

Міністерство освіти і науки України
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

Вісник
Криворізького національного
університету

Збірник наукових праць

Випуск 40

Кривий Ріг 2015

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.; **Шишкін 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>Калініченко В.О., Швагер Н.Ю., Чухарев С.М., Калініченко О.В., Грищенко Т.С., Грищенко М.А.</i> Дослідження та удосконалення технології відпрацювання покладів із застосуванням самохідної доставочної техніки	3
<i>Куліковська О.Є.</i> Удосконалення методики виносу на місцевість пунктів геодинамічного полігону	8
<i>Афанасьєв В. Д., Гненна О.В.</i> Оцінка ризиків від комплексної дії шкідливих факторів	14
<i>Кіяновський М.В., Бондар О.В.</i> Вплив зміщення головної осі інерції агрегату на ресурс опор кочення стаціонарних гірничих машин	18
<i>Гапоненко І.А.</i> Зависимость грансостава взорванной горной массы от конструкции скважинного заряда ВВ	23
<i>Лапишин О.Є., Лапишин О.О., Лапишина Д.О.</i> Використання шахтних вод для нормалізації мікроклімату в гірничих виробках глибоких шахт	27
<i>Ошмянський І.Б., Евстратенко Л.И.</i> Определение режима движения воздуха в вентиляционных системах рудников с учетом режима фильтрации через зону обрушения	34
<i>Журавлев Ф.М., Лялюк В.П., Кассим Д.А., Ляхова И.А., Чупринов Е.В.</i> Технология получения офлюсованного окускованного материала с остаточным углеродом для доменной плавки	39
<i>Голик В.И., Комащенко В.И., Моркун В.С.</i> Разработка типовых проектов буровзрывных работ на карьерах открытой добычи с помощью компьютерных информационных систем	44
<i>Тронь В.В.</i> Система ресурсозберігаючого керування гірничо-збагачувальним комбінатом як організаційно-технічною системою	54
<i>Швагер Н.Ю., Комісаренко Т.А., Теус М.О.</i> Наноматеріали: новий виклик для охорони праці на виробництві	58
<i>Тиханський М.П., Цвиркун С.Л.</i> Определение оптимального количества кластеров при использовании метода Густафсона-Кесселя для определения технологических разновидностей железной руды	63
<i>Білецький В.С., Шпильовий К.Л.</i> Вилучення важких мінералів з рідкіснометалічної руди у відцентровому полі ...	68
<i>Грищенко А.Н.</i> Исследование взаимосвязи показаний ручного и комбинированного каротажного зонда при каротаже буровзрывных скважин	73
<i>Губіна В.Г., Губін Г.Г., Ярош Т.П.</i> Про речовинний склад червоних шламів	78
<i>Часова Е.В., Івчук В.В.</i> Екологічні аспекти застосування сурфактантів різної природи походження та їх вплив на важкі метали	83
<i>Николаєнко К.В., Заверюха Ю.К.</i> Шляхи підвищення якості аглоруди підземного видобутку	90
<i>Кузьменко А.С., Барановская М.Л.</i> Использование нейронной сети для управления чашевым окомкователем	93
<i>Письменный С.В., Томашевський О.Б.</i> Моделювання стійкої форми очисної камери при розробці магнетитових кварцитів Криворізького залізрудного басейну	98
<i>Горбачов Ю.Г.</i> Перспективи використання вібраційних ефектів для створення нового гірничо-збагачувального обладнання	104
<i>Лобов В.Й., Лобова К.В.</i> САК рівномірності нагріву шару обкотишів на конвєсрній випалювальній машині	108
<i>Олійник Т.А., Скляр Л.В., Олійник М.О., Дрожевська П.С.</i> Обґрунтування механізму закріплення аніонного флокулянту на поверхні часточок відходів збагачення магнетитових кварцитів ПАТ «ПівніГЗК»	113
<i>Данилейко О.К., Рожненко Ж.Г., Дубовий В.О.</i> Розробка лабораторного стенда для дослідження режимів роботи відцентрових насосів	118

<i>Здециц В.М., Шолох М.В., Сергеева М.П.</i> Визначення неоднорідностей та порожнеч в гірському масиві	122
<i>Суртаєв В.В.</i> Застосування конструкцій зовнішніх огорожень будівель з підвищеним теплозахистом	128
<i>Нечаев В.П., Бугай Л.А.</i> Исследование потери эксплуатационных свойств деталей поворотных механизмов переносных и телескопных перфораторов эксплуатируемых в шахтных условиях	135
<i>Хорольская Т.В.</i> Моделирование процессов разделения частиц по магнитной восприимчивости и плотности для создания робототехнологических комплексов	138
<i>Filatov S.V., Zukov S.A., Girin I.V., Filatov A.S.</i> Justification of parameters and construction technology of open pit roads	143
<i>Валовой О.І., Єрьоменко О.Ю., Валовой М.О.</i> Тенденції розвитку методів розрахунку залізобетонних конструкцій	147
<i>Литвинов О.В.</i> До проблеми використання автономної мінівітрової електростанції для виробництва електричної енергії в підземних умовах залізрудних шахт	152
<i>Азарян В.А., Серебренников В.М.</i> Исследование влияния дискретности измерения содержания полезного компонента на показатели прибыли горнообогатительного комбината	156
<i>Зубкевич В.Ю.</i> Теоретические основы систем термографического контроля и сепарации минерального сырья	161
<i>Паламар А.Ю., Сизова Т.Д.</i> Аналіз методів спостереження за геомеханічними процесами в крупних гірничовидобувних регіонах	166
<i>Назаренко Н.В.</i> Современные подходы и решения для маркшейдерских служб горных предприятий на базе комплекса маркшейдерского обеспечения ГИС К-MINE	170
АНОТАЦІЇ	175
<i>А н о т а ц і ї</i>	175

УДК 622.272: 622.063.7

В.О. КАЛІНІЧЕНКО, Н.Ю. ШВАГЕР, доктори техн. наук, проф.,
С.М. ЧУХАРЕВ, канд. техн. наук, доц., О.В. КАЛІНІЧЕНКО, канд. економ. наук, доц.,
Т.С. ГРИЩЕНКО, старший викладач, Криворізький національний університет,
М.А. ГРИЩЕНКО, ПАТ «ЄВРАЗ СУХА БАЛКА»

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДПРАЦЮВАННЯ ПОКЛАДІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ САМОХІДНОЇ ДОСТАВОЧНОЇ ТЕХНІКИ

Роботу присвячено вирішенню актуальної науково-практичної задачі дослідження та удосконалення технології відпрацювання покладів багатих залізних руд з використанням сучасної самохідної бурової та доставочної техніки.

Проаналізовано та узагальнено вітчизняний та зарубіжний досвід, наукові праці і проектні матеріали щодо використання самохідної техніки в підземних умовах.

Виконано детальний техніко-економічний аналіз факторів і умов, щодо ефективності відпрацювання багатих залізних руд підземним способом дозволив зробити висновки, що на сьогодні шахти Кривбасу використовують застаріле гірничо-технічне обладнання. Застаріле обладнання не дозволяє в повній мірі використовувати при проектуванні прогресивні технології видобутку залізних руд.

Запропоновано удосконалені схеми конструкцій днища блоку з використанням самохідної гірничої техніки. При технологічному порівнянні запропонованих варіантів було встановлено, що найбільш ефективними з точки зору витрат на проходку виробок днища блоку є варіанти, які характеризуються мінімальною довжиною виробок. Встановлено, що найбільш оптимальним варіантом по критерію собівартості є варіант з випускними воронками. Це пояснюється збільшеним запасом випущеної відбитої руди за рахунок більшої кількості випускних воронок та менших втрат руди у блоці у порівнянні з іншими варіантами. Однак, з огляду стійкості та простоти формування горизонту випуску, перевагу має траншейне днище. Тому у кінцевому варіанті рекомендуємо до впровадження запропонований варіант з траншейним днищем. На основі виконаних досліджень запропоновані нові високоефективні варіанти камерних систем розробки для покладів малої та середньої потужності.

Запропоновано варіанти систем розробки з обваленням руди та вміщуючих порід з використанням самохідної техніки для умов Криворізького басейну. Доведено, що широке застосування самохідної техніки при відпрацюванні рудних покладів дозволить переоснастити діючі шахти Криворізького басейну новим обладнанням та удосконалити технологічні схеми відпрацювання родовищ багатих залізних руд з використанням самохідної гірничовидобувної техніки.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Україна займає перше місце за запасами залізних руд. Основну їх частину сконцентровано в Криворізькому залізрудному басейні.

На сьогодні шахти Кривбасу використовують застаріле гірничотехнічне обладнання. Застаріле обладнання не дозволяє повною мірою використовувати при проектуванні прогресивні технології видобутку залізних руд. Основним напрямком розвитку шахт Кривбасу є повна механізація основних та допоміжних виробничих процесів.

Отже, роботу, присвячено дослідженню та удосконаленню технології відпрацювання покладів багатих залізних руд з використанням сучасної самохідної бурової та доставочної техніки є необхідною та актуальною.

Аналіз досліджень і публікацій. Доставка руди з використанням сучасних самохідних машин усе частіше застосовується на практиці завдяки своїй маневреності, мобільності, автономності та високій продуктивності [1-6].

Для зменшення втрат руди в ціликах при камерних системах розробки, широко застосовуються системи поверхового (підповерхового) обвалення. Типовим представником такої технології є система підповерхового обвалення з торцевим випуском [7,8], що застосовується на шведському руднику «Кіруна» для видобутку багатих магнетитових залізних руд. Підготовку рудного тіла до відпрацювання здійснюють похилими з'їздами, які проходять під кутом 12-20° між основними відкотними горизонтами. Один похилий з'їзд обслуговує ділянку покладу довжиною 300-400 м.

З метою покращення показників вилучення на руднику «Ліа Рідж» компанії «Мерамек» були виконані дослідження [7] впливу розмірів конструктивних параметрів даної системи розробки на величину втрат та засмічення. На основі отриманих даних було прийнято рішення прийняти висоту підповерху 11,5 м, збільшити висоту буродоставочних виробок до 4 м і скоротити відстань між ними до 10,7 м. Такі заходи частково вирішили проблему, але одночасно з

цим значно підвищили витрати підготовчо-нарізних робіт, що негативно позначається на собівартості руди, до того ж збільшення перерізу виробок значно зменшує їх стійкість, що недопустимо при відпрацюванні корисної копалини на великих глибинах.

У закордонній практиці [9], на рудниках *Нортспаркс*, *Хендерсон*, *Фінч*, *Ель-Тенієнте*, *Прем'єр* використовується технологія з площинно-торцевим випуском.

Характерною особливістю технології є почерговий випуск через виробки в двох підповерхнях. Це дозволяє збільшити товщину шару корисної копалини, що випускається, забезпечивши виймання гребенів втрат, що утворилися на верхньому підповерху, випуском з виробок нижнього підповерху.

Постановка завдання. Отже, раціональне використання самохідної гірничої техніки на підземних гірничих роботах потребує вирішення цілого комплексу задач, пов'язаних як з нарізними, так і з очисними роботами.

