagnostic information models consumer electronics systems type "smart house" Modern houses, apartments and homes are complex engineering systems, which require skilled manual. Systems "Smart House" enable, automatically, perform energy management, heating, ventilation, air conditioning and more. With this automation every part of this information system works in concert with others, in optimal mode, which saves time and money. In addition to monitoring functions and ensure comfortable conditions in the room at the moment, by promising research systems "Smart House" is a self-diagnosis of household appliances, communication equipment and so on. For example, the definition of battery leaks, pipes, malfunction or work in the emergency operation of appliances. In turn, the availability of advanced wireless technologies allow home owners to know immediately about any abnormal situation. Currently existing design and technological solutions for automatic self-diagnostic appliances require specialized units or types of appliances with integrated diagnostic elements, which is rather expensive solution for implementing a system of "Smart House". In this article, the authors proposed a method of spectrum-current diagnostic appliances based on spectral analysis grid in which the appliances work with induction motors. Using the proposed approach allows to perform indirect diagnosis and identification of any household equipment element, the induction motor that can reduce the cost of funds for the use of specialized equipment, and simplify the logic of management information system "Smart House".

**Keywords:** smart home, self-diagnosis, asynchronous motor, information system, the spectrum-analysis overcurrent.

УДК 621.039 : [622+669]

**Моркун В.С., Лобов В.Й., Лобова К.В.** Використання ядерної енергії - майбутнє розвитку гірничо-металургійного комплексу України

Визначено, що при незмінній технології обсяг виконаної роботи на гірничо-металургійному комплексі пропорційний кількості спожитих енергоносіїв, а потужність - продуктивності технологічного процесу. За теперішнім станом технологічне обладнання використовується не ефективно, фізично зносився і морально застаріло. Раніше при нарощуванні обсягів виробництва, не зверталася увага і не виділялися кошти на переоснащення, модернізацію і реконструкцію виробничих потужностей. Тому гірничо-металургійний комплекс має недосконалу галузеву і технологічну структуру, низьку ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів.

Метою роботи стало необхідність показати заходи щодо здійснення технічного переозброєння та модернізації виробництва, направлених на зниження енергетичних витрат і підвищення продуктивності виробництва конкурентоспроможної металопродукції. Обґрунтовані можливості вирішення питань цієї мети за рахунок використання на гірничо-металургійному комплексі альтернативної енергії, такої як ядерна енергія, яка до 2030 року знайде широке застосування в різних галузях виробництва. Запропоновано використовувати ядерну енергію за допомогою принципу нових атомних станцій малої потужності останнього покоління з енергоблоками електричної потужністю від 100 кВт до 1-35 МВт і більше. Виконано порівняння вартості електроенергії для атомних і теплових станцій, а також станцій, що працюють на поновлюваних джерелах енергії.

Для модернізації гірничо-металургійного комплексу запропоновано використати декілька варіантів. В одному варіанті розглядається впровадження на підприємстві технологічних об'єктів, оснащених ядерними реакторами четвертого покоління (Gen IV), тобто на кар'єрах це: екскаватори, самоскиди, бурові установки, бульдозери та інші технологічні об'єкти, а живлення електричною енергією фабрик: дробарної, збагачувальної, огрудкування та допоміжних цехів підприємств виконується від модульної атомної електричної станції. В іншому варіанті запропоновано використання для живлення електричною енергією технологічних об'єктів і фабрик та цехів гірничо-металургійного комплексу від однієї загальної модульної малої потужності АЕС.

**Ключові слова:** гірничо-металургійний комплекс, енергоносії, модернізація виробництва, атомна енергія, модульні станції, реактор

**Моркун В.С., Лобов В.Й., Лобова К.В.** Использование ядерной энергии - будущее развития горно-металлургического комплекса Украины

Определено, что при неизменной технологии объем произведенной работы на горно-металлургическом комплексе пропорционален количеству потребленных энергоносителей, а мощность - производительности технологического процесса. За нынешним состоянием технологического оборудование используется не эффективно, физически изношено и морально устаревший. Раньше при наращиваемые объемов производства, не обращалось внимание и не выделялись средства на переоснастку, модернизацию и реконструкцию производственных мощностей. Поэтому горно-металлургический комплекс имеет несовершенную отраслевую и технологическую структуру, низкую эффективность использования топливно-энергетических ресурсов.



Целью работы стало необходимость показать мероприятия по осуществлению технического перевооружения и модернизации производства, направленных на снижение энергетических расходов и повышения производительности производства конкурентоспособной металлопродукции. Обоснованы возможности решения вопросов этой цели за счет использования на горно-металлургическом комплексе альтернативной энергии, такой как ядерная энергия, которая до 2030 г. найдет широкое применение в разных отраслях производства. Предложено использовать ядерную энергию с помощью принципиально новых атомных станций малой мощности последнего поколения с энергоблоками электрической мощностью от 100 кВт до 1-35 МВт и больше. Выполнено сравнение стоимости электроэнергии для атомных и тепловых станций, а также станций, которые работают на возобновляемых источниках энергии.

Для модернизации горно-металлургического комплекса предложено использовать несколько вариантов. В одном варианте рассматривается внедрение на предприятии технологических объектов, оснащенных ядерными реакторами четвертого поколения (Gen IV), то есть на карьерах это: экскаваторы, самосвалы, буровые установки, бульдозеры и другие технологические объекты, а питание электрической энергией фабрик: дробильной, обогатительной, окомкования и вспомогательных цехов предприятий выполняется от модульной атомной электрической станции. В другом варианте предложено использование для питания электрической энергией технологических объектов и фабрик и цехов горно-металлургического комплекса от одной общей модульной малой мощности АЭС.

**Ключевые слова:** горно-металлургический комплекс, энергоносители, модернизация производства, атомная энергия, модульные станции, реактор

**Morkun V.S., Lobov V.I., Lobova K.V.** The use of nuclear energy is the future of development of mountain - metallurgical complex of Ukraine

Certainly, that at unchanging technology a volume done work on a горно-металлургическом complex is proportional to the amount of the used power mediums, and power - to the productivity of technological process. After the present state a technological equipment is used not effectively, physically taken and morally out-of-date. Before at grown production volumes, attention did not apply and not provided funds on retooling, modernization and reconstruction of production capacities. Therefore a горно-металлургический complex has an imperfect branch and technological structure, subzero efficiency of the use of fuel and energy resources.

Became the purpose of work necessity to show measures on realization of technical rearmament and modernization of production, power charges and increase of the productivity of production of competitive металлопродукции sent to the decline. Possibilities of decision of questions of this purpose are reasonable due to the use on the горно-металлургическом complex of alternative energy, such as nuclear energy which to 2030 will find a wideuse in different industries of production. It is suggested to use nuclear energy by means of the fundamentally new atomic stations of small-yield of the last generation with power units by electric power from 100 kW to 1-35 MВт and anymore. Comparison of electricity charges is executed for the atomic and thermal stations, and also stations which work on proceeded in energy sources.

For modernization of горно-металлургического complex it is suggested to use a few variants. In one variant introduction is examined on the enterprise of technological objects, equipped by the nuclear reactors of fourth-generation (Gen IV), id est on careers it: power-shovels, tippers, borings options, bulldozers and other technological objects, and feed electric energy of factories : crush, concentrating, окомкования and auxiliary workshops of enterprises executed from the module atomic electric station. In other variant the use is offered for a feed electric energy of technological objects and factories and workshops of горно-металлургического complex from one general module small-yield of АЭС.

**Keywords:** mountain-metallurgical complex, power mediums, modernization of production, atomic energy, module stations, reactor

УДК 622.271

**Федоренко С.А., Жуков С.А., Навитний Ю.М., Ткаличенко С.В.** Модификация элементной базы системной оптимизации комплексно-сырьевой конверсии ГОКа с вовлечением ЦПТ

Показано, что вмещающие горные породы в проектных контурах рудных карьеров – разнообразны и многие из них пригодны для продуктивного использования. Их качество и запасы – достаточны для добычи в качестве альтернативного сырья, добываемого в нерудных карьерах. Для оценки эффективности этого целесообразным является анализ возможностей использования рудных конвейерных трактов в карьере ИнГОКа. Показано, что Ингулецкое месторождение характеризуется высокой петрографической комплексностью. Вместе с тем, в разрабатываемом его карьере имеется широкий спектр технических средств для организации мультиструктурных грузопотоков даже в существующих стесненных условиях ведения горных работ. Но для достоверной оценки эффективности возможной конверсии ГОКа знания горно-технологических условий и потребительских характеристик потенциальной нерудной продукции – недостаточно. Для этого необходим более глубокий системный анализ состояния и соотношения разнообразных ресурсов, проектных наработок, производственного и экономического потенциала предприятия, адаптивной гибкости и инертности применяемых технологий, а также многих других внутренних и внешних факторов. Относительно технологической составляющей в таком системном подходе относительно ИнГОКа показано, что до 2022 года реальные возможности перехода на комплексную разработку месторождения в его карьере с вовлечением в транспортировку нерудной попутной продукции ЦПТ являются весьма ограниченными без радикальных изменений принятых проектов. Однако, после 2027 г. это становится уже целесообразным, и заключается в изменении структуры существующих грузопотоков с минимальными их модификациями. При этом одним из путей минимизации проблем перехода на новые виды продукции (диверсификация сырья целевой добычи и конверсия предприятия) является создание складов нерудного сырья в пространстве выработок опережающего формирования конечного (проектного) положения борта карьера.

**Ключевые слова:** карьер, конвейер, минеральная продукция, совмещенные потоки, комплексные технологии.

**Федоренко С.О., Жуков С.О., Навітній Ю.М., Ткаліченко С.В.** Модифікація елементної бази системної оптимізації комплексно-сировинної конверсії ГЗК з залученням ЦПТ

Показано, що вміщуючі гірські породи в проектних контурах рудних кар'єрів є різноманітними і здебільшого придатними для продуктивного використання. Їх якість і запаси – достатні для видобутку як альтернативної сировини тій, що видобувається в нерудних кар'єрах. Для оцінки ефективності цього доцільним є аналіз можливостей використання рудних конвеєрних трактів в кар'єрі ІнГЗК. Показано, що Інгулецьке родовище характеризується високою петрографічною комплексністю. Разом з тим, в кар'єрі, що розробляє його, є широкий спектр технічних засобів для організації мультіструктурних вантажопотоків навіть в існуючих умовах обмеженого простору для ведення гірничих робіт. Але для достовірної оцінки ефективності можливої конверсії ГЗК знання гірничо-технологічних умов і споживчих характеристик потенційної нерудної продукції – недостатньо. Для цього є необхідним більш глибокий системний аналіз стану та співвідношення різноманітних ресурсів, проектних напрацювань, виробничого й економічного потенціалу підприємства, адаптивної гнучкості й інертності застосовуваних технологій, а також багатьох інших внутрішніх і зовнішніх факторів. Стосовно технологічної складової в такому системному підході щодо ІнГЗК показано, що до 2022 року реальні можливості переходу на комплексну розробку родовища в його кар'єрі з залученням в транспортування нерудної побіжної продукції ЦПТ є вельми обмеженими без радикальних змін прийнятих проектів. Однак, після 2027 року це стає вже доцільним, та полягає в зміні структури існуючих вантажопотоків з мінімальними їх модифікаціями. При цьому одним зі шляхів мінімізації проблем переходу на нові види продукції (диверсифікація сировини цільової видобутку і конверсія підприємства) є створення складів нерудної сировини в просторі виробок випереджаючого формування кінцевого (проектного) положення борту кар'єра.

**Ключові слова:** кар'єр, ЦПТ, конвеєр, мінеральна продукція, вантажопотік, суміщені потоки, комплексні технології.  
**Fedorenko S.A., Zhukov S.A., Navitniy Y.M., Tkalitshenko S.V.** Modification of the element base of system optimization in a comprehensive resource conversion GOK involving CLT

It is considered that surrounding rocks in the design contours of ore quarries – are diverse and many of them are suitable for productive use. Their quality and reserves – enough for production as for alternative raw materials, non-metallic minerals mined in open pits. To assess the effectiveness of this expedient is to analyze the possibilities of using ore conveyors in the quarry of InGOK. It is shown that Inguletskiy deposit is characterized by high petrography complexity. However, in a career that develops it, a wide range of hardware for multi structural cargo flow even in existing space is limited to mining operations. But for accurate evaluation possible conversion efficiency of mining and processing knowledge and technological conditions and consumer characteristics of potential non-metallic products - is not enough. For this is needed more in-depth system analysis and correlation of various resources, project developments, production and economic potential of the company, the adaptive flexibility and inertness of the technologies, as well as many other internal and external factors. Regarding technological component in such a systematic approach on InGOK shows that by 2022 real possibility of switching to a comprehensive development of the field in his career with involvement in the transport of non-metallic products cursory CLT is very limited without radical changes of accepted projects. However, after 2027 it becomes appropriate, and is changing the structure of the existing cargo flow with a minimum of modification. Thus one way to minimize the problems of transition to new products (diversification of raw material extraction and conversion of the target company) is the establishment of warehouses non-metallic materials in space forming openings ahead of the final (project) position aboard career.

**Keywords:** quarry, CLT, conveyor, mineral products, cargo flow, combined flows, complex technology.

УДК 622.272.3.01: 536.24.

**Гурін А.О., Лапшин О.О., Лапшина Д.О.** Управління параметрами мікроклімату в підземних камерах шахт з джерелами тепла

Відсутність ефективного провітрювання і надлишки тепла, утворені від роботи обладнання формують у підземних камерах шахт несприятливий мікроклімат, що негативно позначається на продуктивності праці та здоров'ї шахтарів. Найбільш несприятливі мікрокліматичні умови утворюються у камерах водовідливу, де за одночасної роботи двох-трьох насосних установок потужністю 800 кВт кожна, температура повітря сягає 36-38°C, а швидкість його руху внаслідок відсутності ефективної вентиляції знаходиться в межах 0,2-0,3 м/с, що не відповідає нормативним вимогам. З метою поліпшення умов праці в підземних камерах з джерелами тепла запропоновано спосіб нормалізації мікроклімату та регулювання його параметрів. Розроблення даного способу базується на науковому обґрунтуванні отримання ефекту охолодження від адіабатичного розширення стисненого повітря. Для реалізації запропонованого способу розроблено конструкцію охолоджувальної установки «Клімат», робочі параметри якої встановлювалися на підставах експериментальних досліджень в промислових умовах камер водовідливу шахт Кривбасу. Результати промислових випробувань засвідчили ефективність охолодження повітря в камерах на рівні 35-54%. Застосування установки «Клімат» у підземних камерах шахт дає можливість підтримувати температуру повітря на рівні 22-24°C, швидкість його руху в межах 0,5-2,5 м/с і відносну вологість не більше 60-70%. Результати досліджень представлені у статті впроваджені у промислових умовах камер водовідливу шахти «ім. Леніна» ПАТ «Кривбасзалізрудком» і шахти «ім. Артема» ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

**Ключові слова:** ефективне провітрювання, підземні камери, температура повітря, камери водовідливу

**Гурин А.А., Лапшин А.А., Лапшина Д.А.** Управление параметрами микроклимата в подземных камерах шахт с источниками тепла

Отсутствие эффективного проветривания и излишки тепла, образованное от работы оборудования формируют в подземных камерах шахт неблагоприятный микроклимат, который негативно отражается на производительности труда и здоровья шахтеров. Наиболее неблагоприятные микроклиматические условия образуются в камерах водоотлива, где при одновременной работе двух-трех насосных установок мощностью 800 кВт каждая, температура воздуха достигает 36-38°C, а скорость его движения в результате отсутствия эффективной вентиляции находится в пределах 0,2-0,3 м/с, что не отвечает нормативным требованиям. Для улучшения условий труда в подземных камерах с источниками тепла предложен способ нормализации микроклимата и регуляции его параметров. Разрабатывание данного способа базируется на научном обосновании получения эффекта охлаждения от адиабатического расширения стис-

неного воздуха. Для реализации предложенного способа разработана конструкция охладительной установки "Климат", рабочие параметры которой устанавливались на основании экспериментальных исследований в промышленных условиях камер водоотлива шахт Кривбасса. Результаты промышленных испытаний засвидетельствовали эффективность охлаждения воздуха в камерах на уровне 35-54%. Применение установки "Климат" в подземных камерах шахт дает возможность поддерживать температуру воздуха на уровне 22-24°C, скорость его движения в пределах 0,5-2,5 м/с и относительную влажность не больше 60-70%. Результаты исследований представлены в статье внедренные в промышленных условиях камер водоотлива шахты "им. Ленина" ПАТ "Кривбассжелезрудком" и шахты "им. Артема" ПАТ "АрселорМиттал Кривой Рог".

**Ключевые слова:** эффективное проветривание, подземные камеры, температура воздуха, камеры водоотлива

**Gurin A., Lapshyn A., Lapshyna D.** Regulation of microclimate parameters in the underground chambers with heat sources. Absence of effective ventilation and surpluses of heat, the equipment formed from work is formed in the underground chambers of mines unfavorable microclimate which negatively affects the labour productivity and health of miners. The most unfavorable microclimatic terms appear in the chambers of pumping, where during simultaneous work of двух-трех of pumping options by power 800 kWt each, the temperature of air arrives at 36-38°C, and a rate of his movement as a result of absence of effective ventilation is within the limits of a 0,2-0,3 m/s, that does not answer normative requirements. For the improvement of terms of labour in underground chambers with the sources of heat the method of normalization of microclimate and adjusting of his parameters is offered. Development of this method is based on the scientific ground of receipt of cooling effect from adiabatic expansion of стисненого air. For realization of the offered method the construction of the cool setting is worked out "Climate", the operating parameters of which were set on the grounds of experimental researches pilot-scale chambers of pumping of mines of Кривбасса. The results of industrial tests witnessed efficiency of cooling of air in chambers at the level of 35-54%. Application of setting "Climate" in the underground chambers of mines is given by possibility to support the temperature of air at the level of 22-24°C, rate of his movement within the limits of a 0,5-2,5 m/s and relative humidity not more than 60-70%. The results of researches are presented in the articles inculcated pilot-scale chambers of pumping of mine by "им. Ленина" STALEMATE of "Кривбассжелезрудком" and mines by "им. Артем" STALEMATE of "АрселорМиттал is Кривий Ріг".

**Keywords:** effective ventilation, underground chambers, temperature of air, pumping chambers

УДК622.1:622.831.3

**Клочко И.И., Федоренко П.И., Подойницын И.П., Швец Е.Н.** Работоспособность наружных зарядов различной конструкции в горных породах

В статье приведены результаты лабораторного и опытно-промышленного исследование влияния массы ВВ и конструкции наружного заряда на эффективность взрыва. Показано, что создание в удлиненных кумулятивных зарядах сходящихся детонационных волн за счет встречного инициирования позволяет повысить работоспособность заряда в 1,2-1,6 раза по методу воронкообразования. Лабораторные исследования выполнены на линейном механическом ускорителе, обеспечивающем ускорение от 10 до 100g. Поле ускорения на нем возникает и исчезает плавно, не давая динамических эффектов, и существует достаточное время, необходимое для исследования взрывных процессов. Это позволяет исследовать закономерность формирования воронок выброса в зависимости от вида зарядов и параметров кумулятивного потока. Введение перегрузок позволило исследовать действие модельных зарядов, аналогичным зарядам в 100 кг в натуральных условиях. В результате установлено, что уменьшение объемов воронок выброса по видам зарядов, происходит по тому же закону, что и для взрывания зарядов без перегрузки. Следовательно, роль продуктов взрыва, времени существования струи в образовании воронок выброса и механизм разрушения остаются неизменными. В случае простого кумулятивного заряда с введением перегрузки объем воронки уменьшился в 2,0 раза, а в случае облицованного - в 2,6 раза по отношению к контрольному. Однако если сравнивать величины воронок до и после перегрузки по видам зарядов, то получается, что в случае простого заряда воронка уменьшилась в 1,5 раза, в случае кумулятивного заряда - в 2,25 раза, в случае заряда с облицовкой - в 1,6 раза. Установлено, что наибольшей работоспособностью обладают кумулятивные заряды с конической кумулятивной выемкой. На работоспособность удлиненных зарядов существенно влияет длина заряда, что подтверждают полученные нами ранее результаты. При встречном инициировании работоспособность зарядов увеличиться в 1,2-1,6 раза. Большая работоспособность соответствовала более длинному заряду. Максимальный объем воронки выброса составил 0,00736 м<sup>3</sup> при заряде 0,8 кг, что в 1,35 раз больше, чем в случае контрольного взрывания.

**Ключевые слова:** негабарит, наружные заряды, эффективность действия, работоспособность, конструкции зарядов, инициирование.

**Клочко І.І., Федоренко П.Й., Подойніцин І.П., Швець Є.І.** Працездатність зовнішніх зарядів різної конструкції в гірських породах

У статті наведено результати лабораторного і досвідчено-промислового дослідження впливу маси ВВ і конструкції зовнішнього заряду на ефективність вибуху. Показано, що створення в подовжених кумулятивних зарядах детонаційних хвиль, що сходяться, за рахунок зустрічної ініціації дозволяє підвищити працездатність заряду в 1,2-1,6 разу по методу воронкообразования. Лабораторні дослідження виконані на лінійному механічному прискорювачі, що забезпечує прискорення від 10 до 100g. Поле прискорення на нм виникає і зникає плавно, не даючи динамічних ефектів, і існує достатній час, необхідний для дослідження вибухових процесів. Це дозволяє досліджувати закономірність формування воронок викиду залежно від виду зарядів і параметрів кумулятивного потоку. Введення перевантажень дозволило досліджувати дію модельних зарядів, аналогічним зарядам в 100 кг в натурних умовах. В результаті встановлено, що зменшення об'ємів воронок викиду по видах зарядів, відбувається за тим же законом, що і для підривання зарядів без перевантаження. Отже, роль продуктів вибуху, часу існування струменя в утворенні волокон викиду і механізм руйнування залишаються незмінними. У разі простого кумулятивного заряду з введенням перевантаження об'єм воронки зменшився в 2,0 разу, а у разі фанерованого - в 2,6 разу після відношення до контрольного. Проте якщо порівнювати величини воронок до і після перевантаження по видах

зарядів, то виходить, що у разі простого заряду воронка зменшилася в 1,5 разу, у разі кумулятивного заряду - в 2,25 разу, у разі заряду з облицюванням - в 1,6 разу. Встановлено, що найбільшу працездатність мають кумулятивні заряди з конічною кумулятивною виїмкою. На працездатність подовжених зарядів істотно впливає довжина заряду, що підтверджують отримані нами раніше результати. При зустрічній ініціації працездатність зарядів збільшиться в 1,2-1,6 разу. Велика працездатність відповідала довшому заряду. Максимальний об'єм воронки викиду склав 0,00736 м<sup>3</sup> при заряді 0,8 кг, що в 1,35 разів більше, ніж у разі контрольного підвмання.

**Ключові слова:** негабарит, зовнішні заряди, ефективність дії, працездатність, конструкції зарядів, ініціація.

**Klochko I.I., Fedorenko P.Y., Podoyntsyn I.P., Shvets Ye.N.** Operability of external charges of different designs in mine rocks

The article presents the results of laboratory and pilot-industrial studies of the effect of explosives charge weight and external charge structure on the explosion effectiveness. It is shown that the establishment of converging detonation waves in extended shaped charges by oncoming initiation allows to increase charge operability by 1.2-1.6 times using funneling method.

Laboratory researches are executed on the linear mechanical accelerating, providing an acceleration from 10 to 100 g. the Field of acceleration on him arises up and disappears fluently, not giving dynamic effects, and there is sufficient time, necessary for research of explosive processes. It allows to investigate conformity to law of forming of craters of the troop landing depending on the type of charges and parameters of cumulative stream. Introduction of overloads allowed to investigate the action of model charges, to the analogical charges in 100 kg in model terms. It is set as a result, that diminishing of volumes of craters of the troop landing on the types of charges, takes place on the same law, what for the exploding of charges without an overload. Consequently, role of foods of explosion, to time of existence of stream in funnelling of the troop landing and mechanism of destruction remain unchanging. In the case of simple cumulative charge with introduction of overload the volume of crater diminished in 2,0 time, and in the case of facing - in 2,6 time after attitude toward control. However if to compare the sizes of craters before and after an overload on the types of charges, then it turns out that in the case of simple charge of воронка diminished in 1,5 time, in the case of cumulative charge - in 2,25 time, in the case of charge with revetment - in 1,6 time. It is set that a most capacity is possessed by cumulative charges with a conical cumulative coulisse. On the capacity of the extended charges length of charge influences substantially, that is confirmed by got by us before results. At meeting initiation capacity of charges to increase in 1,2-1,6 time. A large capacity corresponded to more long charge. The maximal volume of crater of the troop landing made 0,00736 м<sup>3</sup> at a charge 0,8 kg, that in 1,35 times more than in the case of control exploding.