Особливу увагу необхідно приділяти підвищенню ефективності роботи самохідного навантажувально-доставочного обладнання, від роботи якого, значною мірою, залежить продуктивність очисного вибою в цілому.

Отже, тема роботи, присвячена дослідженню та розробці ефективних технологій видобутку багатих залізних руд з використанням самохідної гірничої техніки є актуальною.

Метою роботи є дослідження та удосконалення технології підготовки днища блоку та системи розробки в цілому на основі встановлення закономірностей випуску руди та оптимізації конструкції приймального горизонту з використанням самохідної навантажувально-доставочної техніки.

Викладення матеріалу та результати. Торцевий випуск з випереджаючою відбійкою руди застосовують при системах розробки підповерхового та поверхового примусового обвалення. Руду відбивають з бурових виробок, розташованих на одному або декількох горизонтах з випередженням по відношенню до випуску на величину, яка дорівнює ширині (товщині) одночасно обвалованого масиву за умови його відбійки на «затиснене» середовище, що становить 8-15 м. Над прийомними виробками залишають захисний цілик, який у процесі випуску руди періодично погашають окремими ділянками по 1,5-2,5 м підриванням шпурових зарядів.

Величину бічного засмічення руди при торцевому випуску можна частково зменшити за рахунок позиціонування еліпсоїда випуску посередині відбитого шару корисної копалини, тим самим ліквідуючи асиметрію фігури випуску відносно осі і зменшуючи кількість пустих порід що потрапляють до неї.

Це досягається за рахунок створення стеліни-козирка над доставочною виробкою, який відпрацьовується з відставанням, яке дорівнює половині товщини відбиваємих шарів.

У цих умовах вісь фігури випуску знаходиться на певній відстані від площини контакту відбитої руди і рудного масиву, де розташовується зона більш розпушеної руди. Обвалені налягаючі породи проникають в доставочну виробку на останній стадії вилучення запасів відбитого шару руди.

При випуску з-під стеліни-козирка також можливе збільшення товщини відбиваємого T_0 та випускаємого T шарів руди, що зменшує питому площу контакту руди з пустими породами і зменшує засмічення корисної копалини, рис. 1.

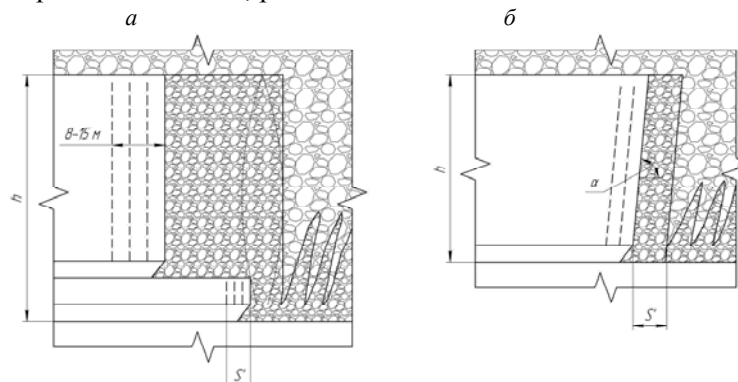


Рис. 1. Варіанти торцевого випуску руди: *a* – з випереджаючою відбійкою руди із залишенням запобіжного цілика над випускною виробкою; *b* – пошаровий без залишення цілика над буродоставочною виробкою

Найкращі показники вилучення руди досягаються при співвідношеннях товщини T_0 відбиваємого шару руди до глибини h_0 занурення робочого органу $T_0/h_0=1,3$ і висоти H відбиваємого шару до його товщини $H/T_0=6,5$.

Пошаровий торцевий випуск застосовують переважно при підповерховому обваленні. Руду у межах підповерху висотою 10-16 м відбивають вертикальними або похилими шарами товщиною 2-3 м й обвалену руду випускають через торці виробок (рис.1б). Товщину та висоту шару, який відбивається, форму поперечного перерізу приймають, виходячи з умови найбільш повного «вписування» у нього еліпсоїдів випуску.

Дуже важливим параметром при даному способі випуску є відношення висоти шару обваленої руди до її товщини h/S' . Згідно з дослідженнями це відношення повинно бути у межах 2,7-3,5. Дослідженнями на моделях, проведеними Г.М. Малаховим та В.Р. Безухом [10] показано, що вилучення чистої руди до початку засмічення пропорційне безрозмірній величині $c = h/\sqrt{M \cdot S}$ й визначається за формулою

$$B_q = 29 \cdot \lg c,$$

де M - відстань між приймальними виробками, м.

При варіантах системи розробки підповерхового обвалення з пошаровим торцевим випуском руду відбивають вертикальними або крутопохилими шарами під кутом 70-110°. Кут нахилу 70-85° застосовують при кускуватості обвалених порід меншій, ніж кускуватість відбитої руди, щоб утворювана рудна консоль запобігала проникненню порід з верхнього контакту.

У випадку, коли кускуватість руди є меншою, ніж пустих порід, кут нахилу шару доцільно приймати 100-110°, а при однаковій кускуватості руди і порід відбірку рудного масиву здійснюють вертикальними шарами.

За даними лабораторних досліджень максимальне вилучення рудної маси в залежності від співвідношення h/S' досягається при кутах нахилу шару, наведених нижче:

h/S'	2	4	6	8	10-12
Кут нахилу шару, град	75	80	85	87	87...90

Вибір раціональної конструкції днища блоку з використанням самохідної техніки є досить складною задачею.

Вибрана схема повинна забезпечити безпечні та нормальні санітарно-гігієнічні умови роботи робітників, сприятливі умови для відпрацювання запасів руди з найкращими техніко-економічними показниками при мінімальних обсягах проведення підготовчих і нарізних виробок та раціональному їх розташуванні у межах блоку.

У більшості випадків обсяги підготовчих і нарізних робіт оцінюються питомою протяжністю виробок у метрах (інколи додатково й у метрах кубічних) на 1000 т запасу руди або видобутої з блоку рудної маси.

Для вибору раціональної конструкції днища блоку з використанням самохідної техніки було розроблено декілька варіантів, серед яких обрано найбільш оптимальний.

На рис. 2 представлено варіант з траншейним днищем.

Цей варіант застосовують, як правило, при потужності покладу до 20-25 м.

Згідно цієї схеми у рудному покладі проходять траншейний штрек, який збивають з доставочним штреком навантажувальними заходками, рис. 2.

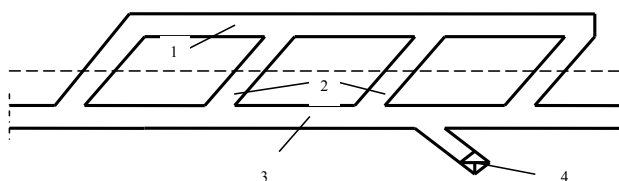


Рис. 2. Траншейне днище: 1 - траншейний штрек, 2 - навантажувальні заходки, 3 - доставочний штрек, 4 - вентиляційний піднятковий

Перевагами такої схеми є простота конструкції та достатні умови для провітрювання.

Недоліком цієї схеми є те, що навантаження ковша машини здійснюється під деяким кутом, який дорівнює куту проведення навантажувальних заходок.

Це зменшує коефіцієнт заповнення ковша машини, і в цілому коефіцієнт її використання.

З метою ліквідації цього недоліку запропоновано варіант днища блоку з воронками випуску, рис. 3.

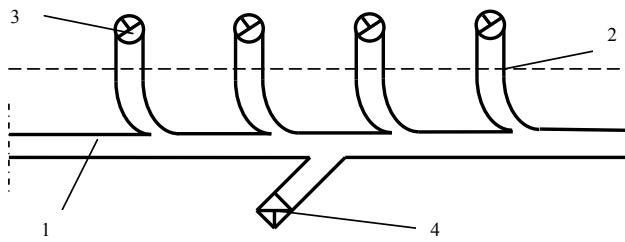


Рис. 3. Варіант конструкції днища з торцевими заходками, випускними воронками та суміщенням доставочного і транспортного штреку: 1 – траншейний штрек, 2 – навантажувальні заходки, 3 – випускні воронки, 4 – рудозвальний підняттясвий

При даному варіанті необхідна мінімальна кількість виробок, тільки штрек, навантажувальні ніші з воронками випуску. Воронки випуску розташовані у ціликах. Дуже проста схема організації робіт та вентиляції.

Зважаючи на міцність та стійкість руд на шахтах Кривбасу, та приймаючи до уваги попередній досвід роботи, кріплення виробок анкерами рекомендовано лише тоді, коли виробку пройдено у кварцитах (пустих породах). Якщо виробку пройдено по руді, вона кріпиться металевим кріпленням (УПК-22-8,5).

Для визначення об'єму випущеної руди з блоку приймаємо кут розвороту воронок 60°, діаметр воронок випуску приймаємо рівним 5 м.

При траншейному днищі кількість навантажувальних заходок в усіх розрахунках дорівнює 5.

Будуємо таблицю балансових запасів блоку, втрат у ціликах та об'єм випущеної руди у залежності від кількості воронок випуску.

Середній балансовий запас блоку приймаємо рівним 421,8 тис. т руди.

В табл. 1,2 наведено розрахунки втрат руди при її випуску із блоку.

Таблиця 1

Втрати руди у блоці та об'єм випущеної руди для першого варіанту конструкції днища блоку

Втрати руди в блоці (B), тис. т	Кількість випущеної руди (Q), тис. т
101,2	320,6

Таблиця 2

Втрати руди у блоці та об'єм випущеної руди для другого варіанту

Кількість воронок випуску (n), штук	Втрати руди в блоці (B), тис. т	Кількість випущеної руди (Q), тис. т
5	86,5	335,3

Побудуємо графік залежності втрат та об'єму випущеної руди для різних конструкцій днищ блоків, рис. 4.

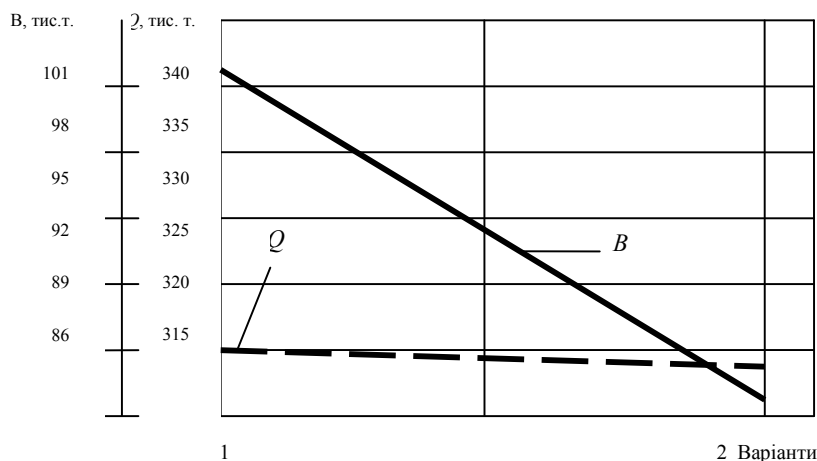


Рис. 4. Графік залежності втрат B та об'єму Q випущеної руди при першому та другому варіантах конструкції днища блоку

Побудуємо гістограму кількості видобутої руди та втрат по варіантах, рис. 5.

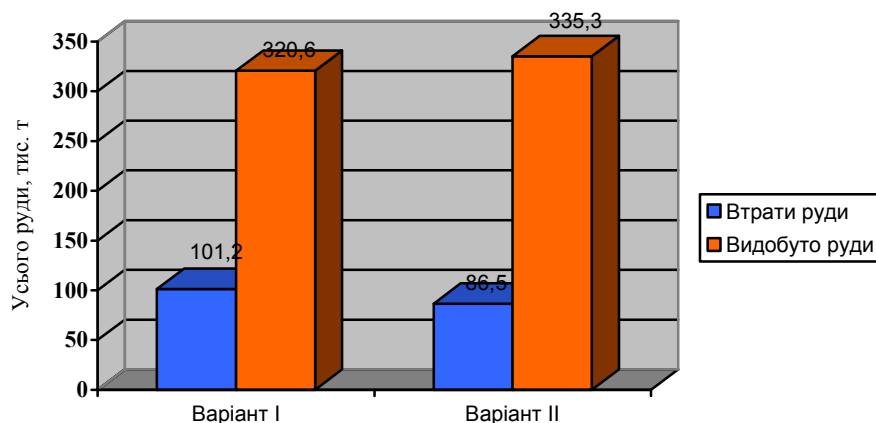


Рис. 5. Гістограма кількості видобутої руди та втрат по варіантах

В табл. 3 наведено техніко-економічні показники запропонованих варіантів

Таблиця 3

Порівняльна таблиця собівартості підготовки днища прийомного горизонту

Показники	Варіанти	
	I	II
Видобуто руди із блоку, тис.т	320,6	331,1
Витрати виробок на формування днища блоку, м	102	84
Вартість проходки виробок при анкерному кріпленні, тис.т	533,6	634,2
Втрати руди при випуску, тис.т	101,2	86,5
Величина прибутку з врахуванням вартості проходки виробок, тис. грн.	183330,5	191660,35

Висновки. Техніко-економічне порівняння розглянутих варіантів не дозволяє визначити найбільш ефективну технологію, оскільки величина прибутку практично однакова. Однак, з точки зору стійкості та простоти формування днища блоку, перевагу має траншейне днище.

Тому у кінцевому варіанті ми рекомендуємо до впровадження варіант з траншейним днищем.

Список літератури

1. Ступнік М.І., Калініченко В.О., Калініченко О.В. Техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування самохідної техніки на шахтах Кривбасу / Науковий вісник НГУ.–Дніпропетровськ. – 2012. – №5(131). – С.39 – 43.
2. Калініченко В.А. Тенденції в розвитку горнодобуваючого комплексу і проблеми технічного переобладнання підземних рудників / Калініченко В.А., Жуков С.А., Калініченко Е.В. / Кривий Ріг : Мінерал, 2007. – 172 с.
3. Ступнік Н.І., Калініченко В.А., Колосов В.А., Бах І., Поздняков В. Основні аспекти формування підземних пунктів обслуговування і заправки горношахтного і самохідного обладнання / Розробка родовищ : щорічний наук.-техн. збірник. – Д: ТОВ «ЛізуновПрес». – 2014. – С. 199–202.
4. Олейников І. А. Технологія і механізація підземної добычі руд кольорових металів за рубежем/ Олейников І. А. – М. – 1969. – 288 с.
5. Кальницький Я. Б. Самохідне погрузочне і доставочне обладнання на підземних рудниках/ Я. Б. Кальницький, А. Т. Філімонов // Москва: Недра. – 1974. – С. 3–5, 123–140.
6. Байконуров О. А. Комплексна механізація підземної розробки руд (2-е изд.)/ О. А. Байконуров, А. Т. Філімонов, С. Г. Капошин// М.: Недра. – 1981. – 264 с.
7. Чернокур В.Р., Шкрєбко Г.С., Шелегеда В.И. Добыча руд с поэтажным обрушением./ В.Р.Чернокур, Г.С.Шкрєбко, В.И.Шелегеда // М.: Недра, 1992. – 271 с.
8. Chadwick J. Ironclad Kiruna // International Mining. – 2010. – July. – С. 8-15.
9. Кузьмін Е.В., Узбекова А.Р. Технології с самообрушенням. Развитие и новые возможности. / Е.В.Кузьмін, А.Р.Узбекова //«Горная Промышленность», №3, 2005.
10. Малахов Г.М., Безух В.Р., Петренко П.Д. Теорія і практика випуску руди. – М.: Недра, 1968. – 311 с.

Рукопис подано до редакції 24.03.15

УДК 528.023

О.Є. КУЛІКОВСЬКА, д-р техн. наук, доц., Криворізький національний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВІНОСУ НА МІСЦЕВІСТЬ ПУНКТІВ ГЕОДИНАМІЧНОГО ПОЛІГОНУ

Подано інформацію про сучасну ситуацію із методикою геодезичного забезпечення виносу на місцевість пунктів або розбивочних елементів. Рекомендовано для виносу в натуру (на місцевість) пунктів геодинамічного полігону застосовувати GPS-приймач Topcon HiPer, а в якості контролера користуватися ноутбуком із встановленим програмним забезпеченням TopSURV, який підключається в польових умовах до приймача. Проаналізовано існуючі способи перенесення проекту на місцевість, зазначено, що розглянута проблема є однією з найважливіших і відповідальних сторін діяльності інженера-геодезиста. Тому всі етапи геодезичних робіт, починаючи з їх підготовки і закінчуючи виконанням на будівельному майданчику, вимагають дуже серйозного до них ставлення. Обґрунтовано висновок про необхідність удосконалення наявних методик та технологій із геодезичної підготовки проекту стосовно виносу на місцевість точок. Детально описано технологічні й методичні особливості проведення робіт щодо винесення точок за відомими координатами, заданим напрямком, списками точок. Запропонована і перевірена в польових умовах методика розмічувальних геодезичних робіт із винесення пунктів геодинамічного полігону на місцевість в складних умовах будівельного майданчика із використанням GPS-приймача дозволяє вибрати найбільш раціональний і сучасний спосіб вирішення проблем і задач винесення пунктів проекту на місцевість та засвоїти нові практичні навички.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Геодинамічні параметри гірського масиву у вирішальній мірі визначають механічну міцність і екологічну безпеку будь-яких інженерних споруд [1]. Геодинамічні зони, що розділяють блоки гірських масивів різної тектонічної активності, існують повсюдно і представляють загрозу для всіх техногенних об'єктів. Вони характеризуються підвищеною тріщинуватістю, широким розвитком брекчій і високою проникністю будь-яких рідин і, особливо, природних та техногенних поверхневих вод. Зазвичай такі зони є місцями розвитку тимчасових і постійних (річок) водотоків, а також понижених форм рельєфу, придатних для спорудження різноманітних ставків, ставків-накопичувачів і шламо- та хвостосховищ. Окрім того, такі зони є потенційними ділянками активного розвитку процесів та явищ, пов'язаних з геологічною діяльністю поверхневих і підземних вод, що може спричинити підтоплення та заболочення територій, руйнування гребель, дамб та інших інженерних споруд тощо, тобто створити передумови для виникнення надзвичайних ситуацій природно-техногенного характеру [2]. У зв'язку з цим моніторинг за змінами особливостей таких геодинамічних зон є запорукою безпечного функціонування гідроінженерних об'єктів, до яких належать хвостосховища.

Спорудження хвостосховища Криворізького гірничозбагачувального комбінату окислених руд (КГЗКОР) призвело до порушення природного гідродинамічного режиму поверхневих і підземних вод, створення техногенних форм рельєфу, що вплинуло на перерозподіл літостатичного тиску в межах масивів гірських порід [3]. Такі зміни природних властивостей геологічного середовища призвели до активізації ерозійних процесів, які позначились на підвищенні динаміки розвитку яружно-балкової системи балки Криничуватської, а також активізували природні неотектонічні рухи, що позначилось на стійкості основного тіла греблі хвостосховища, як техногенної форми рельєфу.

Сучасні тектонічні рухи, а також пов'язані з ними процеси рельєфоутворення належать до природних явищ, які призупинити неможливо. Проте сьогодні в районі хвостосховища сформувалась природно-антропогенна система, подальший розвиток якої вже прямо залежить від діяльності людини. При розробці заходів, спрямованих на запобігання виникнення надзвичайних ситуацій, необхідною умовою повинно бути врахування всіх чинників в комплексі. Тільки через комплексну мінімізацію їх впливу на природно-техногенну систему можна досягти позитивних результатів [4-6].

Постановка завдання. Питання вибору методів побудови планово-висотних геодезичних мереж, розрахунку очікуваної точності вимірювань, застосування відповідних новітніх приладів і технологій, обробки та аналізу результатів спостережень з обчисленням і прогнозуванням деформацій земної кори, поверхні, мобільності споруд є першочерговими при моніторингу на геодинамічному полігоні району будівництва КГЗКОР. Одним із найважливіших питань є ство-

рення оптимальних планово-висотних мереж для надійного визначення горизонтальних та вертикальних рухів земної поверхні [7,8].

Перенесення проекту на місцевість є однією з найважливіших і відповідальних сторін діяльності інженера-геодезиста. Тому всі етапи геодезичних робіт, починаючи з їх підготовки і закінчуючи виконанням на будівельному майданчику, вимагають дуже серйозного до них ставлення, вміння вибрати найбільш раціональні способи їх вирішення.

Вдосконалення існуючих методик та технологій із геодезичної підготовки проекту щодо виносу на місцевість точок або розбивочних елементів споруд дозволить набути нових практичних навичок у вирішенні цих питань [9].

Викладення матеріалу та результати. Хвостосховище КГЗКОР розташоване в центральній частині Інгульського мегаблоку Українського щита, в будові якого беруть участь метаморфізовані вулканогенно-осадові та гранітоїдні утворення палеопротерозою, які перекриваються кайнозойськими відкладами осадового чохла (рис. 1).

У структурному відношенні територія району досліджень розташована в межах блока, обмеженого регіональними глибинними розломами мантийно-корового закладення субмеридіонального простягання: із заходу - Кіровоградським скидом, зі сходу - Західно-Інгулецьким скидом. Розташований між ними блок розбитий розломами північно-західного (Долинська і Боків'янська зона розломів), північно-східного і субширотного (Бобринецький розлом) простягання на низку блоків вищих порядків. На тлі порушень вказаних трьох напрямків контрастно виділяється Ісаївська тектонічна зона північно-східного простягання, яка розділяє Долинську антикліналь і Криничуватський купол.

У геоморфологічному відношенні ця зона контролюється Криничуватською балкою, у верхів'ї якої знаходиться об'єкт досліджень - гребля хвостосховища КГЗКОР, яка орієнтована поперек простягання зони (рис. 2).