**Keywords:** boulder, external charges, action effectiveness, operation efficiency, structure of charges, initiation.

УДК 622.272:622.611

**Ступнік М.І., Калініченко В.О., Тарасютін В.М., Хівренко О.Я., Косенко А.В.** Підвищення ефективності технологічного процесу випуску і доставки руди на базі використання самохідної навантажувально-доставочної техніки в складних геомеханічних умовах шахт Кривбасу

У роботі зазначено, що основною проблемою розробки родовищ природно-багатих залізних руд є інтенсифікація її видобутку і впровадження сучасних методів виробництва із застосуванням сучасної механізації всіх виробничих процесів. Доведено, що інтенсифікація ведення очисних робіт дозволить підвищити конкурентну спроможність гірничо-видобувних підприємств Криворізького басейну. Проаналізовано та узагальнено вітчизняний та зарубіжний досвід, наукові праці і проектні матеріали щодо використання самохідної техніки в підземних умовах. Зроблено висновки з приводу того, що масштабному застосуванню комплексів самохідної техніки суперечать складні геомеханічні умови глибоких горизонтів.

Для вирішення цієї проблеми здійснене удосконалення існуючого комбінованого способу доставки рудної маси, шляхом суміщення покрівлі навантажувально-доставочного орта і підшви штреків скреперування та застосування багатоковшевих скреперних установок на горизонті первинної доставки. Це суміщення дає змогу збільшити об'єм навалу рудної маси на підшві навантажувально-доставочного орта, у результаті збільшення його висоти, що підвищить коефіцієнт використання самохідної навантажувально-доставочної машини у часі протягом зміни та у разі можливих технологічних простоїв з скреперних установок. На горизонті первинної скреперної доставки створюється наскрізне провітрювання свіжим струменем повітря штреків скреперування, що забезпечить якісні санітарно-гігієнічні умови праці машиніста скреперної установки. Застосування багатоковшевих скреперних установок дає змогу здійснювати випуск руди з усіх випускних виробок по всій площині виробки доставки рівномірними дозами, для сприяння покращенню кількісних та якісних показників вилучення. Продуктивність скреперної установки становить 340-420 т/зміну, за умови виходу негабаритних кусків рудної маси у межах 5-6%, а самохідної навантажувально-доставочної машини - 700-800 т/зміну, в залежності від її типу, на відстані середньої довжини доставки 90-450 м. Це дозволяє оптимізувати відстань між капітальними рудоспусками в залежності від техніко-економічного обґрунтування. Застосування самохідних машин не обмежується тільки цими умовами і може бути використано в будь-яких рудах.

**Ключові слова:** природно-багаті залізні руди, інтенсифікація гірничих робіт, глибокі горизонти, комбінований спосіб доставки руди, самохідна навантажувально-доставочна техніка.

**Ступнік Н.И., Калиниченко В.А., Тарасютин В.М., Хивренко О.А., Косенко А.В.** Повышение эффективности технологического процесса выпуска и доставки руды на базе использования самоходной погрузочно-доставочной техники в сложных геомеханических условиях шахт Кривбаса

В работе указано, что основной проблемой разработки месторождений природно-богатых железных руд является интенсификация ее добычи и внедрение современных методов производства с применением современной механизации всех производственных процессов. Доказано, что интенсификация ведения очистных работ позволит повысить конкурентную способность горнодобывающих предприятий Криворожского бассейна. Проанализированы и обобщены отечественный и зарубежный опыт, научные работы и проектные материалы по использованию самоходной

техники в подземных условиях. Сделаны выводы по поводу того, что масштабному применению комплексов самоходной техники противостоят сложные геомеханические условия глубоких горизонтов.

Для решения этой проблемы осуществлено совершенствование существующего комбинированного способа доставки рудной массы, путем совмещения кровли погрузочно-доставочного орта и подошвы штреков скреперования, а так же применения многоковшовых скреперных установок на горизонте первичной доставки. Это совмещение позволяет увеличить объем навала рудной массы на подошве погрузочно-доставочного орта, в результате увеличения его высоты, что повысит коэффициент использования самоходной погрузочно-доставочной машины во времени в течение смены и в случае возможных технологических простоев одной из скреперных установок. На горизонте первичной скреперной доставки создается сквозное проветривание свежей струей воздуха штреков скреперования, что обеспечит качественные санитарно-гигиенические условия труда машиниста скреперной установки. Применение многоковшовых скреперных установок позволяет осуществлять выпуск руды из всех выпускных выработок по всей плоскости выработки доставки равномерными дозами, для содействия улучшению количественных и качественных показателей извлечения. Производительность скреперной установки составляет 340-420 т / смену, при условии выхода негабаритных кусков рудной массы в пределах 5-6%, а самоходной погрузочно-доставочной машины - 700- 800 т / смену, в зависимости от ее типа, на расстоянии средней длины доставки 90-450 м. Это позволяет оптимизировать расстояние между капитальными рудоспусками в зависимости от технико-экономического обоснования. Применение самоходных машин не ограничивается только этими условиями и может быть использовано для разработки руд любой крепости и устойчивости.

**Ключевые слова:** природно-богатые железные руды, интенсификация горных работ, глубокие горизонты, комбинированный способ доставки руды, самоходная погрузочно-доставочная техника.

**Stupnik N.I., Kalinichenko V.A., Tarasyutin V.M., Hivrenko O.A., Kosenko A.V.** Improving the efficiency of production process and shipping ore on the basis of the use of self-propelled load-delivery machines technology in difficult conditions of mines geomechanical Kryvbas

The paper pointed out that the main problem of development of deposits of natural and high-grade iron ore is the intensification of its production and the introduction of modern production methods with the use of modern mechanization of all production processes. It is proved that the intensification of extraction works will improve the competitiveness of the mining enterprises of Kryvyi Rih basin. Analyzed and summarized the domestic and foreign experience, research work and project materials for the use of self-propelled load-delivery machines in underground conditions. Conclusions about the fact that large-scale use of self-propelled machinery complexes contradict difficult geomechanical conditions of the deep horizons.

To solve this problem, implemented the improvement of the existing combined method to betting ore mass, by combining the roof load-delivery cross drift and foot wall roadway, as well as the use of multibowl scraper setting on the horizon, the primary delivery. This combination of key-it possible to increase the volume of the strike of the ore mass at the base of the loading and the delivery of the unit vector, resulting in the increase of its height, which will increase the utilization of the self-propelled load-delivery machines in time for the change in the event of any operational delays a scraper installations. On the horizon, the primary scraper delivery creates cross-ventilation of fresh air jet roadway, which will provide high-quality hygienic conditions of work scraper driver installation. The use of multi-scraping units allows for the release of all ore outlet openings on the entire plane generation delivery uniform doses, to promote the advancement of quantitative and qualitative indicators of extraction. Performance of scraper equipments is 340-420 tons/changeover output provided oversized pieces of ore in the range of 5-6 %, and a self-propelled load-delivery machines – 700-800 tons/changeover, depending on the type, the average distance delivery length 90-450 m. This makes it possible to optimize the distance between the capital ore passes, depending on the feasibility study. The use of self-propelled vehicles is not limited to these conditions and can be used for the development of any ore crepe spine and sustainability.

**Key words:** natural and rich in iron ore, the intensification of mining operations, deep horizons, combined delivery method ore, load-haul-propelled machinery

УДК 622.271.33:622.12

**Близиюков В.Г., Луценко С.А., Баранов И.В.** Определение перспективных контуров карьеров разрабатывающих крутопадающие железорудные месторождения

Необходимость в определении перспективных конечных границ железорудных карьеров обусловлена тем, что после выхода горных работ на проектный контур карьеры будут работать в режиме ежегодного снижения (выбытия) производственной мощности, а для подготовки перекрытия такого выбытия потребуются 5-7 лет при любом способе разработки. При этом увеличится глубина разработки месторождения, а большая часть верхних горизонтов рабочей зоны будет погашена, что потребует вовлечения значительно большего объема инвестиций на освоения запасов за утвержденным проектным контуром карьера. В статье, на примере Первомайского карьера ПАО «Северный ГОК» показано определение перспективных контуров отработки карьера, выполнены исследования изменения наибольшего текущего коэффициента вскрыши в зависимости от увеличения проектной глубины карьера. Перспективные границы Первомайского карьера ПАО «Северный ГОК» обеспечат экономические показатели добычи руды и производства концентрата на уровне не ниже экономических показателей подобных горно-обогачительных комбинатов. По результатам проведенных исследований установлено, что прирост запасов руды в перспективном контуре отработки карьера составляет более 130 млн т. При этом дополнительный объем вскрышных работ составит в размере 260 млн м<sup>3</sup>. Коэффициент вскрыши в утвержденном проектном контуре отработки карьера составляет 0,6 м<sup>3</sup>/т. При разработке месторождения в перспективном контуре отработки карьера коэффициент вскрыши будет составлять 0,81 м<sup>3</sup>/т. При разработке месторождения в перспективных контурах отработки карьера срок его эксплуатации может быть продлен до 43 лет против 37 (при работе в утвержденном контуре отработки).

**Ключевые слова:** конечный контур, глубина карьера, коэффициенты вскрыши, объемы руды вскрышных пород, срок работы.

**Блізнюков В.Г., Луценко С.О., Баранов І.В.** Визначення контурів кар'єрів, які розробляють крутоспадні залізородні родовища

Необхідність у визначенні перспективних кінцевих границь залізородних кар'єрів обумовлена тим, що після виходу гірничих робіт на проектний контур кар'єри будуть працювати в режимі щорічного зниження (вибуття) виробничої потужності, а для підготовки перекриття такого вибуття буде потрібно 5-7 років при будь-якому способі розробки. При цьому збільшиться глибина розробки родовища, а більша частина верхніх горизонтів робочої зони буде погашена, що потребує залучення значно більшого обсягу інвестицій на освоєння запасів за затвердженим проектним контуром кар'єру. У статті, на прикладі Першотравневого кар'єру ПАТ «Північний ГЗК» показано визначення перспективних контурів відпрацьовування кар'єру, виконані дослідження зміни найбільшого поточного коефіцієнта розкриття залежно від збільшення проектної глибини кар'єру. Перспективні границі Першотравневого кар'єру ПАТ «Північний ГЗК» забезпечать економічні показники видобутку руди та виробництва концентрату на рівні не нижче економічних показників подібних гірничозбагачувальних комбінатів. За результатами проведених досліджень установлено, що приріст запасів руди в перспективному контурі кар'єру становить більш 130 млн. т. При цьому додатковий обсяг розкривних робіт складе в розмірі 260 млн. м<sup>3</sup>. Коефіцієнт розкриття в затвердженому проектному будці відпрацьовування кар'єру становить 0,6 м<sup>3</sup>/т. При розробці родовища в перспективному контурі відпрацьовування кар'єру коефіцієнт розкриття буде становити 0,81 м<sup>3</sup>/т. При розробці родовища в перспективних контурах відпрацьовування кар'єру строк його експлуатації може бути продовжений до 43 років проти 37 (при роботі в затвердженому контурі відпрацьовування).