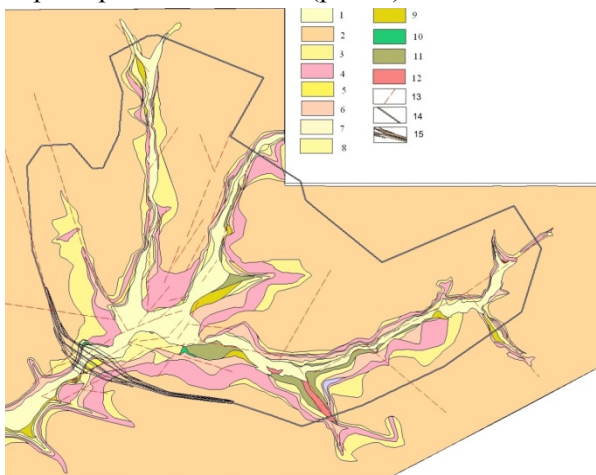


Рис. 1. Геологічна карта району хвостосховища

Умовні позначення до рис. 1:

1-3 – верхньочетвертинні відклади: 1 – суглинки чорні, бурувато-чорні туго пластичні з лінками та прошарками дрібнозернистих пісків; 2 – суглинки лесовидні буро-жовті; 3 – суглинки лесовидні палео-аккумулятивного вирівнювання; 4-5 – середньочетвертинні відклади: 4 – суглинки лесовидні перепрацьовані процесами силової ерозії та денудації (дежовто-бурі); 5 – суглинки лесовидні світло-бурі до сірих; 6 – нижньочетвертинні червоно-бурі суглинки; 7 – неподілені нижньочетвертинні червоно-бурі суглинки з лінками червоно-жовтими; 8 – нижньочетвертинні піщанисті глини сірого кольору з включеннями жорстви; 9-10 – дисперсна зона кори вивітрювання: 9 – рельєф (греблі); 10 – контур хвостосховища; 11 – жорстк'яно-щербінчаста зона кори вивітрювання, представлена уламками гранітів і мігматитів; 12 – граніти докембрійського кристалічного фундаменту; 13 – розривні порушення в кристалічному фундаменті докембрію, які внаслідок проявлення неотектонічних рухів проявляються і в породах осадового чохла; 14 – контур хвостосховища; 15 – основна гребля хвостосховища



Рис. 2. Геоморфологічна карта району хвостосховища

Умовні позначення до рис. 2:

1 – рельєф, створений процесами перемінного денудаційно-ерозійного вирівнювання; 2 – ерозійний рельєф, створений процесами силової ерозії та денудації (дежовто-бурі); 3 – заплава, сформована процесами голоценового вирівнювання; 4 – ерозійно-денудаційний рельєф, створений процесами сучасної ерозії та денудації; 5 – техногенний рельєф (греблі); 6 – контур хвостосховища. Цифри на рис.: 1 – яружно-балкова система правого схилу балки Криничуватської, 2 – яружно-балкова система лівого схилу

Особливу увагу заслуговує зміна морфології тальвегу балки. На всьому його простяганні

спостерігається розвиток євразійноподібних колодязів, або, як їх ще називають, водобійних колодязів (рис. 3).

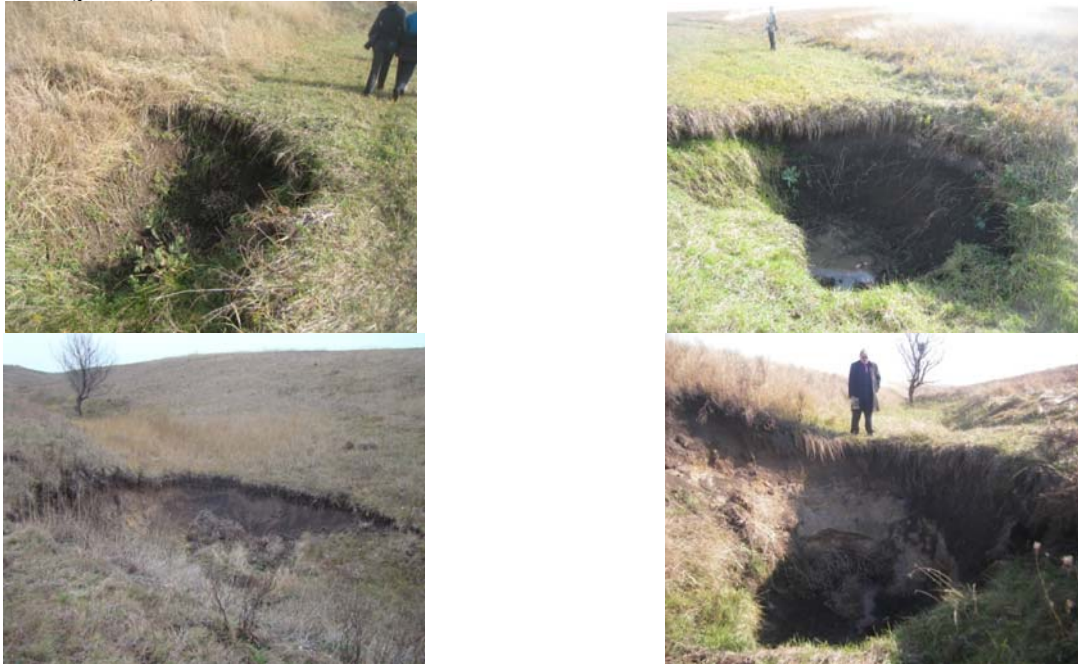


Рис. 3. Євразійноподібні (водобійні) колодязі в тальвегу балки

Такі мікроформи ізометричні в плані, радіусом від 1,5-2 до 6 м і глибиною 1-2 м. Їх формування носить багатостадійний характер.

На першій стадії поперек тальвегу в лесованих суглинках утворюються проникні зони, причиною чого може бути активізація розломної тектоніки внаслідок неотектонічних рухів. На другій стадії, в межах цих високопроникних для атмосферних вод ділянок, відбувається інфільтрація на глибину перезволоження лесовидних суглинків і їх просідання з утворенням в поздовжньому профілі тальвегу вершинних перепадів. Третя стадія характеризується формуванням на дні балки тимчасового потоку, який спричиняє активізацію вершинного перепаду, а на четвертій стадії - води потоку призводять до турбулентної ерозії гірських порід нижче вершинного перепаду за принципом утворення євразійних котлів. Проте, необхідною умовою для включення такого механізму повинно бути пониження базису ерозії балки, що вже ймовірно є прерогативою неотектонічних рухів у межах масивів гірських порід району хвостосховища. На користь такої версії слугує розвиток вздовж притальвегої частини схилів балки тріщин відриву з формуванням мікроосувів (рис. 4), як геоморфологічної ознаки існування неотектонічних явищ.



Рис. 4. Тріщини відриву в притальвеговій частині схилів балки

На основі порівняльного аналізу існуючих і можливих методів побудови планових геодезичних мереж [10–13] зроблено висновок, що найдоцільнішими методами планового моніторингу є не класичні методи триангуляції, яким властива недостатня точність, а сучасні методи, зокрема: спостереження GPS-приймачами та лінійно-кутові мережі, створювані новітніми тахеометрами.

Розгляд методів визначення висот показав, що найбільш високу точність, яку вимагає моніторинг на геодинамічному полігоні може забезпечити високоточне геометричне нівелювання. Визначення висот методом GPS має перевагу перед геометричним нівелюванням при розв'язанні регіональних та глобальних задач геодинаміки, коли досліджується мобільність точок, які рознесені в просторі на сотні та тисячі кілометрів. Точність визначення висот методом GPS дещо гірша, ніж визначення цим методом планового положення, і складає похибку у вертикальних векторах $m_{\Delta H} \geq 3$ мм.

З метою вивчення характеру прояву сучасних вертикальних рухів земної поверхні в часі та просторі рекомендовано відновлення регіонального геодинамічного полігону КГЗКОР.

Для здійснення геодезичних спостережень розроблено та обґрунтовано проект висотної мережі на основі детального вивчення геолого-тектонічного та геоморфологічного стану досліджуваного регіону. Проектом передбачено прокладання ліній нівелювання I класу коротким променем (не більше 25 м).

Складна тектонічна ситуація району будівництва хвостосховища магнітного збагачення визначила необхідність закріплення на його території системи реперів, що сформували 4 замкнуті полігони для виконання повторних і тривалих (5–6 років) спостережень, периметри яких відповідно дорівнюють: $L_1=3,53$ км; $L_2=3,11$ км; $L_3=15,75$ км; $L_4=4,35$ км. Проектом передбачено відновлення двох деформаційних майданчиків (ДМ), зв'язаних між собою ґрунтовими реперами.

Під закладку було обрано 2 ділянки, які за попередньою оцінкою характеризувалися різною інтенсивністю геодинамічних процесів і розміщувалися поблизу розломів як субширотного, так і субмеридіонального простягань (рис. 5).



Рис. 5. Схема геодинамічного полігону на космічному знімку Google

Вибір способу виносу точок проекту на місцевість залежить від характеру забудови, протяжності полігону, заданої точності та наявності точок геодезичної мережі або допоміжного геодезичного обґрунтування. При наявності великої кількості чітких контурів поблизу пунктів зручний графічний спосіб визначення розмічувальних елементів. В цьому випадку в якості даних для перенесення пунктів в нату-

ру використовують кути і відстані, отримані безпосередньо з топографічного плану, використовуюваного для проектування. Точність виносу в цьому випадку залежить від масштабу плану, точності нанесення запроєктованих точок на план, визначення з плану невідомих елементів, деформація плану. Аналітичний спосіб використовується в тих випадках, коли на ділянці збереглося мало геодезичних пунктів та проектні точки віддалені від них на великі відстані.

Для визначення на місцевості планового положення точок, що виносяться, використовують такі способи [14]: полярний; прямих куткових засічок; лінійних засічок; створних засічок; перпендикулярів.

При цьому фахівцями використовувалися традиційні геодезичні прилади.

Сучасні досягнення геодезичного приладобудування дозволяють підвищити продуктивність праці шляхом вживання GPS-приймачів у випадках, коли територія створення або відновлення пунктів геодинамічного полігону вкрай незабудована, відсутні контурні об'єкти, які б слугували опорними на місцевості.

Для винесення точок в природу рекомендується використовувати Topcon Hiper [15]. В якості контролера застосовується ноутбук із встановленим програмним забезпеченням TopSURV, який підключається в польових умовах до приймача. Методику виконання робіт описано нижче.

Вибираємо меню Stake> Points (Розбивка> Точки), а у вікні Stakeout Point (Винести точку) кнопку Settings (Налаштування) (рис. 6). Для GPS-приймача: у вікні Stakeout Parameters (Параметри розбивки) задаємо параметри винесення в природу, а саме допуск відхилення в плані і

початковий напрям. Зазначаємо спосіб створення назви і примітки до точок, а також вибираємо тип рішення базових ліній. Щоб відновити значення, які запропоновані, натискаємо кнопку **Defaults**. Якщо необхідно, щоб іконка точки, що виноситься на місцевість (в натуру), була показана на карті, то в меню у лівому верхньому кутку вікна **Stakeout Parameters** (Параметри розбивки) вибираємо позицію **Display** (Екран).

Вибираємо проектну точку полігону зі списку або з карти, або вводимо її ім'я вручну, а для GPS приймача задаємо параметри антени (висоту, тип і спосіб її виміру). Якщо виконується винос точок PTL, позначаємо відповідне поле. У вікні **Stakeout Point** (Винесення точки) натискаємо кнопку **Stakeout** (Винести) (рис. 7).