**Ключові слова:** кінцевий контур, глибина кар'єру, коефіцієнти розкриття, обсяги руди розкривних порід, строк роботи.

**Bliznyukov V.G., Lutsenko S.A., Baranov I.V.** Determination of perspective open pit outlines exploiting steeply-dipping iron-ore deposits

The need for a definition of prospective finite boundaries of iron ore quarry due to the fact that after the mining operations at the project outline quarry mode will work in an annual decrease (outflow) of production capacity, and for the preparation of the overlap of the disposals required 5-7 years with any method of development. This will increase the depth of field development, and most of the upper horizons the working area will be repaid, which will require the involvement of a much larger volume of investment in the development of the reserves of approved project quarry outline. In an article on the example of the Pervomaisky quarry PAO "Northern Mining" shows the definition of the contours of promising mining quarry, made the greatest changes in the study of the current stripping ratio as a function of increasing the depth of the quarry project. Prospective border Pershamaiski quarry PAO "Northern GOK" provide economic indicators of ore mining and production at a level not lower than concentrate economic indicators such mining processing combine. The results of the study found that the ore reserves in the promising growth contour mining quarry is more than 130 mln. T. In this case, the additional volume of stripping operations will be in the amount of 260 million. m<sup>3</sup>. The stripping ratio in the approved project is working off quarry contour is 0.6 m<sup>3</sup>/t. In the development of the field in the planning loop open quarry stripping ratio will be 0.81 m<sup>3</sup> / t. In the development of promising deposits in circuits working off his quarry operating life can be extended up to 43 years to 37 (operating in the approved working off contour).

**Keywords:** finite contour, the depth of the pit, ratios of overburden, the deposits, the period of work.

УДК 697.34

**Герасимчук О.В., Гонзульт В.П., Ковалець О.І., Наумова М.О.** Аналіз надійності при обґрунтуванні роботи систем теплопостачання

У роботі розглянуто питання можливості підвищення надійності роботи системи теплопостачання за трьома основними методами: підвищенням надійності окремих елементів системи; застосуванням технічно обґрунтованого режиму роботи системи в цілому або її окремих ділянок; резервуванням елементів системи. Не зважаючи на актуальність і важливість вказаної проблеми на теперішній час не існує єдиної методики визначення надійності теплових мереж, а підходи до класифікації показників надійності відрізняються один від одного. В той же час, надійність будь якої мережі теплопостачання в значній мірі залежить від якості виконання робіт ще на стадії проектування. І в цьому плані, важливу роль може відіграти застосування сучасних програмних комплексів, які дозволяють моделювати роботу системи з урахуванням багатьох заданих чинників, які впливають на її безвідмовну роботу. Одним з таких програмних комплексів є програма «СТАРТ», яка знайшла своє застосування в ДП «Кривбаспроект». Зважаючи на те, що при ручних розрахунках, параметри системи визначались на окремих ділянках і не враховувалась робота системи в цілому, застосування чинного і подібних до нього програмних комплексів може стати обов'язковою умовою при проектуванні теплових мереж з вищим рівнем надійності.

**Ключові слова:** системи теплопостачання, трубопроводи, проектування, надійність, методика, програмний комплекс.

**Герасимчук А.В., Гонзульт В.П., Ковалець О.І., Наумова М.А.** Анализ надежности при обосновании работы систем теплоснабжения

В работе рассмотрен вопрос возможности повышения надежности работы системы теплоснабжения за тремя основными методами: повышением надежности отдельных элементов системы; применением технически обоснованного режима работы системы в целом или ее отдельных участков; резервированием элементов системы. Не принимая во внимание актуальность и важность указанной проблемы на настоящее время не существует единственной методики определения надежности тепловых сетей, а подходы к классификации показателей надежности отличаются один от другого. В то же время, надежность будь какой сети теплоснабжения в значительной степени зависит от качества выполнения работ еще на стадии проектирования. И в этом плане, важную роль может сыграть применение современных программных комплексов, которые позволяют моделировать работу системы с учетом многих заданных факторов, которые влияют на ее безотказную работу. Одним из таких программных комплексов есть программа "СТАРТ", которая нашла свое приложение в ДП "Кривбаспроект". Принимая во внимание то, что при ручных расчетах, пара-

метры системы определялись на отдельных участках и не учитывалась работа системы в целом, применения действующего и подобных ему программных комплексов может стать обязательным условием при проектировании тепловых сетей с высшим уровнем надежности.

**Ключевые слова:** системы, трубопроводы, проектирования, надежность, методика, программный комплекс.

**Gerasymchuk A.V., Gonzul V.P., Kovalets A.P., Naumova M.A.** Security analysis at the ground of work of the systems of heat of supply

The question of possibility of increase of reliability of work of the system of heat of supply of is in - process considered after three basic methods: by the increase of reliability of separate elements of the system; by application of the technically reasonable mode of operations of the system on the whole or her separate areas; backuping of elements of the system. Not having regard to actuality and importance of the indicated problem there are not only methods of determination of reliability of thermal networks on a present tense, and going near classification of reliability indexes differ one from other. At the same time, reliability be what network of теплоснабжения of largely depends on quality of implementation of works yet on the stage of planning. And in this plan, an important role application of modern can play programmatic complex, which allow to design work of ситеми taking into account many set factors which influence on her faultless work. One of such programmatic complexes is the program "START", which found the application in ДП of of "Kryvbasproekt". Having regard to that at hand calculations, the parameters of the system were determined on separate areas and work of the system was not taken into account on the whole, application of operating and similar to him programmatic complexes can become an obligatory condition at planning of thermal networks with the higher level of reliability.

**Keywords:** systems of, pipelines, planning, reliability, methods, programmatic complex.

УДК 338.45

**Голишев О.М., Голишев А.О., Михалків Д.В.** Перспективи підвищення енергоефективності систем теплозабезпечення підприємств гірничо-металургійного комплексу в умовах дефіциту енергоресурсів

Розглянуто напрямки підвищення енергоефективності систем опалення, тепlopостачання, вентиляції в умовах виробничих процесів підприємств гірничо-металургійного комплексу – металургійних і машинобудівних підприємств, фабрик гірничо-збагачувальних комбінатів, сформульовано основні перспективні питання зменшення енерговитрат та розглянуто заходи з використання вторинних енергоресурсів що є побічним продуктом технологічних процесів на промислових підприємствах. Наведено практичні приклади ефективності використання вторинних енергоресурсів для тепlopостачання систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання основних виробничих та допоміжних будівель промислових підприємств, зокрема результати та досвід застосування пластинчастих рекуператорів у складі вентиляційних систем будівлі адміністративно-побутового комплексу гірничо-збагачувального комбінату з наведенням енергетичних показників систем до і після реконструкції, наведено теоретичні розрахунки перспектив зменшення енерговитрат за рахунок використання принципу рекуперації, в тому числі при використанні теплової енергії що є побічним продуктом при роботі компресорних установок. Розроблено рекомендовану послідовність заходів при обґрунтуванні та визначенні вибору напрямку дій щодо підвищення енергоефективності систем теплоспоживання і мікроклімату при забезпечення нормованих параметрів робочої та обслуговуваної зони і для забезпечення технологічних процесів.

**Ключові слова:** енергоефективність, вторинні енергоресурси, теплоутилізація, рекуперація

**Голишев А.М., Голишев А.А., Михалкив Д.В.** Перспективы повышения энергоэффективности систем теплоснабжения предприятий горно-металлургического комплекса в условиях дефицита энергоресурсов

Рассмотрены направления повышения энергоэффективности систем отопления, теплоснабжения, вентиляции в условиях производственных процессов предприятий горно-металлургического комплекса - металлургических и машиностроительных предприятий, фабрик горнообогатительных комбинатов, сформулированы основные перспективные вопросы уменьшения энергозатрат и рассмотрены меры по использованию вторичных энергоресурсов что есть побочным продуктом технологических процессов на промышленных предприятиях. Приведены практические примеры эффективности использования вторичных энергоресурсов для теплоснабжения систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения основных производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий, в том числе результаты и опыт применения пластинчатых рекуператоров в составе вентиляционных систем здания административно-бытового комплекса горно-обогатительного комбината с указанием энергетических показателей систем к и после реконструкции, приведены теоретические расчеты перспектив уменьшения энергозатрат за счет использования принципа рекуперации, в том числе при использовании тепловой энергии что является побочным продуктом при работе компрессорных установок. Разработана рекомендованная последовательность мероприятий при обосновании и определении выбора направления действий по повышению энергоэффективности систем теплоснабжения и микроклимата при обеспечения нормируемых параметров рабочей и обслуживаемой зоны и для обеспечения технологических процессов.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, вторичные энергоресурсы, теплоутилизация, рекуперация

**Golyshev A, Golyshev A, Mikhalkiv D.** Prospects for raising the energyefficiency of heating systems in enterprises of mining and metallurgical complex in conditions of energy deficit.

Directions energy efficiency of heating systems, heating, ventilation under the production processes of mining and metallurgical complex - steel mills, factories, mining and processing enterprises are considered, identified the main prospects for reducing energy consumption and consider measures for the use of waste energy that is a by-product of technological processes at the enterprises. Practical examples of the effective use of waste energy for heating of heating, ventilation and hot water supply of basic production and auxiliary buildings of industrial enterprises, including the results of and experience in the application of plate heat exchangers as a part of the ventilation systems of the building of an office building of mining and processing plant with an indication of the energy performance systems to and after the reconstruction, shows the theoretical calculations prospects reduce energy consumption through the use of the principle of recovery, including the use of thermal energy that is a by-product of the work of compressor plants. A recommended sequence of events in justifying and

determining the choice of action to improve the systems energoeffektivnost heat and microclimate at ensuring standardized parameters of working and service area and to provide technological processes.

**Keywords:** energy efficiency, waste energy, heat recovery

УДК 621.874

**Сахно С.І., Янова Л.О., Пищикова О.В.** Особенности безаварийной эксплуатации металлоконструкций современных мостовых кранів

Розглянуто вплив механічних характеристик сучасних високоміцних сталей і методів розрахунку із застосуванням САПР на надійність металевих конструкцій мостових кранів. Однією з основних причин аварій кранових конструкцій є крихке руйнування. Повторно-змінні навантаження створюють можливість появи прихованих тріщин втомного характеру, які потім призводять до крихкого руйнування. Імовірність крихкого руйнування в значній мірі залежить від матеріалу, що застосовується при створенні кранової конструкції і методів розрахунку, що застосовуються при проектуванні даних конструкцій. У сучасній практиці для виготовлення кранів прийнято застосовувати високоміцні сталі. Сучасні технології дозволяють отримати сталі з межею плинності до 1100 МПа. Застосування сучасних високоміцних сталей дозволяє досягти суттєвого економічного та екологічного ефекту. Але при всіх позитивних якостях високоміцні сталі більш схильні до утворення тріщин при роботі в умовах повторно-змінних навантажень. Ще однією особливістю сучасних кранів є те, що для їх розрахунку використовуються системи автоматизованого проектування. Застосування САПР при проектуванні конструкцій дозволяє використовувати сталь на межі її міцності. У поєднанні із застосуванням високоміцних сталей, це дозволяє значно знизити металоємність конструкції, але, одночасно, істотно підвищує ризик утворення тріщин в проблемних зонах крана. Для мінімізації впливу розглянутих факторів на безпечну експлуатацію металевих конструкцій мостових кранів в роботі запропоновано ряд рекомендацій.

**Ключові слова:** мостовий кран, утворення тріщин, високоміцна сталь, САПР, надійність конструкції крану.

**Сахно С.И., Янова Л.А., Пищикова Е.В.** Особенности безаварийной эксплуатации металлоконструкций современных мостового крана

Рассмотрено влияние механических характеристик современных высокопрочных сталей и методов расчета с применением САПР на надежность металлических конструкций мостовых кранов. Одной из основных причин аварий крановых конструкций является хрупкое разрушение. Повторно-переменные нагрузки создают возможность появления скрытых трещин усталостного характера, затем приводят к хрупкому разрушению. Вероятность хрупкого разрушения в значительной степени зависит от материала, применяемого при создании крановой конструкции и методов расчета, применяемых при проектировании данных конструкций. В современной практике для изготовления кранов принято применять высокопрочные стали. Современные технологии позволяют получить стали с пределом текучести до 1100МПа. Применение современных высокопрочных сталей позволяет достичь существенного экономического и экологического эффекта. Но при всех положительных качествах высокопрочные стали более склонны к образованию трещин при работе в условиях повторно-переменных нагрузок. Еще одной особенностью современных кранов является то, что для их расчета используются системы автоматизированного проектирования. Применение САПР при проектировании конструкций позволяет использовать сталь на грани ее прочности. В сочетании с применением высокопрочных сталей, это позволяет значительно снизить металлоемкость конструкции, но, одновременно, существенно повышает риск образования трещин в проблемных зонах крана. В условиях, когда материал работает на пределе механических возможностей, на надежность конструкции может повлиять даже незначительное уменьшение площади сечения при одноосном растяжении материала. Для минимизации влияния рассмотренных факторов на безопасную эксплуатацию металлических конструкций мостовых кранов в работе предложен ряд рекомендаций.