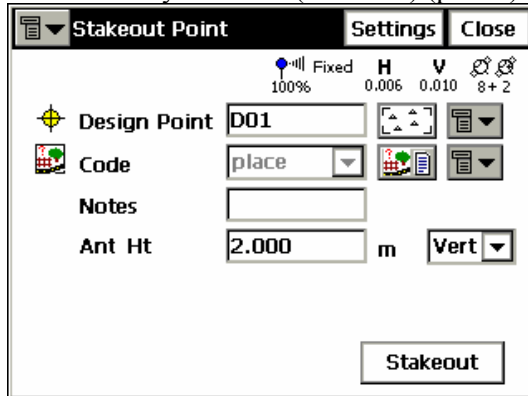


Рис. 6. Винесення в натуру точок

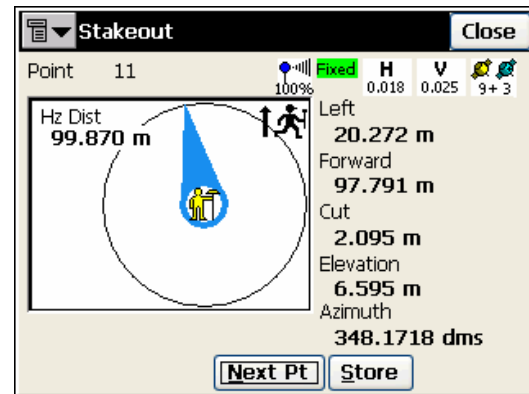


Рис. 7. Робоче вікно визначених параметрів для виносу точок на місцевість

Для GPS приймача під час пошуку проектної точки необхідно керуватися інформацією, що подається у вікні **Stakeout** (Розмічення). Після того, як підходять досить близько до неї, натискають **Store** (Зберегти). Щоб перейти до наступної (в списку даних) проектної точки, натискають кнопку **Next Pt** (Наступна Точка).

Якщо координати пункту не відомі, але задано напрямок і відстань до нього від вихідної (опорної) точки, використовується функція **Stakeout Point in Direction** (Винесення точки за напрямком).

Щоб виконати винос точки по заданому напрямку, вибираємо **Stake> Point in Direction** (Розбивка (винесення) > Точка в напрямку). У вікні **Stakeout Point in Direction** вводимо ім'я початкової точки (опорної), азимут на точку, що виноситься, заданий безпосередньо або як кут, що відлічується від напрямку на деяку іншу точку (вихідну), кутове відхилення від початкового азимута, зміщення по відстані вздовж кутового зсуву на точку, відхилення по висоті, а також параметри антени (у режимі GPS). У полі **Store Pt** (Зберегти точку) вводимо ім'я точки, яка виноситься, підтверджуємо натисканням кнопки **Stakeout** (рис. 8).

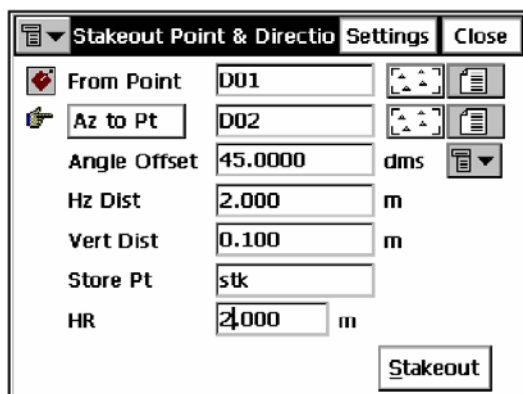


Рис. 8. Винесення точки за напрямком

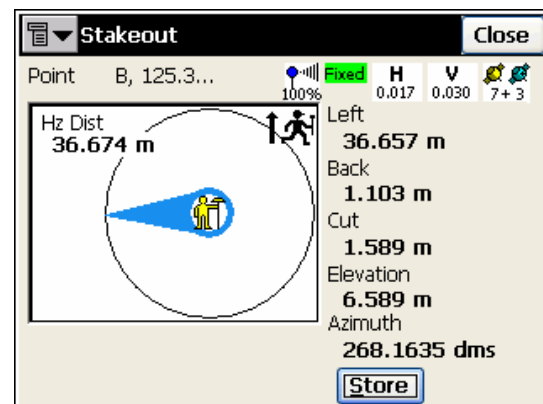


Рис. 9. Робоче вікно збереження винесеної точки за напрямком

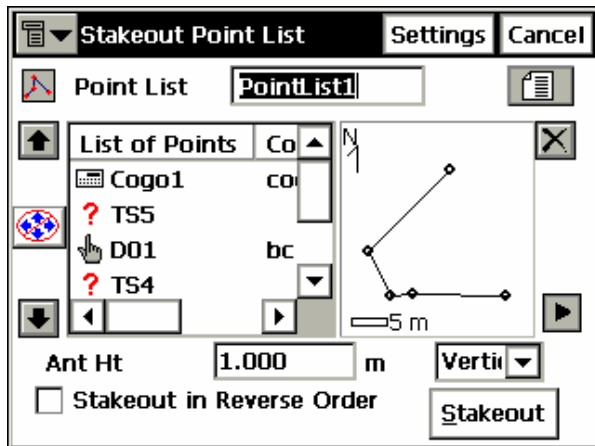


Рис. 10. Винесення пунктів за списком точок

При роботі з GPS приймачем для знаходження пункту, що виноситься на місцевість необхідно керуватися інформацією, що приводиться у вікні **Stakeout**. Коли підійшли досить близько до необхідної позиції, натискаємо **Store** (Зберегти) (рис. 9).

Для винесення в натуру точок, що входять до списку точок, вибираємо **Stakeout > Point List** (Розбивка > Список точок). У вікні **Stakeout Point List** (Розбивка списку точок) вибираємо заздалегідь створений список точок, задаємо параметри антени при роботі з GPS приймачем

(висоту опорної точки антени (ARP)). Якщо необхідно почати винос точок в натуру з кінця списку, то помічаємо поле **Stakeout in Reverse Order** (Виносити в зворотному порядку). Щоб змінити порядок винесення точок довільним чином, використовуємо кнопки зі стрілками. Після цього натискаємо **Stakeout** (Почати винесення), показано на рис. 10.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Проведений аналіз показав, що традиційна методика винесення точок проекту геодезичної мережі не зможе у повному обсягу задовольнити потреби користувачів щодо швидкості виконання такого виду геодезичних робіт. Запропонована і перевірена в польових умовах методика розмічувальних геодезичних робіт із винесення пунктів геодинамічного полігону на місцевість в складних умовах будівельного майданчика із використанням GPS приймача дозволяє вибрати найбільш раціональний і сучасний спосіб вирішення проблем і задач винесення пунктів проекту на місцевість та засвоїти нові практичні навички.

Список літератури

1. Паранько І.С. Кривий Ріг – потенційна зона виникнення техногенно-природних і техногенних надзвичайних ситуацій / І.С. Паранько, Г.Я. Смирнова, О.В. Іванова // Геолого-мінералогічний вісник. – 2005. – № 1. – С. 5–9.
2. Гірничий енциклопедичний словник, т. 1 / За загальною редакцією В.С. Білецького. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2001. – 512 с.
3. Куликовская О.Е. Современные движения земной поверхности и их учет при строительстве и эксплуатации Криворожского горнообогатительного комбината окисленных руд: Дисс. канд. техн. наук: 05.24.01 / Криворожский горнорудный ин-т. – Кривой Рог, 1993. – 253 с.
4. Батугин А.С. Совершенствование методов оценки геодинамического состояния блочного массива горных пород в целях повышения экологической безопасности освоения недр и земной поверхности: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 25.00.36. – Москва, 2008. – 42 с.
5. Батугина И.М. Геодинамическое районирование месторождений при проектировании и эксплуатации рудников / И.М. Батугина, И.М. Петухов. – М.: Недра, 1988. – 166 с.
6. Бедров А.А. Современная аномальная геодинамика недр – новый фактор экологического и страхового риска / А.А. Бедров, Ю.О. Кузьмин // Страховое дело. – 1997. – №3. – С. 28–33.
7. Островський А. Л. Деякі питання створення геодинамічних полігонів і наукових досліджень на них / А.Л. Островський, П.О. Романишин, П.П. Шпаківський // Вісник геодезії та картографії. – 1996. – №1. – С. 16–24.
8. Павлив П.В. Проблемы изучения современных движений земной коры // П.В. Павлив, Т.В. Радько, В.И. Сомов. – К: Наукова думка, 1977. – 168 с.
9. Черняга П. Г. Вибір місць закладання геодезичних знаків на геодинамічних полігонах АЕС/ П.Г. Черняга // Вісник геодезії та картографії. – 1998. – №4 (11). – С. 14–17.
10. Третяк К. Р. Деякі питання оптимізації навігаційних GPS-вимірів / К.Р. Третяк, Д. М. Турук, В.І. Мандзюк, А.А. Мороз // Збірник наукових доповідей четвертого науково-технічного симпозиуму. Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища GPS і GIS-технології. – Львів. – 1999. – С. 37–45.
11. Літнарочич Р.М. Порівняльний аналіз точності елементів суцільних і несучільних спостережень триангуляції / Р.М. Літнарочич, М.І. Кравцов, П.П. Яроцький // Інженерна геодезія. – 2002. – Вип. 47. – С. 83–89.
12. Клим С.А. Оцінка та підвищення точності геометричного нівелювання / С.А. Клим, В.М. Новосад, П.Г. Черняга // Вісник Рівненського державного технічного університету. – Вип. №2(4). – 2000. – С. 257–267.
13. Черняга П.Г. Розрахунок оптимальних частот та тривалості циклів повторних вимірювань на ГДП АЕС / П.Г. Черняга // Інженерна геодезія. – 1998. – Вип. 40. – С. 215–219.
14. Сайт компанії Геотоп [Електронний ресурс]. – Режим доступу до джерела: <http://centr-geodezii.ru/inform/o-geodezii/geodezicheskie-razbivochnye-raboty/sposoby-razbivochnykh-rabot.html>.
15. Торсон [Електронний ресурс]. – Режим доступу до джерела: <http://www.tnt-tpi.com>.