**Ключевые слова:** мостовой кран, образование трещин, высокопрочная сталь, САПР, надежность конструкции крана.

**Sakhno S., Yanova L., Pischikova O.** Features of trouble-free exploitation of metal construction of modern overhead cranes  
The article considers the influence of the mechanical characteristics of advanced high-strength steels and design procedures with the use of CAD on reliability of the metal structures of overhead cranes. One of the main causes of accidents crane structures are brittle fracture. Re-create the variable load possibility of fatigue cracks hidden nature, which then lead to brittle fracture. The probability of brittle fracture is largely dependent on the material used in the construction crane creation and calculation methods used in the design of data structures. In modern practice, for manufacturing of cranes decided to use high-strength steel. Modern technologies allow to obtain steel with yield strength up to 1100MPa. Modern high-strength steels can achieve significant economic and environmental impact. Bat with all the positive qualities of high-strength steels, they are more prone to cracking when operating in conditions of re-variable loads. Another feature of modern cranes is that their calculation for using computer-aided design. Using of CAD allows use of steel in the limit of her strength. In combination with using of high strength steels, this allows to significantly reducing size of the metal structure, but simultaneously increases the risk of crack formation in the problem areas of the crane. In conditions when the material is on the verge of mechanical features, on reliability of construction can affect even a slight reduction in the cross-sectional area under uniaxial tensile material. This paper proposes a series of recommendations to reduce the impact of negative factors on the safe operation of metal construction of modern overhead crane.

**Keywords:** overhead crane, cracking, high strength steel, CAD, construction crane reliability.

УДК 622.14

**Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницына Т.А.** Геометризация качественных показателей месторождений и распределение пространственных переменных

Охарактеризованы виды распределений пространственных переменных, участвующих в процессе прогнозирования качественных показателей железорудных месторождений на основе теории пространственных переменных с использованием вариограммы. Рассматриваются методы оценки вариограмм применительно к геологическим характери-



стикам месторождения. Отмечается, что построение вариограммы может способствовать уточнению существующих представлений о месторождении, особенно на ранних стадиях геологических исследований. Рассматриваются виды вариограмм в зависимости от характера минерализации месторождения. Описываются вид вариограммы в зависимости от характера зоны влияния пробы в заданном направлении. Устанавливаются типы анизотропии в зависимости от характера вариограмм, построенных в различных направлениях. Отмечается, что дисперсии оценивания могут быть найдены на основе вариограмм. Описываются гипотезы случайных функций, используемых при описании массива на основе теории пространственных переменных. Рассматривается гипотеза универсального крайгинга, характеризующая распределение пространственных переменных месторождения, описываемого случайным многомерным геохимическим полем.

**Ключевые слова:** пространственные переменные, минерализация месторождение, дисперсия.

**Федоренко П. И., Переметчик А.В., Подойницyna Т. А.** Геометризація якісних показників родовищ і розподіл просторових змінних

Охарактеризовані види розподілів просторових змінних, що беруть участь в процесі прогнозування якісних показників залізородних родовищ на основі теорії просторових змінних з використанням вариограмми. Розглядаються методи оцінки вариограмм стосовно геологічних характеристик родовища. Відзначається, що побудова вариограмми може сприяти уточненню існуючих уявлень про родовище, особливо на ранніх стадіях геологічних досліджень. Розглядаються види вариограмм залежно від характеру мінералізації родовища. Описуються види вариограмми залежно від характеру зони впливу проби в заданому напрямі. Устанавливаються типи анізотропії залежно від характеру вариограмм, побудованих в різних напрямках. Відзначається, що дисперсії оцінювання можуть бути знайдені на основі вариограмм. Описуються гіпотези випадкових функцій, використовуваних при описі масиву на основі теорії просторових змінних. Розглядається гіпотеза універсального крайгинга, характеризуюча розподіл просторових змінних родовища, що описується випадковим багатовимірним геохімічним полем.

**Ключові слова:** просторові змінні, мінералізація родовище, дисперсія.

**Fedorenko P.I., Peremetchik A.V., Podoynitsyna T.A.** Geometrizing of high-quality indexes of deposits and distribution of spatial variables

The types of distributions of spatial variables, participating in the process of prognostication of high - quality indexes of iron - ore deposits on the basis of theory of spatial variables with the use of variogram are described. The methods of estimation of variogram are examined as it applies to geological descriptions of deposit. It is marked that the construction of variogram can assist clarification of existent pictures of deposit, especially on the early stages of geological researches. The of types of variogram are examined depending on character of mineralizatsia of of deposit. Описуються type of вариограмми depending on character of the affected of test zone in the set direction. To set types of anisotropy depending on character of variogram, built in different directions. It is marked that evaluation dispersions can be found on the basis of вариограмм. The hypotheses of casual functions, used for array declaration on the basis of theory of spatial variables are described. The hypothesis of universal krayging is examined, характеризуюча distribution of spatial variables of deposit, described by the casual multidimensional geochemical field.

**Keywords:** spatial variables, mineralizatsia is a deposit, dispersion

УДК 622.012: 658.5: 622.68

**Азарян В.А.** Система контроля и управления качеством в рудопотоках железородных карьеров

Рудопоток карьера, стабильность качественных характеристик, система контроля качества, система управления качеством, диапазон колебаний содержания полезного компонента.

Качество конечной продукции ГОКа напрямую зависит от характеристик исходной руды, поступающей на обогащение из карьера, т.е. от рудопотока карьера. Управление качеством в рудопотоках карьеров должно обеспечиваться системой контроля и управления качеством, которая обеспечивает выполнение требований к однородности и допустимому диапазону колебаний содержания полезного компонента железородного сырья

Средства и системы по контролю качества, разработанные коллективом проблемно-отраслевой лаборатории ГВУЗ «Криворожский национальный университет», охватывают основные этапы производства открытых горных работ и могут быть объединены в систему контроля качества. Достоверная и своевременная информация о содержании полезного компонента позволяет принимать оперативные технологические решения по управлению качеством рудопотока. Управление качеством в рудопотоках карьера обеспечивается путем синергии двух систем: системы контроля и системы управления качеством минерального сырья. Система контроля качества обеспечивает оперативную информацию о состоянии массива во взрывном блоке, во взорванной горной массе и в рудном потоке на конвейере. Система управления качеством позволяет сформировать рудопоток с заданными значениями содержания полезного компонента и построена на принципе применения усреднения в качестве способа управления качеством минерального сырья на основании достоверной и своевременной информации. Системы контроля и управления качеством в рудопотоках, созданная на основе синергии автоматизированной системы диспетчерского управления с автоматизированным рабочим местом (АРМ) «Качество» карьера, позволяет отказаться от операций по прогнозированию и имитационному моделированию.

**Ключевые слова:** рудопоток, система контроля качества.

**Азарян В. А.** Система контролю і управління якістю в рудопотоках залізородних кар'єрів

Рудопоток кар'єру, стабільність якісних характеристик, система контролю якості, система управління якістю, діапазон коливань змісту корисного компонента.

Якість кінцевої продукції Гока безпосередньо залежить від характеристик початкової руди, що поступає на збагачення з кар'єру, тобто від рудопотока кар'єру. Управління якістю в рудопотоках кар'єрів повинно забезпечуватися системою контролю і управління якістю, яка забезпечує виконання вимог до однорідності і допустимого діапазону коливань змісту корисного компонента залізородної сировини

Засоби і системи по контролю якості, розроблені колективом проблемно-галузевої лабораторії ГВУЗ "Криворізький національний університет", охоплюють основні етапи виробництва відкритих гірських робіт і можуть бути об'єднані в систему контролю якості. Достовірні і своєчасна інформація про зміст корисного компонента дозволяє приймати оперативні технологічні рішення по управлінню якістю рудопотока. Управління якістю в рудопотоках кар'єра забезпечується шляхом синергії двох систем : системи контролю і системи управління якістю мінеральної сировини. Система контролю якості забезпечує оперативну інформацію про стан масиву у вибуховому блоці, в підірваній гірській масі і в рудному потоці на конвеєрі. Система управління якістю дозволяє сформувати рудопоток із заданими значеннями змісту корисного компонента і побудована на принципі застосування усереднювання як спосіб управління якістю мінеральної сировини на підставі достовірної і своєчасної інформації. Системи контролю і управління якістю в рудопотоках, створена на основі синергії автоматизованої системи диспетчерського управління з автоматизованим робочим місцем (АРМ) "Якість" кар'єру, дозволяє відмовитися від операцій по прогнозуванню і імітаційному моделюванню.

**Ключові слова:** рудопоток, система контролю якості.

**Azarjan V.A.** Sistem of control and quality management in ore of streams iron-ore open pit

Ore of streams iron-ore open pit, stability of high-quality descriptions, checking of quality system, control system by quality, range of vibrations of maintenance of useful component.

Quality of eventual products Гока straight depends on descriptions of initial ore, acting on enriching from a quarry, i.e. from a рудопотока quarry. Quality management in рудопотоках quarries must be provided by the checking and quality management system, which provides implementation of requirements to homogeneity and possible range of vibrations of maintenance of useful component of iron-ore raw material

Facilities and systems on control internalss, worked out by the collective of problem-branch laboratory of ГВУЗ the "Kryvoy Rognational university", embrace the basic stages of production of open mountain works and can be incorporated in the checking of quality system. Reliable and timely information about maintenance of useful component allows to accept operative technological decisions on a quality of рудопотока management. Quality management in a рудопотоках career is provided by the synergy of two systems : checking and control system by quality of mineral raw material systems. The checking of quality system provides operative state information array in an explosive block, in gun-puffed mountain mass and in an ore stream on a conveyer. Control system by quality allows to form рудопоток with the set values of maintenance of useful component and built on principle of application of усереднення as a method of quality of mineral raw material management on the basis of reliable and timely information. The checking and quality management systems are in рудопотоках, created on the basis of synergy of CAS of controller's management with the automated working mestome (ARMAGHS) "Quality" of quarry, allows to give up operations on prognostication and imitation design.

УДК 622.647.2

**Єфіменко Л.І., Тиханський М.П., Доценко І.О.** Аналіз навантажень, діючих на опорні конструкції конвеєра та методів їх проектування

В роботі розглянуто існуючі методи проектування опорних конструкцій конвеєра. Загальним недоліком розглянутих методів проектуванні є те, що при визначенні навантажень на став беруться статичні складові, не враховується динаміка перехідних процесів і динамічні навантаження від дії крупних кусків вантажу, не використовуються можливості зменшення навантажень на конструкції шляхом управління режимами транспортування. Розробка методів зниження динамічних навантажень на став дозволить знизити металоємність конвеєра.

Використання регульованого приводу із змінною швидкістю транспортування викликає необхідність додаткових досліджень, як в частині насипного вантажу, так і при проходженні окремих кусків. Для дослідження динамічних процесів, що відбуваються в конструкціях конвеєра, використовують динамічні моделі. При розробці моделей динамічного навантаження ставу конвеєра проводилися дослідження залежності навантаження від типу роликкоопор, швидкості транспортування і маси крупних кусків, давалися рекомендації по вибору типу роликкоопор і максимальної швидкості транспортування залежно від маси крупного куска.

У результаті огляду і аналізу теоретичних і експериментальних робіт, встановлено, що: навантаження на опорні конструкції стрічкового конвеєра залежать від конструктивних і технологічних чинників, режиму роботи, гранскладу вантажу, що транспортується, і ін;

забезпечення плавного пуску, регулювання швидкості стрічки знижує навантаження на конструкції і впливає на конструктивні параметри конвеєра (ширину і міцність стрічки, крок розставляння роликкоопор, металоємність ставу), підвищує ефективність використання.