Рукопис подано до редакції 17.04.15

УДК 622.012.2: 622.87

В.Д. АФАНАСЬЄВ, канд. техн. наук, О.В. ГНЕННА, аспірантка
Криворізький національний університет

ОЦІНКА РИЗИКІВ ВІД КОМПЛЕКСНОЇ ДІЇ ШКІДЛИВИХ ФАКТОРІВ

Представлено дані, про величини інтенсивності від дії шкідливих фізичних факторів та характеру праці для ряду професій працівників шахт Кривбасу. Розглянуто питання встановлення еквівалентності дії шкідливих факторів під час порівняння інтенсивності дії різних показників, які представляються в абсолютних величинах (разах) та у відносних величинах (дБ; дБА; дБV). Оцінка ризиків від дії шкідливих факторів базується на аналізі даних про величини перевищення їх величин над гранично-допустимих значень для основних професій під час підземного добутку корисних копалин. Такий аналіз виконано на основі даних атестації робочих місць з умов та характеру праці Криворізьких шахт та шахти «Нова» м. Жовті Води. Для можливості оцінки інтенсивності різних факторів, величини яких представлені в абсолютних величинах (рази) та у відносних величинах (дБ) виконано переведення (дБ) у рази з урахуванням їх відповідності згідно Гігієнічної класифікації умов праці та введення вагових коефіцієнтів на основі співвідношення числа захворювань від дії фіброгенного пилу, як базового шкідливого фактора та інших шкідливих факторів. Проведено вивчення даних щодо ймовірності виникнення захворювань від дії пилу та шуму з урахуванням інтенсивності їх дії та стажу роботи. Наведено перевищення для цих шкідливих факторів в діапазоні значень $P(I)$ від 0,2 до 0,8. Дана методика дає змогу встановлення безпечного стажу роботи (в роках) для працівників основних професій при підземному видобутку корисних копалин, а також розроблення пропозицій щодо продовження професійного та загального життєвого циклу для працівників із найбільш шкідливими умовами праці. Це дозволить підвищити рівень професійного здоров'я працівників і, як наслідок, знизити рівень професійної захворюваності на гірничих підприємствах.

Ключові слова: ймовірність професійних захворювань, інтенсивність шкідливих факторів, комплексна дія шкідливих факторів, базовий шкідливий фактор, пил фіброгенної дії, ризик професійного захворювання.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Розширення промислового виробництва та його інтенсифікація вимагає розробки методів об'єктивної оцінки його впливу на працівників як на протязі його професійної діяльності, так і після.

До таких робіт з розробкою методик оцінки ризиків відносяться методики FMEA та методика RPS [1], але дані методики відносяться до суб'єктивних і вимагають залучення значної кількості спеціалістів в різних галузях виробництва, розробки методики оцінки думок експертів. Використання поняття ймовірності та вираження його в балах протиріччя визначенню, прийнятому в гігієнічній класифікації та такій, що використовується в системі охорони праці та теорії ймовірності.

Аналіз досліджень і публікацій. Так, згідно методики FMEA, яка відноситься до суб'єктивних методів оцінка ризику в системі управління охороною праці (СУОП) визначається через ступінь пріоритетності (СПР) у вигляді

$$\text{СПР} = 3 \cdot O \cdot D, \quad (1)$$

де 3 - серйозність наслідків від дії шкідливих факторів, бал; O - ймовірність виникнення ризику, бал; D - можливість виявлення та реагування на ситуацію, бал.

Залежно від значення СПР ризику класифікуються за рівнем важливості на низьку ($\text{СПР} = 1-50$), допустиму ($R = 51-100$) та недопустиму ($\text{СПР} > 151$).

Згідно методики RPS оцінка ризику виконується згідно виразу

$$R = P \cdot S, \quad (2)$$

де R – ризик, бал; P – ймовірність виникнення шкідливої дії факторів, бал; S – серйозність наслідків від дії шкідливих факторів, бал.

При наявності статистичних даних ймовірність P визначається через кількість випадків за певний час. Виходячи із значень P та S ризик R класифікується на низький ($R < 6$), помірний ($6 < R < 12$) та суттєвий ($R > 12$).

Згідно бального методу оцінки, який включає в себе оцінку базового ризику та оцінку залишкового ризику, оцінка ризику виконується згідно виразу [2]

$$P = B \cdot \Pi \cdot B_p, \quad (3)$$

де P - величина ризику; B - оцінка серйозності наслідків; Π - оцінка тривалості впливу небезпеки; B_p - оцінка ймовірності небезпеки.

Оцінка значущості ризику P класифікується на незначний ($P \leq 100$), низький ($100 < P \leq 1000$), середній ($1000 < P \leq 2000$), високий ($2000 < P \leq 4000$), дуже високий ($P > 4000$).

Постановка завдання. Оскільки оцінка ризиків на виробництвах та існуючі методики щодо оцінки ризиків є суб'єктивними методами, необхідно провести дослідження, які б дозволили більш об'єктивно оцінювати ризики від шкідливої дії виробничих факторів.

Викладення матеріалу та результати. Оцінка ризиків від дії шкідливих факторів базується на аналізі даних про величини перевищення їх величин над гранично-допустимих значень для основних професій під час підземного видобутку корисних копалин. Такий аналіз виконано на основі даних атестації робочих місць з умов та характеру роботи Криворізьких шахт та шахти «Нова» м. Жовті Води. Вимірювання та дослідження проведені санітарною лабораторією інституту НДІБПГ КНУ [3]. Результати опрацювання таких даних наведено в табл. 1

Таблиця 1

Перевищення шкідливих факторів (в разях) на робочих місцях в підземних умовах

Робоче місце	Шкідливі фактори				
	пил	шум	вібрація	тяжкість	вологість
Прохідник	4-6	6-8	1,5-2,0	1,2-1,7	1,1-1,2
Бурильник	3-4	6-8	2,0-3,0	1,5-1,7	1,2-1,25
Гірник підземний	1,5-2,5	5-6	-	1,2-1,3	1,16-1,2
Підривник	2-6	1,5-2	-	1,2-1,3	1,05-1,13
Кріпильник	2-3	6-8	-	1,2-1,9	1,05-1,2
Люковий	1,5-2	5-6	-	1,1-1,8	1,1-1,13
Машиніст бурової установки	4-6	5-6	1,5-2,0	1,1-1,2	1,2-1,22
Машиніст навантажувальної машини	1,5-2,5	5-6	2,0-3,0	-	1,0-1,10
Машиніст електровозу	1,5-2,5	4-5	1,5-2,0	-	1,03-1,2
Перекидувач	2-2,5	5-6	-	1,1-1,2	1,2-1,3
Електрогазозварювальник	2-3	4-5	-	1,1-1,2	1,02-1,07

Примітка. Швидкість повітря знаходиться в межах 0,2-0,75 м/с і не перевищує гранично-допустимі. Напруженість, як фактор ризику за власне життя відноситься до 2 класу.

Дані, які наведено в табл. 1, показують, що до найбільш шкідливих факторів, які при їх комплексній дії обумовлюють найбільший ризик професійних захворювань, віднесено: пил фіброгенної дії, шум, вібрацію, тяжкість (перенесення предметів підвищеної ваги).

Результати аналізу показують, що перевищення пилу фіброгенної дії над допустимим значенням знаходяться в межах 1,5-8 разів, шуму - 6-8 разів, вібрації - 1,5-3,0 рази, тяжкість праці - 1,1-1,9 рази. Посилуюча дія ряду із цих факторів обумовлена також напруженістю, як фактор ризику за власне життя та вологістю перевищення якої в 1,05-1,3 рази більше [4-5] допустимі.

Для можливості оцінки інтенсивності різних факторів, величини яких представлені в абсолютних величинах (рази) та у відносних величинах (дБ) виконано переведення (дБ) у рази з урахуванням їх відповідності згідно Гігієнічної класифікації умов праці та введення вагових коефіцієнтів на підставі співвідношення числа захворювань від дії фіброгенного пилу, як базового шкідливого фактора та інших шкідливих факторів.

Дані для встановлення еквівалентності дії шкідливих факторів, при визначенні інтенсивності (в дБ та рази) наведено в табл. 2

Таблиця 2

Порядок встановлення відповідності між визначенням інтенсивності дії шкідливих факторів в разях та дБ

	Ступені шкідливості							
	3.1	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	4
Рівні звукового тиску, дБ	80,1-85	85,1-90	90,1-95	95,1-100	100,1-105	105,1-110	110,1-115	>115,1
Пил фіброгенної дії, рази	1,1-2,0	2,1-4	4,1-6	6,1-8,0	8,1-10	10,1-12	12,1-14	>14,1
Інтенсивність, дБ	0,1-5	5,1-10	10,1-15	15,1-20	20,1-25	25,1-30	30,1-35	>35,1
Ваговий коефіцієнт 0,73	0,08-1,45	1,46-3,0	3,1-4,4	4,5-5,8	5,9-7,3	7,4-8,8	8,9-10	>10,1
Інтенсивність, дБ	0	5	10	15	20	25	30	35
Інтенсивність, разів	1	1,45	3,0	4,4	5,8	7,3	8,8	10

На основі даних, поданих в табл. 2 та враховуючи дані про співвідношення кількості працівників, які отримали професійні захворювання від дії в комплексі фіброгенного пилу, шуму,

вібрації, тяжкості праці представлено один з показників ризику професійних захворювань у вигляді

$$I = k \cdot I_1 + \sum (\kappa_i \cdot I_i) / n, \quad (4)$$

де I - інтенсивність діючих шкідливих факторів, рази; $k=1$ - ваговий коефіцієнт для найбільш шкідливого виробничого фактора; I_1 - величина перевищення над ГДВ найбільш шкідливого виробничого фактора, рази; κ_i - вагові коефіцієнти шкідливих факторів, які підвищують шкідливість основних факторів; I_i - величини інтенсивності додаткових шкідливих факторів, рази; n - кількість додаткових факторів.

Значення вагових коефіцієнтів κ_i отримані на основі вивчення даних про захворюваність працівників під час роботи в підземних умовах за різні періоди часу – від 25 до 10 років.

Проведено вивчення даних щодо ймовірності виникнення захворювань від дії пилу та шуму з урахуванням інтенсивності їх дії та стажу роботи.

Наведено перевищення для цих шкідливих факторів в діапазоні значень $P(I)$ від 0,2 до 0,8.

Значення зростання ймовірності захворюваності за рахунок посилюючої дії інших шкідливих факторів подано у вигляді

$$\Delta P(I) = 0,1 \cdot \Delta I \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (5)$$

де кут α - визначається з урахуванням середньої величини зростання інтенсивності від комплексної дії шкідливих факторів.

Графік для визначення величини $\Delta P(I)$ наведено на рис. 1.

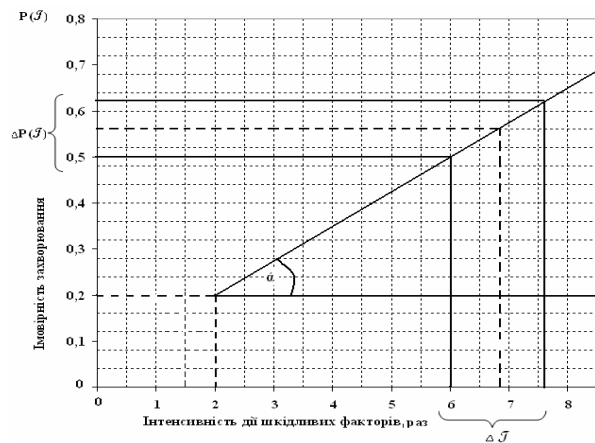


Рис. 1. Графік для визначення $\Delta P(I)$ для різних професій при встановленій величині кута α по даним середнього зростання інтенсивності ΔI від комплексної дії шкідливих факторів

Дані про вагові коефіцієнти K_i для ряду професій таких як прохідник, бурильник, гірник підземний, підричник, кріпильник, люковий наведено в табл. 3.

Таблиця 3
Визначення коефіцієнтів K та K_i

Вид професійних захворювань	Кількість хворих		Шкідливі фактори	Вагові коефіцієнти
				$K; K_i$
Пневмокозіоз	627	Σ2389	пил фіброгенної дії	1,0
Хронічний пиловий бронхіт	1762			
Захворювання опорно-рухового апарату	1297		шум	0,54
Неврит слухового нерву	1211		вібрація	0,51
Вібраційна хвороба	801		тяжкість вологість	0,34

Для випадку дії пилу фіброгенної дії, як базового шкідливого фактора, в комплексі основних та усугубляючих факторів, прийнято $K=1$ для пилу та K_i , як пропорційні величини відносно кількості захворювань від дії пилу.

Розраховано значення I для максимальних параметрів шкідливих виробничих факторів, представлені в табл. 4.

З метою використання одного із показників ризику I (інтенсивність шкідливих факторів) розглянуто дані про імовірність захворювання від дії окремих шкідливих факторів.

Використовуючи формулу (5), розраховано величини ΔI та I , які дозволяють визначити величину $\Delta P(I)$, табл. 5

Визначення показника інтенсивності факторів I

Робоче місце	Пил, m	Шум, вібрація, тяжкість, вологість, m_i	I
	I_1	ΔI	I_2
Прохідник	6,0	1,60	7,60
Бурильник	4,0	1,67	5,67
Гірник підземний	2,5	1,54	3,04
Підривник	6,0	0,84	6,84
Кріпильник	3,0	1,91	4,91
Люковий	2,0	1,55	3,55
Машиніст бурової установки	6,0	1,26	7,26
Машиніст навантажувальної машини	2,5	1,56	4,06
Машиніст електровозу	2,5	1,29	3,79
Перекидувач	2,5	1,47	3,97
Електрогазозварювальник	3,0	1,26	4,26

Таблиця 5

Визначення величини збільшення ймовірності захворювання від дії додаткових шкідливих факторів

Професія	I_1	ΔI	I_2	$P_1(I)$	$\Delta P(I)$	$P_2(I)$	tg α
Прохідник	6,0	1,10	7,60	0,45	0,20	0,65	69
Бурильник	4,0	1,67	5,67	0,25	0,20	0,45	56
Гірник підземний	2,5	1,54	3,04	0,12	0,09	0,21	57
Підривник	6,0	0,84	6,84	0,45	0,06	0,51	88
Кріпильник	3,0	1,90	4,90	0,15	0,17	0,32	47
Люковий	2,0	1,55	3,55	0,10	0,08	0,18	56

Висновки та напрямок подальших досліджень: Дана методика дає змогу встановлення безпечного стажу роботи (в роках) для працівників основних професій при підземному видобутку корисних копалин, а також розроблення пропозицій щодо продовження професійного та загального життєвого циклу для працівників із найбільш шкідливими умовами праці. Це дозволить підвищити рівень професійного здоров'я працівників і, як наслідок, знизити рівень професійної захворюваності на гірничих підприємствах.

Список літератури

1. Методические рекомендации. Системы управления охраной труда. Порядок проведения работ по оценке рисков в области охраны труда. - Минск, 2012.
2. Открытое Акционерное Общество «Южный горно-обогатительный комбинат». Порядок оценки рисков. Кривой Рог ПОТ 02.00 -2011.
3. Проведення атестації робочих місць за умовами праці. Затверджений постановою Кабінету Міністрів від 1 серпня 1992 року №442
4. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості і небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу № 528 від 27.12.2001 р.
5. Методические рекомендации. Системы управления охраной труда. Порядок проведения работ по оценке рисков в области охраны труда./ Минск, 2006.
6. Dhillon.B.S. Mine safety // A Modern Approach. Ottawa, Ontario, March 2010.
7. О профилактике профессиональных заболеваний на предприятиях горно-металлургического комплекса / русская газета №5 (031) 2005 г.
8. Український НДІ промислової медицини/ Збірник статистичних матеріалів з професійної захворюваності працівників гірничо-металургійного комплексу України за 1998 рік // Кривий Ріг, 1999. – 87с.
9. Криворожский НИИ гигиены труда и профзаболеваний. Анализ професіональной заболеваемости рабочих металлургической и горнодобывающей промышленности Украины за 1992 год и рекомендации по ее профилактике. - Кривой Рог, 1993 год – 76 с.
10. Муртонен М. Оценка рисков на рабочем месте - практическое пособие. / М. Муртонен // Тампере, 2007 (Опыт Финляндии. Субрегиональное бюро МОТ для стран Восточной Европы и Центральной Азии – Москва, 2007.
11. Зайдель А.И. Элементарные оценки ошибок измерений. // Изд. 2 исправл. и доп. Л., «Наука», Ленинградское отд., 1967 год – 87с.
12. Гриневич Е.В. / Сб. трудов: О применении критерия риска при оценке оборудования // Сб. трудов: По проблемам охраны труда в условиях ускорения научно-технического прогресса. Часть I. Москва, 1988. – С. 53-54.

Рукопис подано до редакції 12.03.15

УДК 621.51: 622.44

М.В. КІЯНОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., О.В. БОНДАР, ст. викладач
Криворізький національний університет

ВПЛИВ ЗМІЩЕННЯ ГОЛОВНОЇ ОСІ ІНЕРЦІЇ АГРЕГАТУ НА РЕСУРС ОПОР КОЧЕННЯ СТАЦІОНАРНИХ ГІРНИЧИХ МАШИН

Встановлено, що фактичні терміни експлуатації стаціонарних гірничих машин (СГМ) в 4-10 разів менше проектного. У дослідженнях розкрита закономірність скорочення ресурсу опор кочення стаціонарних гірничих машин при зміні головного вектора дисбалансу робочого органу від впливу експлуатаційних факторів. Проведено розрахунки величини додаткових навантажень від дії неконтрольованих експлуатаційних дефектів. Зроблено аналіз впливу робочих навантажень, статичної та динамічної невірноваженості робочого органу на ресурсні характеристики опор машини. Виконано аналіз впливу робочих навантажень та статичної невірноваженості робочого органу на ресурсні характеристики опор кочення СГМ при симетричному навантаженні ротора (варіант абсолютно жорстких опор). Встановлено недостатню ефективність існуючих методів діагностики СГМ роторного типу. Виявлено, що в розрахунках ігноруються просторові коливальні рухи ротора. Зафіксоване значне осьове навантаження на опори СГМ яке впливає на стійкість осі обертання робочого органу машини та призводить до виникнення динамічного розцентрування. Цей факт є джерелом формування додаткових динамічних навантажень, що пояснює низькі ресурсні показники СГМ роторного типу. Відповідно до чинної методики підбір підшипників кочення ведеться без урахування динамічних дій дисбалансів. Невраховане в розрахунку додаткове навантаження скоротить термін служби підшипників в s разів, що адекватно збільшенню їх навантаження в $s^{0.3}$ раз. Ресурсні характеристики СГМ повинні уточнюватись на підставі діагностичного моніторингу навантажень впродовж експлуатації для оперативного запобігання скороченню ресурсу засобами ТОіР. Подальші дослідження повинні визначити вплив косиметричних дисбалансів робочого органу на інтенсивність спрацювання опор, що характерно для моментного та динамічного невірноваження робочого органу, особливо для роторних СГМ консольного типу: насоси збагачувальних виробництв, односекційні шахтні насоси, димососи, ексгаустери, вентилятори та інші.

Ключові слова: ротор, опора, коливання, дисбаланс, навантаження, спрацювання, ресурс.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Експлуатація стаціонарних гірничих машин (СГМ) свідчать, що фактичні терміни експлуатації в 4-10 разів менше проектного [1,2]. Це викликає значні експлуатаційні витрати, порушення сталості виробничих процесів. Факти скорочення ресурсу підшипникових опор СГМ обумовлюють задачу теоретичного пояснення процесів їх спрацювання для розробки адекватних регламентів технічного обслуговування та ремонтного відновлення.

Аналіз досліджень та публікацій. Серед процесів втрати працездатності опор роторних машин переважають процеси накопичення пошкоджень у виді механічного, абразивного та втомного зношення. Відповідно до класичної теорії зношення інтенсивність спрацювання робочої поверхні пропорційна питомому навантаженню p та відносній швидкості руху поверхонь v , що утворюють пару тертя $\lambda = kp^m v^n$ [3], що вимагає контролю неперевикнення названих параметрів у експлуатації.

В процесах експлуатації обладнання переважно контролюють правильність монтажних налаштувань установки, центрування, залишкових дисбалансів робочих органів, радіальних та осьових зазорів, роботи систем змащення, режими та рівень виробничих навантажень [4-7] дотримання виконання заходів технічного обслуговування та графіків проведення поточних та капітальних ремонтів. Незважаючи на ретельність виконання всіх регламентів експлуатації досягти проектних значень надійності СГМ не вдається. Це збільшує кількість непланових ремонтів, величину експлуатаційних витрат, резервування СГМ у виробничих системах гірничого виробництва [8,9].

Постановка завдань. Для побудови регламентів експлуатації адекватним інтенсивності процесів спрацювання СГМ потрібно, з врахуванням характеру впливу названих факторів, знайти теоретичне пояснення причинам різкого зниження ресурсу опор СГМ, потрібно визнати їх непереборність чи встановити заходи їх здолання в регламентах експлуатації. Обґрунтувати рівень експлуатаційних витрат та нормування обсягів запасних частин та ремонтно-відновлювальних ресурсів.

Викладення матеріалу та результати. Будь який промисловий агрегат роторного типу і в тому числі СГМ готується до експлуатації з перевіркою технічних параметрів переважно у ста-

тиці (балансування, центрування, монтажні налагодження, готовність систем змащення, контролю, захисту та інші) [10, 11]. Цей процес зображено на рис.1 на прикладі шахтного компресора К-500-61-1.