**Єфименко Л. И., Тиханский М.П., Доценко И.О.** Анализ нагрузок, действующих на опорные конструкции конвейера и методов их проектирования

В работе рассмотрены существующие методы проектирования опорных конструкций конвейера. Общим недостатком рассмотренных методов проектирования есть то, что при определении нагрузок на стал берутся статические составляющие, не учитывается динамика переходных процессов и динамические нагрузки от действия крупных кусков груза, не используются возможности уменьшения нагрузок на конструкции путем управления режимами транспортировки. Разработка методов снижения динамических нагрузок на стал позволит снизить металлоемкость конвейера. Использование регулируемого повода с переменной скоростью транспортировки вызывает необходимость дополнительных исследований, как в части насыпного груза, так и при прохождении отдельных кусков. Для исследования динамических процессов, которые происходят в конструкциях конвейера, используют динамические модели. При разработке моделей динамической нагрузки пруда конвейера проводились исследования зависимости нагрузки от типа роликкоопор, скорости транспортировки и массы крупных кусков, давались рекомендации по выбору типа роликкоопор и максимальной скорости транспортировки в зависимости от массы крупного куска.

В результате обзора и анализа теоретических и экспериментальных работ, установлено, что: нагрузки на опорные конструкции ленточного конвейера зависят от конструктивных и технологических факторов, режима работы, гран-

складу груза, что транспортируется, и другое; обеспечение плавного пуска, регуляции скорости ленты снижает нагрузку на конструкции и влияет на конструктивные параметры конвейера (ширину и прочность ленты, шаг расстояния роликосопор, металлоемкость пруда), повышает эффективность использования.

**Yefimenko L.I., Tykhanskyi M.P., Docenko I.O.** The analysis of the load, acting on the conveyor supporting structures and their projection methods

This work highlights the existing projection methods for the conveyor supporting structures. The considered methods have several general disadvantages. For example, static components are taken to determine the flight load, the dynamic of the transient processes and the dynamic load due to the action of large pieces of cargo are not taken into account, the opportunity of load reduction by controlling the modes of transportation is not used. The usage of controlled drive with variable transportation speed demands some additional researches of a bulk cargo while the passage of separate pieces.

The dynamic models are used for the analysis of the dynamic processes, that take place into the conveyor structure. While developing the models of dynamic load on conveyor flight the researches of the relationships between the load and the type of idlers and the maximum speed and the mass of the largest pieces were made and the advices on choosing the idlers type and maximum speeds depending on the mass transport of a large piece were given.

As a result of the review and analysis of theoretical and experimental studies, it was determined that: the loads on the conveyor supporting structures depend on structural and technological factors, operating mode, the composition of cargo transported etc.; the providing of the smooth start-up and tape speed control reduces the load on the structure and impacts on the structural parameters of the conveyor (belt width and strength, idlers step arrangement, specific quantity of metal of the flight), increases efficiency.

УДК 624.012.45

**Валовой О.І., Попруга Д.В.** Дослідження способів улаштування контактної шва при підсиленні залізобетонних згинальних елементів у стиснутій зоні

Проаналізовано і співставлено вплив міцності контактних швів на синтетичному клеї, шпонках і випусках арматури, які улаштовують при підсиленні залізобетонних балок у стиснутій зоні шаром залізобетону, на міцність, тріщиностійкість і деформативність підсиленних зразків.

Несуча здатність підсиленних балок у порівнянні з непідсиленними збільшилася на 28-36 %. Найбільше підвищення несучої здатності отримали балки підсилені за рахунок клею; найменша несуча здатність виявилася у балок підсиленних за допомогою шпонок. За результатами аналізу ширини розкриття тріщин підсиленних балок встановлено, що ширина розкриття тріщин зразків серії на клею зменшується на 34 % порівняно з непідсиленою серією; для підсиленних зразків серій на шпонках та випусках арматури ширина розкриття тріщин зменшується на 47 %. Прогини зразків серії на клею дорівнюють значенням прогину непідсиленних зразків при рівні експлуатаційних навантажень. Прогини зразків підсиленних серій на випусках арматури та шпонках, відповідно на 41 та 43 %, менші за значення прогинів контрольних зразків. Найбільш ефективним способом улаштування контактної шва при підсиленні залізобетонних згинальних елементів у стиснутій зоні шляхом нарощування, з точки зору підвищення несучої здатності, є застосування в якості з'єднувального шару - клею. З точки зору тріщиностійкості та деформативності, найбільш ефективними способами улаштування контактної шва є шпонокове з'єднання та з'єднання на випусках арматури. Спосіб улаштування контактної шва за допомогою клею Cerginol ZH показав найменшу вартість і трудомісткість при улаштуванні.

**Валовой О.И., Попруга Д.В.** Изучение способов устройства контактного шва при усилении железобетонных изгибаемых элементов в сжатой зоне

Проанализировано и сопоставлено влияние прочности контактных швов на синтетическом клее, шпонках и выпусках арматуры, которые устраивают при усилении железобетонных балок в сжатой зоне слоем железобетона, на прочность, трещиностойкость и деформативность усиленных образцов.

Несущая способность усиленных балок в сравнении с неусиленными увеличилась на 28-36 %. Наибольшее увеличение несущей способности получили балки усиленные за счет клея; наименьшая несущая способность оказалась у балок усиленных при помощи шпонок. По результатам анализа ширины раскрытия трещин усиленных балок установлено, что ширина раскрытия трещин образцов серии на клею уменьшается на 34 % в сравнении с неусиленной серией; для усиленных образцов серий на шпонках и выпусках арматуры ширина раскрытия трещин уменьшается на 47%. Прогобы образцов серий на клею равны значениям прогибов неусиленных образцов при уровне эксплуатационных нагрузок. Прогобы образцов усиленных серий на выпусках арматуры и шпонках, соответственно на 41% и 43%, меньше значений прогибов контрольных образцов.

Наиболее эффективным способом устройства контактного шва при усилении железобетонных изгибаемых элементов в сжатой зоне путем наращивания, с точки зрения повышения несущей способности, есть использование в качестве соединительного слоя – клея. С точки зрения трещиностойкости и деформативности, наиболее эффективными способами устройства контактного шва есть шпоночное соединение и соединение на выпусках арматуры.

Способ устройства контактного шва при помощи клея Cerginol ZH показал наименьшую стоимость и трудоёмкость при устройстве.

**Valovoi O., Poprug D.** Research of the ways to arrange a contact seam when ferroconcrete bending elements strengthened in the compression zone

The influence on strength of the contact seams on the synthetic glue, connectors and free length of the reinforcement bars is analyzed and compared. The seams are arranged while ferroconcrete beams' strengthening in the compression zone by a layer of reinforced concrete for strength, crack resistance and deformability of the strengthened samples.

The bearing ability of the strengthened beams increases by 28-30% in comparison with nonstrengthened ones. The most increase of the bearing ability was obtained by beams, strengthened with glue; minimal bearing ability was shown up by beams, strengthened by connectors. Subsequent to the results of the analysis of the opening width of the cracks it was determined that the width of cracks' opening decreases by 34% in the samples from glue set compared with nonstrengthened set; for the strengthened samples with connectors and free length of the reinforcement bars the width of cracks' opening de-

creases for 47%. The deflections of the glued samples are equal to the values of the nonstrengthened deflection samples by the level of exploitation loads. The deflections of the samples on the connectors and free length of the reinforcement bars are accordingly 41 and 43% less than the deflection values of the check samples.

The most effective way to increase the bearing ability of the contact seam is using glue as a connecting layer when there is strengthening of the ferroconcrete bending elements in the compression zone. Crack resistantly and deformably the most effective ways to arrange the contact seams are connector joint and connection of the free length of the reinforcement bars.

The ways of the contact seam arrangement with the help of ZH Cerinol glue showed the lowest cost and time-taking while arranging.

УДК 658.155: 331.08-057.21

**Ковальчук В.А., Лысевич С.Г.** Пути усовершенствования хозяйственного механизма предприятия с учетом возросшей роли его персонала

В статье рассматриваются пути реформирования хозяйственного механизма предприятия с точки зрения возросшей роли человека в обществе и на предприятии. На основе статистических данных и работ учёных установлено, что эффективность работы предприятий зависит не только от формы собственности, но и от действующего хозяйственного механизма. Анализ литературных источников свидетельствует, что за рубежом стали широко применять участие персонала в управлении предприятиями. Результаты исследований показали, что такие предприятия более конкурентоспособны, ибо это способствует формированию чувства хозяина, добросовестного отношения к труду.

Главным и наиболее ценным ресурсом предприятия является его персонал. Роль персонала возрастает в современных условиях хозяйствования, ибо возрастает интеллектуальность труда, его ответственность, повышается образовательный и культурный уровень персонала, труд всё более становится творческим. Это вызывает необходимость изменять подход к управлению персоналом, что связано с усовершенствованием хозяйственного механизма предприятия по всем его составляющим: организационно-экономическом, административном, нормативно-правовом и социально-психологическом механизмах. Важным направлением улучшения хозяйственного механизма является повышение уровня работы с персоналом, занимающимся умственным видом деятельности, так как именно от него, во многом, зависит результат работы всего предприятия. В статье предложено усовершенствовать хозяйственный механизм предприятия с учётом зарубежного опыта работы с персоналом и перспективных тенденций развития организационной структуры предприятия.

**Ключевые слова:** хозяйственный механизм предприятия; собственность; роль персонала; факторы, влияющие на роль персонала; участие в управлении.

**Ковальчук В.А., Лысевич С.Г.** Шляхи удосконалення господарського механізму підприємства з урахуванням збільшеної ролі його персоналу

У статті розглядаються шляхи реформування господарського механізму підприємства з точки зору збільшеної ролі людини в суспільстві і на підприємстві. На основі статистичних даних і робіт учених встановлено, що ефективність роботи підприємств залежить не лише від форми власності, але і від діючого господарського механізму. Аналіз літературних джерел свідчить, що за кордоном стали широко застосовувати участь персоналу в управлінні підприємствами. Результати досліджень показали, що такі підприємства більш конкурентоздатні, бо це сприяє формуванню почуття хазяїна, добросовісного відношення до праці.

Головним і найбільш цінним ресурсом підприємства є його персонал. Роль персоналу зростає в сучасних умовах господарювання, бо зростає інтелектуальність праці, його відповідальність, підвищується освітній і культурний рівень персоналу, праця усе більш стає творчою. Це викликає необхідність змінювати підхід до управління персоналом, що пов'язано з удосконаленням господарського механізму підприємства після усіх його складових: організаційно-економічному, адміністративному, нормативно-правовому і соціально-психологічному механізми. Важливим напрямом поліпшення господарського механізму є підвищення рівня роботи з персоналом, що займається розумовим видом діяльності, оскільки саме від нього, багато в чому, залежить результат роботи усього підприємства. У статті запропоновано удосконалити господарський механізм підприємства з урахуванням зарубіжного досвіду роботи з персоналом і перспективних тенденцій розвитку організаційної структури підприємства.

**Ключові слова:** господарський механізм підприємства; власність; роль персоналу; чинники, що впливають на роль персоналу; участь в управлінні.

**Kovalchuk V., Lysevich S.** Ways of improvement of economic mechanism of enterprise taking into account the increasing role of the staff

The ways to reform of the economic mechanism of the enterprise according to the increased role of man in society and the company are considered in the article. On the basis of statistic data and the work of scientists it is found that the efficiency of enterprises depends not only on the form of ownership, but also on the current economic mechanism. Sources analysis shows that it is widely used to involve the staff into the management of enterprises abroad. The results showed that such companies are more competitive, because it leads to feeling of ownership, conscientious attitude to work.

The main and most valuable resource of the company is its staff. The role of staff increases in the current economic conditions, for the increased labor intelligence, its responsibilities increased educational and cultural level of the staff, labor becomes more and more creative. This makes it necessary to change the approach to the staff management, due to the improvement of the economic mechanism of the enterprise for all its components: institutional, economic, administrative, legal and socio-psychological mechanisms. An important part of improvement of the economic mechanism is to increase the level of work with the staff involved into mental activity, because the result of the entire enterprise largely depends on its staff. In the article we suggest to improve the economic mechanism by taking into account foreign experience with the staff and future development trends of the company's organizational structure.

**Key words:** economic mechanism of the enterprise; ownership; the role of the staff; factors affecting the role of the staff; participation in the management.

МАЙЯ БУРДИАШВИЛИ, д-р историч. наук, проф.  
Телавский государственный университет им Я. Гогешавили  
Ассистент профессор

Человек, создавший эпоху.  
Исторический портрет Ильи Чавчавадзе

IAKOB GOGEBASHVILI State University of Telavi, Georgia  
1, Georgian University Str.  
Dr. (History), Assistant Professor  
E-mail: maiaburdiashvili@mail.ru

Осознание прошлого и исторических процессов имеет важное значение. Во-первых, именно благодаря этому на основании анализа прошлого человек осмысливает будущее, во-вторых, история учит и обогащает нас опытом, помогает преодолеть и исправить ошибки, допущенные в прошлом. Народ, думающий о прошлом, проникнут верой в будущее и заботится о создании лучшего будущего. Если мы вспомним слова Ильи Чавчавадзе, то сказанному выше, вполне соответствуют его слова: «Прошлое наши корни, без которых нет не только развития, но и существования. Страна, подобная нашей, живущая под влиянием постоянных опасностей и рисков, свою историю использует в виде оружия для своей защиты.» (Чумбурдзе, 2012, 4)

**Ключевые слова:** Илья Чавчавадзе, творчество, общественный деятель, отец народа, эпоха.

**A man who created an epoch; the historic portrait of Iliia Chavchavadze**

True patriots were born in the bosom of the nation and with their lives they tried to prove the love and devotion to their country. Iliia Chavchavadze was a man who sacrificed all his conscious life for the well-being of his country. He was a person who knew the pain of people, the nation, and the country. He was trying to express with his works what burdened people because of the socio-political reality of that time. He was not a creator of one epoch and a public figure of one historical period. Through his creative diversity, outlook, thinking and consciousness, he said more than what would have needed ten lives. He was not only the figure of XIX century. He was a person whose creation ranged beyond one specific historical section and is as relevant today as when he lived. He worthily deserved to be canonized by the Orthodox Church; while the Georgian nation called him the Spiritual Father, Iliia the Righteous.

**Keywords:** Iliia Chavchavadze, works, public figure, Father of the Nation, epoch

**Вступление.** Во второй половине XIX века в сознании грузинского общества произошел настоящий переворот. Именно с этого периода начинается активизация переоценки национальных, культурных, социальных и религиозных ценностей. Главный акцент был сделан на защиту и развитие этнокультурных ценностей и укрепление культурно-образовательного вектора.

В этом процессе принимали участие как отдельные деятели, так и целые общества». (Чумбурдзе, 2012, 96).

Когда один человек кроме грузинского сознания и духовной чистоты наделён и национальным самосознанием и культурными ценностями является большой редкостью. Естественно, подобные личности являются настоящими жемчужинами мировой истории и они всегда занимают достойное место не только в истории конкретной страны, но и в мировой истории.

**Содержание.** Среди грузинского княжества было множество благородных и достойных людей, деятельность которых оставила свой неповторимый след в определённой эпохе, а творчество стало для них венцом бессмертия. Именно подобной личностью стал грузинский поэт, писатель, публицист, общественный деятель, основатель грузинского банка и общества распространения грамотности, автор, основанной им же газеты и, признанный отцом народа Великий Илья Чавчавадзе. В одной статье невозможно описать и показать все его дела, его подвижничество безгранично. Его мышление вышло за рамки пространственного мышления XIX века и для современников оно также актуален, как и тогда. Его ценили как: «Первоочередного наследника Руставели и Сулха-Саба, Гурамишвили и Бараташвили, и чрезвычайно своеобразного ученика Лессинга и Гете, Дидро и Руссо, Белинского и Чернышевского.» (Очерки истории, 1970, 480).

Диапазона его творчества не имеет границ, его деятельность всегда показывала социальную реальность и была полна теми взглядами и мировоззренческим мышлением, у которых не было ограничений. Он «был не только великим мастером слова и поэтом, но и беллетристом, драматургом, переводчиком. Не только реформатором, законодателем литературного языка и грузинского критического реализма, основателем реалистической критики и боевой публици-

стики, но и великомасштабным исследователем с широким диапазоном, в интересы которого входило множество научных отраслей». (ГМЭ, 1987, 379).

Фамилия Чавчавадзе в исторических источниках упоминается при царе Кахетии Александре I-м. Чавчавадзе принадлежали к княжескому кругу Кахетии, великий грузинский историк Вахушти Батонишвили в своём сочинении «Описание царства грузинского» сообщает об известных фамилиях, которые поселились в Кахетии, в их числе имеется и род Чавчавадзе. (Коранашвили, 2010, 12) Основная ветвь рода переселилась из горной Кахетии в начале XVI века. Сами Чавчавадзе считали себя коренными жителями Грузии, а именно: «Большинство Чавчавадзе горными людьми и сегодня живут в Шидакартли» (Коранашвили, 2010, 12-13).

Кахетинские князья Чавчавадзе делились на две ветви: Цинандальских и Кварельских. Геройство и мужество характеризовало из потомков. В исторических источниках упомянуты Григорий и Давид Чавчавадзе, которые проявили себя как успешные военные и несравненные храбрые воины. Вот что написано о них: «О геройстве обоих Чавчавадзе восторженно докладывал наместнику царя на Кавказе графу Воронцову князь Бебутов, являющийся начальником Гражданского управления Закавказья». (Бакрадзе, 2011, 14)

Илья Григорьевич Чавчавадзе родился в Кахетии, селе Кварели в многодетной семье князя Григория Чавчавадзе в 1837 году. Начальное образование он получил в Кварели вместе с крестьянскими детьми, а учебу продолжил сперва в частном пансионе г. Тбилиси, а затем в гимназии. П. Ингорква пишет: «В гимназии вместе с Ильей обучающиеся дети, в дальнейшем стали сотрудниками на поприще его общественной деятельности или же его товарищами». (Шарадзе, 1987, 55) После окончания гимназии, т.е. в 1857-1861 годах молодой Илья Чавчавадзе учебу продолжает на юридическом факультете университета. «4 года студенчества оказались весьма важными в формировании Чавчавадзе как личности, гражданина, мыслителя и писателя» (ГСЭ, 1987, 378)

Возвратившийся в Грузию Илья, активно включился в дела, благотворные для своей родины. По его инициативе и непосредственной помощи были осуществлены такие важные мероприятия, которые в дальнейшем обусловили бы развитие страны. «Можно смело сказать, что во второй половине девятнадцатого века в жизни Грузии не было ни одной проблемы, которой не коснулся Илья или в своем творчестве или же в публицистических письмах» (Кикодзе, 1958, 131).

Во второй половине XIX века в Грузии начались социально-экономические и социально-политические перемены. Илья Чавчавадзе был активно включён во внутренние процессы страны, и, «разработанная им социально-политическая программа сохраняла свою силу и значение в течении многих десятилетий, она и в настоящее время нам во многом помогает». (История Грузии, 2012, 81). Молодые грузины шестидесятники (общее название получивших образование в России), или как их ещё называли «Тергдалеули» (испившие воды Терека), начавшие использовать полученные знания и образование во благо страны, попросили Илью встать во главе мероприятия, которое нам известно под названием отечественного банка. Ведь Илья мечтал о его возрождении и основании. Н. Николадзе пишет: «Нам, молодёжи, сколько трудов стоило добиться от Ильи Чавчавадзе отказа от государственной службы и стать во главе грузинского дела». (Журнал «Клде» (скала), 1913, 9).

Творческая деятельность Ильи не ограничивается только лишь тем, что он был великим писателем и литератором. Его огромным желанием было возрождение периодической прессы в Грузии, которая внесла бы в грузинское общество интеллектуальное мышление и образование, познакомило бы общество с молодыми творческими людьми и с их помощью осуществилась бы реализация талантливых и творческих людей во всей стране.

Именно в 1863 году был образован Ильёй журнал «Вестник Грузии» («Сакартвелосоамбе»), который несмотря на цензуру, стала настоящим флагманом национально-освободительного движения» (ГСЖ, 1987, 178). По инициативе Ильи также была основана периодическая газета, которая создала идеальные возможности для самосознания нации и духовного настроения. «В 1877 году была основана периодическое издательство «Иверия», которая в течении трёх десятилетий стала одной из основных центров национальной, духовной и интеллектуальной жизни Грузии». (ГСЭ, 1987, 378).

Об Илье Чавчавадзе в письмах и воспоминаниях его современников многое было написано, посвящено множество трудов и изучены не только его жизнь и творческая деятельность, но и

его следы как публициста и общественного деятеля, поэтому мы смело можем сделать вывод, что «своими научно-политическими письмами Илья доказал, что во многих отраслях науки, а в особенности в истории, политической экономике, правоведении, педагогике он не был дилетантом» (Кикодзе, 1958, 122).

Жизнь Ильи Чавчавадзе закончилась трагически 30 августа 1907 года, когда он был вероломно убит у Цицамури. До настоящего времени не прекращается интерес к этой творчески неиссякаемой личности. Ведутся активные расследования о его творчестве, жизни и общественной деятельности. Заинтересованному исследователю или любому желающему узнать побольше, даётся возможность получить множество справок, хранящихся в литературном музее Грузии, а также в «Институте рукописей им. К. Кекелидзе, в грузинском государственном музее, государственном музее Грузии им. С. Джанашия, государственном музее кино, театра и музыки Грузии, государственном кинофоноархиве Грузии, архиве литературы и искусства Грузии, домах-музеях Ильи Чавчавадзе, находящихся в Кварели, Сагурамо и Тбилиси, музеях разных городов Батуми, Кутаиси, Душети, а также в Москве, Ленинграде, кроме того и за границей (Грац, Будапешт, Лондон, Оксфорд) в хранилищах старины» (Шарадзе, 1987, 9). Современные исследователи и заинтересованные лица могут ознакомиться с материалами, касающимися его деятельности, более глубоко познакомиться с ним и его творчеством.

Об Илье Чавчавадзе свободно можем повторить слова Андре Моруа, сказанные им о Бальзаке: «Его изучают и в будущем изучат, как изучают вселенную, так как он и является вселенной». (Шарадзе, 1987, 7)

Илья прожил всю свою жизнь так, как живут безукоризненные, достойные люди, которыми должен гордиться весь народ. Они живут для народа, трудятся во благо своей родины и жертвуют собой ради неё. «Илья без всяких злоключений прошёл по тонкой тропе между роскошью и имущественными лишениями, которые в одинаковой мере являются роковыми для слабых людей, но он до последней минуты своей жизни сохранил как цельность характера, так и остроту ума». (Кикодзе, 1963, 123)

#### **Выводы.**

1. Большинство представителей аристократического слоя Грузии занималось важнейшим делом, которое должно было принести стране благоприятный результат.

2. Именно подобной достойной личностью и общественным деятелем был Илья Чавчавадзе общечеловеческим мышлением, а вклад его приобрёл неопределимое значение.

3. Его деятельность оставила нашему обществу глубокий след и сыграла огромную роль в формировании грузинского мышления.

4. Творчество Ильи реалистически изображала социально-экономическую проблематику. Он переживал всем сердцем.

5. Общественная деятельность Ильи помогла духовному и физическому спасению всего народа.

6. Илья заслуживал звания - Отец народа. Его мученический конец, приведённый в исполнении недостойными людьми, превратился в сияющий венец. Илья признан грузинским народом святым и нарекли его Великим Ильёй Праведным.

#### *Список литературы*

1. **Шарадзе Гурам, Илья Чавчавадзе.** Книга 1. - Изд. «Хеловнеба», Тбилиси, 1987.
2. **Кикодзе Геронтий,** Этюды и портреты, изд. «Советский писатель», Тбилиси, 1958.
3. **Кикодзе Геронтий,** Литературные письма и портреты, т. 1, «Советская Грузия», Тбилиси, 1963.
4. Очерки истории Грузии, т. 5. - Изд., «Советская Грузия», Тбилиси, 1970.
5. Грузинская Советская Энциклопедия, т. 11, Главная научная редакция, Тбилиси, 1987.
6. **Коранашвили Гурам.** Сложная и почётная миссия Зураба Чавчавадзе, издательский дом «Инновация», Тбилиси, 2010.
7. **Чумбуридзе Додо,** Исторические портреты, письма. Изд. «Универсал», Тбилиси, 2012.
8. История Грузии, т. 4, изд. Палитра 1, Тбилиси, 2012.
9. Журнал «Клде» (скала), №20, Тбилиси, 1913.
10. **Бакрадзе Акакий, Илья Чавчавадзе.** Изд. «Семейная библиотека», Тбилиси, 2011.
11. Жизнь Картли. - Изд. **Симона Каухчишвили,** т. 4, Тбилиси, 1973.
12. **Чавчавадзе Илья.** Летопись жизни Грузии и законы, письма о заграничье. - Гос. изд. - Тбилиси, 1952.
13. **Чиковани Юрий, Князь Чавчавадзе.** Тбилиси, 2002.
14. **Ингороква Павел (Павле), Чавчавадзе Илья.** Тбилиси, 1957.

UDC 551

**NANA M. BERDZENISHVILI**

IAKOB GOGEBASHVILI Telavi State University, Georgia

Kartuli University Street 1, Telavi, 2200

Dr. (Geography), Assoc. professor

E-mail: [nanaka.berdzenishvili@yahoo.com](mailto:nanaka.berdzenishvili@yahoo.com)**BESARION BERIDZISHVILI**

IAKOB GOGEBASHVILI Telavi State University, Georgia

Kartuli University Street 1, Telavi, 2200

Dr. (history), Doctoral candidate

E-mail: [besaberi@yahoo.com](mailto:besaberi@yahoo.com)

Georgia is a country with ancient history and original unique culture. The country history is a long list of rises and downfalls of empires, intrusions of external enemies, violence and wars. But at the same time, this country has a huge cultural heritage. Georgia is a unique country possessing enormous tourism potential. Extended along the Black Sea coast, it has about 300 mountain (Abastumani, Bakuriani, Bahmaro, Gudauri, etc.), seaside (Kobuleti, Ureki, Batumi, and etc.), balneo-therapeutic and mud (Borzhomi, Sairme, Likani, and etc.) health resorts, over 10 thousand monuments of archeology, history, architecture and art, and also numerous nature sanctuaries. And all these is concentrated within the small territory occupied by the hospitable and distinctive people. Since the Georgian government decided to move their parliament to Kutaisi, there has been a lot of work on restoring streets, buildings, parks and monuments and the city has become much safer. But a visit here is nonetheless near mandatory to see the magnificent Bagrati Cathedral, and Gelati Monastery, both of which are UNESCO World Heritage sites, and have commanding views from the mountain slopes over the city and the Rioni river.

Georgia occupies the central and eastern part of Caucasus (see detailed map of Georgia). Its neighbors are the Russian Federation in the north, Azerbaijan in the east, Armenia in the south and Turkey in the south-east. It is a mountainous country, the northern border of which passes along the Big Caucasian ridge, and southern border - across Small Caucasus. In the west it is washed by Black sea. Local weather and the landscape epitomize meeting of the East and the West.

Georgia is a country with ancient history and original unique culture. The country history is a long list of rises and downfalls of empires, intrusions of external enemies, violence and wars. But at the same time, this country has a huge cultural heritage.

Georgia is a unique country possessing enormous tourism potential. Extended along the Black Sea coast, it has about 300 mountain (Abastumani, Bakuriani, Bahmaro, Gudauri, etc.), seaside (Kobuleti, Ureki, Batumi, and etc.), balneotherapeutic and mud (Borzhomi, Sairme, Likani, and etc.) health resorts, over 10 thousand monuments of archeology, history, architecture and art, and also numerous nature sanctuaries. And all these is concentrated within the small territory occupied by the hospitable and distinctive people.

Temples and monasteries are the most typical and interesting sights of the country. Here, on this small area, a large number of these monuments of faith and history is concentrated.

The capital of Georgia - town Tbilisi is one of the most ancient cities of the world. It is 1500 years old. Until 1936 the city was called Tiflis in Russian transcription. It was called so due to warm sulfuric wells (translated from Georgian «tbili» means "warm").

The city is filled by unique national flavor. Almost all buildings in historical city centre and at the bottom of mountain Mtatsminda represent historical or cultural monuments. Georgian Orthodox church, the Armenian Apostolic church, the Synagogue and the Muslim mosque are located in the very centre of old Tbilisi.

By the quantity of cultural monuments and constructions, Tbilisi is among the richest cities of the world. Here is the list of some sights in Tbilisi:

"Sameba" Cathedral (21 century) that is the biggest Cathedral in the world

Metehi" Cathedral " (13 century) with the monument of the founder of Tbilisi - Vakhtang Gorgasalu

"Narikala" Fortress with a beautiful temple in its yard. Memorable photos could be taken from the top of towers.



The modern bridge, named "WORLD BRIDGE" by the country president, which is the second in the world by the complexity of its architecture.

"Sioni" Temple, located on the left coast of the bridge and well-known by its wonder-making icons. Sion Cathedral – is the current residence of the Catholicos of Georgia.

Mountain "Mtatsminda" with famous wonderful garden "Funiculer" (mountain lift), from which one can clearly view all Tbilisi.

The Pantheon where many famous writers, actors, scientists, and national heroes of Georgia are buried.

Well known sulfuric baths in the place called "Abanotubani"

Paliashvili Opera building (1851)

Kutaisi (pop. 197,000) is a city in the Rioni Region of Georgia. Kutaisi is the traditional rival of Tbilisi for capital status, and has since the days of the Golden Fleece been considered the capital of Western Georgia (then Ancient Colchis). It remains Georgia's second largest city, but to the irritation of the proud locals, does not come even close to Tbilisi's present day size and wealth. Since the Georgian government decided to move their parliament to Kutaisi, there has been a lot of work on restoring streets, buildings, parks and monuments and the city has become much safer. But a visit here is nonetheless near mandatory to see the magnificent Bagrati Cathedral, and Gelati Monastery, both of which are UNESCO World Heritage sites, and have commanding views from the mountain slopes over the city and the Rioni river. Otherwise, Kutaisi is a relatively pleasant city, although not as attractive for tourists as Tbilisi and cities on the nearby Black Sea coast.

Gelati Monastery, a masterpiece of the Georgian Golden Age, was built in 1106 by King David IV and was one of the main cultural and intellectual centers in Georgia throughout the Middle Ages. It had an Academy which employed some of the most celebrated Georgian scientists, theologians and philosophers, many of whom had previously been active at various orthodox monasteries abroad, one of which was the Mangan Academy in Constantinople.

Bagrati Cathedral of the Dormition is an early-11th century masterpiece of medieval Georgian architecture. In 1692, it was devastated in an explosion by the Ottoman troops but was gradually restored in the 1950s and later, the 2000s. The site was designated endangered by UNESCO, which was concerned that the continuing restoration was not carefully prepared. Despite this, proponents of restoration argued that the site was more likely to fall apart if it was let to soak in rainwater, as it had done for centuries.

The classification includes two of Georgia's most ancient religious structures: the Svetitskhoveli (Cathedral of the Living Pillar) and the Jvari Monastery (Monastery of the Cross), as well as the historical area of Mtskheta in which the two are situated. The monuments trace their origin to the dawn of Christianity in Georgia in the first half of the first millennium A.D. and were judged by UNESCO to be a testament of "the high artistic and cultural level attained by this ancient kingdom."

These upper lands of Georgia's alpine region of Svaneti were recognized by UNESCO as an "exceptional example of mountain scenery with medieval-type villages and tower-houses", which were often family-built and served to protect against invaders for centuries.

The construction of Bagrati Cathedral, named after Bagrat III, the first king of united Georgia, started at the end of 10th century and completed in early 11th century. Located in Kutaisi, it is cruciform in plan, richly ornamented capitals and fragments of piers and vaulting scattered throughout the interior.

Different approaches can be seen in the decorative treatment of the facades, capitals, and bases, resulting from the preferences of successive master-builders. The monastery precinct is enclosed by a stone wall which houses the tomb of its founder, King David IV 'the Builder' (1089-1125).

The exterior mass is relieved by the decorative arcading on all its facades, emphasizing the upward thrust of its forms, while the interior, surmounted by the large dome, combines space and solemnity.

The main church is in the centre of the enclosure, flanked by the Church of St George and Church of St Nicholas; and the Academy building behind it.

The Church of St George is a tall, domed structure with projecting apses, supported by massive stone columns and apse angles and well lit by windows with fragments of original wall paintings. The Church of St Nicholas is two-storeyed and the ground floor is open on all sides through arches.

The Academy building is a large structure lit by wide arched windows with richly decorated porch to the centre of the original entrances.

The Gelati Monastery, built in 1106, is a complex with wonderful mosaics, wall paintings, and its enamel and metal work.

A centre of science and education, it was one of the most important cultural centres in ancient Georgia.

Both belongs to the flowering 'golden age' of medieval Georgia, a period of political strength and economic growth between the reigns of King David and Queen Tamar (1184-1213).

Motsameta Monastery is smaller and quieter than the one in Gelati, although its cliff-edge setting is more spectacular by far. It is located 6km out of Kutaisi, off the Gelati road. Take the turning marked by a photo of the church and follow this track for a couple of kilometres. This little monastery has a spectacular setting on a cliff-top promontory above a bend of the Tskhaltsitela River. Situated dizzily high above the ravine of the Tskhaltsitela River, the monastery offers awe-inspiring views of the river and the surrounding countryside from any number of buildings and points on the grounds. Extremely isolated and seldom visited by tourists, this place will give you an unadulterated taste of the monastic life.

The Tskhaltsitela river's name, meaning 'Red Water', derives from an 8th-century Arab massacre. Among the victims were the brothers Davit and Konstantin Mkheidze, dukes of Argveti (read below). Their bodies were thrown in the river, but the story goes that lions brought them up to the church where their bones were subsequently kept. They are now saints, with their skulls in a casket behind the red velvet curtain, and your wish will be granted if you crawl three times under their tomb, set on two lions on the south side of the church, without touching it.

As you walk to the monastery, you'll see strips of colored cloth tied to the myrtle bushes and fig and pomegranate trees that flank the lane. These are votive offerings, placed there in hopes that a prayer might be granted.

The church itself is on a site on which there had been a church and village since the fourth century. The name Motsameta is derived from the Georgian word for martyrdom. Two brothers, David and Constantine Mkheidze, were lords of this region in the eighth century. Sometime between 720 and 730, succumbing to a superior Arab force, they were captured and tortured for refusing to convert to Islam. They were thrown into the Rioni River with stones tied around their necks and their bodies washed up on the riverbank below the monastery. They were buried as martyrs in the crypt of the church, which was also destroyed by the Arabs at the time of the brothers' death. In the 11th century, King Bagrat III built a monastery on the foundations of the destroyed eighth-century church in honor of the two brothers, now national heroes and saints in the Georgian Orthodox Church. Their tomb rests on two carved lions at the top of a side altar in the church. The lions are connected with the legend of David and Constantine Mkheidze, for it is believed that they appeared to bring the bodies of the brothers up from the river to the church. Believers also hold that if you walk three times through the small passage beneath the saints' tomb without touching the walls, your prayers will be answered.

In 1923, the Cheka (the Soviet secret police) came into the church, seized the bones of the two saints and put them in the museum in Kutaisi. After protests by a local teacher, the relics were returned, but the once-perfect skeletons were hopelessly jumbled. The Father Superior of the Monastery relates that the Cheka agents who took the bones all suffered terrible fates: one was killed by his son, one went insane, and the third died of tuberculosis. The church was once completely covered in frescoes, but a fire set in 1923 destroyed everything except some fragments in the cupola. The bell tower also dates from the 11th century. To the left of the gatehouse is a steep path down to the river, which makes this a very popular excursion in summer, when Kutaisi swelters.

### *Literature*

1. N. Berdzenishvili - Regional geography of Georgia "in 2016.
2. David Katamadze, Guliko Katamadze. - International tourism "in 2013.
3. Kvaratskhelia m., Cultural Tourism "in 2009.
4. Ukleba m. Tourist and recreational resources "in 2009.
5. Elizbarashvili, 2007, E.Elizbarashvili Climatic Resources of Georgia "Institute of Hydrometeorology, Tbilisi 2007.
6. Geography of Georgia, 2000. - Tbilisi State University Publishing.

**Збірник наукових праць**

*В і с н и к*

*Криворізького національного університету*

**Випуск 41**

Редактор, коректор  
Комп'ютерний набір, верстка

Наумова Н.В., Цветкова Т.Г.  
Самойлюк О.Г.

Здано в набір 25.03.16. Підписано до друку 26.04.16 за рекомендацією Вченої Ради  
ДВНЗ «Криворізький національний університет», протокол № 8.

Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 27 Тираж 100 прим.  
Замовл. № 4. 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:*  
*50027, Кривий Ріг, вул. XXII партз'їзду, 11*

*ДВНЗ «Криворізький національний університет»*  
*2016. Вип. 41, С. 3-224*