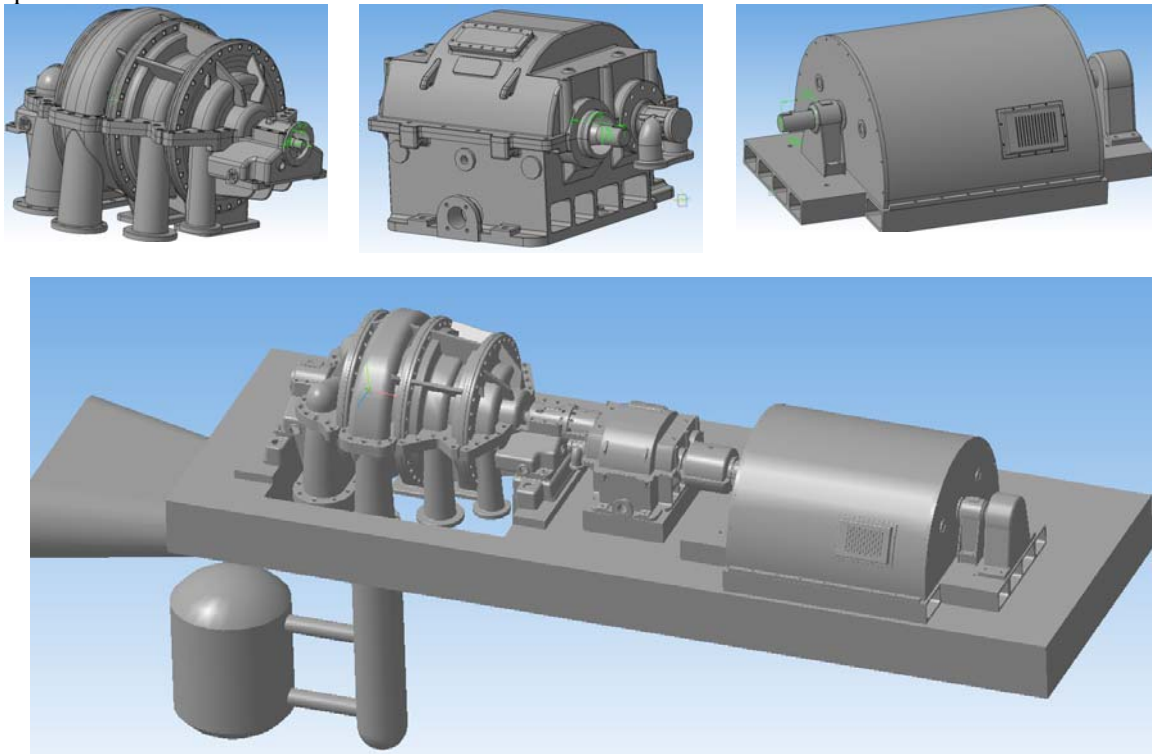


Рис. 1. Приклад підготовки до експлуатації повітряного компресора

При експлуатації під впливом неспіввідності опор валів, різниці у величині зазорів в опорах валів, різниці у фактичних значеннях податливості опор валів та корпусів машин агрегату відбувається динамічне розцентрування агрегату за різними схемами [12, 13].

Це формує нові умови навантаження на опори відповідно рис. 2, що не передбаченні жодними проектними розрахунками.

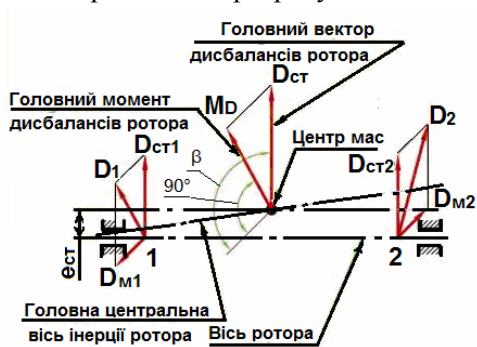


Рис. 2. Умови навантаження опор робочого органу СГМ під впливом експлуатаційних факторів [14]

Під дією названих факторів відбувається зміщення центра мас робочого органу, відхилення центральної осі інерції від осі обертання валу, зростає величина головного вектора дисбалансу, відхилення головного моменту дисбалансів ротора із створенням неконтрольованих осьових навантажень.

З урахуванням характеру впливу названих факторів та задачі знайти теоретичне пояснення причинам різкого зниження ресурсу опор СГМ потрібно з'ясувати ступінь і характер зростання навантажень на опори СГМ і їх відповідність проектним значенням.

Поставлена задача має різні рішення для опор кочення і опор ковзання при різних видах експлуатаційної невірності ротора, режимів навантаження, податливості елементів машини.

Виконаємо аналіз впливу робочих навантажень та статичної невірності робочого органу на ресурсні характеристики опор кочення СГМ при симетричному навантаженні ротора (варіант абсолютно жорстких опор).

Допускаючи, що умови проектування, виготовлення, експлуатації дотримані, при використанні за призначенням СГМ зростає вплив факторів спрацювання, які обумовлюють наявність радіального відхилень осі опор щодо головної центральної осі інерції ротора (див. рис. 2).

Нехтуючи пружними реакціями ротора можна розглядати паралельний зсув осі такого ротора щодо його головної центральної осі інерції, як суму дефектів статичного центрування та дефектів опор.

У першому випадку при розвитку дефектів статичної невірноваженості робочого органу від експлуатаційного зростання зазорів у підшипникових вузлах абсолютно жорсткі опори примушують ротор обертатися вже навколо іншої осі ротора, не співпадаючої з його головною центральною віссю інерції.

Унаслідок цього ротор стане в загальному випадку статично невірноваженим, тобто порушується умова (1) і (2), що робочий орган СГМ при сталості зовнішніх сил, що обертається з постійною кутовою швидкістю навколо однієї зі своїх головних центральних осей інерції, знаходиться в стані динамічної рівноваги, яка характеризується рівністю нулю суми всіх невірноважених сил і суми всіх моментів цих сил [12]

$$\sum \bar{F}_i = \sum m_i \cdot \bar{r}_i \cdot \omega^2 = m_{rot} \cdot \bar{e}_{st} \cdot \omega^2 = 0 \quad (1)$$

$$\sum \bar{M}_i = \sum [\bar{l}_i \cdot \bar{F}_i] = \sum [\bar{l}_i \cdot \bar{r}_i] \cdot \omega^2 = 0 \quad (2)$$

де \bar{r}_i - ексцентриситет i -ї маси m (м); m_{rot} - маса ротора (кг); e_{st} - ексцентриситет (м); ω - кутова швидкість (рад/с).

У разі збільшення ступеню невірноваженості на опори діють додаткові сили (3), тоді

$$\sum \bar{F}_i = m_{rot} \cdot \bar{e}_{st} \cdot \omega^2 \neq 0 \quad (3)$$

В експлуатації СГМ регламентовані значення e_{st} практично завжди перевищенні через що спричиняються додаткові динамічні навантаження від дії дисбалансів ротора, і як наслідок, відбувається зменшення терміну їх служби підшипникових опор в s разів (4) [15]

$$s = \left(\frac{m_{rot} \cdot e_{std} \cdot \omega^2}{2 \sum Q_{AB}} + 1 \right)^{3.33} = \left(\frac{K}{2} + 1 \right)^{3.33} \quad (4)$$

де Q_{AB} - сила від дії навантажень (Н).

Цей висновок пояснює причину зафіксованого в проведених дослідженнях різкого скорочення ресурсу підшипникових опор СГМ (в нашому варіанті тільки з симетричним навантаженням опор).

Для визначення додаткових сил [15] від ефекту статичної невірноваженості, що діють на опори, використовують поняття головний вектор дисбалансів ротора (5) шляхом ділення рівняння (3) на ω^2

$$\frac{\sum \bar{F}_i}{\omega^2} = \sum \bar{D}_i = m_{rot} \cdot \bar{e}_{st} = \bar{D}_{st} \neq 0 \quad (5)$$

де \bar{D}_{st} - головний вектор дисбалансів ротора.

Для дослідження впливу додаткових навантажень на ресурс опор СГМ допустимо, що незбалансований абсолютно твердий ротор обертається з постійною кутовою швидкістю ω навколо горизонтальної осі на двох абсолютно жорстких опорах.

Ці опори A і B сприймають постійні по величині і напрямку сили $\bar{Q}_{AB} = \bar{G}_{AB} + \bar{P}_{AB}$ (сума вагового навантаження \bar{G}_{AB} на опору і радіальною компоненти \bar{P} від робочих коліс) і невірноважені сили від дисбалансів ротора $\bar{D}_{AB} \cdot \omega^2$ в площинах опор A і B , постійні по величині, але змінні за напрямом, оскільки вектори сил $\bar{D}_{AB} \cdot \omega^2$ обертаються разом з ротором.

Для ротора з абсолютно твердого матеріалу і при абсолютно жорстких опорах це приведе до коливання його цапф з частотою обертання ротора щодо геометричних центрів підшипників.

У зв'язку з тим, що зростання додаткових навантажень викликають непропорційну інтенсивність спрацювання розглянемо співвідношення (6) яке називаються коефіцієнтами дисбалансу для відповідних опор A і B

$$\left(\bar{D}_{AB} \cdot \omega^2 \right) / Q_{AB} = K_{AB} \quad (6)$$

За цих умов зменшення терміну служби підшипникових опор s відповідно виразу (4) може мати різні значення залежно від значення коефіцієнту дисбалансу.

Коли $K_{AB} < 1$, підшипники працюють по першому режиму вантаження. При такому K_{AB} ротор з абсолютно твердого матеріалу обертається навколо своєї осі і вектори невірноважених (динамічних) сил в опорах $\bar{D}_{AB} \cdot \omega^2$ обертаються разом з ним. Завдяки цьому сумарний вектор \bar{R}_{AB} сил, що діють на опору, змінюватиметься, наприклад, при $K_{AB}=0,5$ в інтервалі $0,5\bar{Q}_{AB} < \bar{R}_{AB} < 1,5\bar{Q}_{AB}$ з частотою обертання ротора ω .

Це викличе розгойдування цапфи з частотою обертання ротора в межах кута 2α . При коефіцієнті дисбалансу $K_{AB} < 1$ відбувається односторонній знос підшипника і рівномірний по колу знос цапфи. При першому режимі вантаження ротор притискається до опор з силою Q_{AB} , значення якої міняється від Q_{ABmin} до Q_{ABmax} по синусоїдальному закону, причому $Q_{ABmax} - Q_{ABmin} = 2D_{AB} \cdot \omega^2$ дорівнює подвоєній амплітуді синусоїди або її висоті.

Центр тяжіння площі синусоїди розташований на висоті $0,75$ її амплітуди $\bar{D}_{AB} \cdot \omega^2$ над лінією Q_{AB} , що обмежує Q_{ABmin} .

Еквівалентні навантаження на підшипники з урахуванням дії дисбалансів в опорах для певної кутової швидкості обертання ω ротора визначаються так

$$Q_{ABek} = Q_{ABmin} + 2 \cdot 0,75 \cdot D_{AB} \cdot \omega^2 = Q_{ABmin} + 1,5 \cdot D_{AB} \cdot \omega^2, \quad (7)$$

що перевищує $Q_{AB} = Q_{ABmin} + D_{AB} \cdot \omega^2$ на $0,5D_{AB} \cdot \omega^2$.

Відповідно до чинної методики підбір підшипників кочення ведеться по навантаженнях Q_{AB} (без урахування динамічних дій дисбалансів) по коефіцієнту працездатності підшипників кочення

$$C_{AB} = Q_{AB} \cdot (k_1 k_2 \dots) \cdot (nh)^{0,3}, \quad (8)$$

де n - частота обертання ($хв^{-1}$); h - число годин роботи; k_1, k_2 - коефіцієнти, що визначають умови роботи підшипника.

Невраховане в такому розрахунку $0,5D_{AB} \cdot \omega^2$ (додаток навантаження) скоротить термін служби підшипників в s разів, що адекватно збільшенню їх навантаження в $s^{0,3}$ рази

$$\Sigma Q_{ABek} = s^{0,3} \Sigma Q_{AB} + \Sigma Q_{AB} + 0,5D_{AB} \cdot \omega^2 \quad (9)$$

Прийнявши середнє значення коефіцієнта дисбалансу ротора $K = (m_{rot} \cdot e_{st} \cdot \omega^2) / (\Sigma Q_{AB})$ знайдемо з (6), що $K = 2(s^{0,3} - 1)$.

Якщо $K_{AB} = 1$, то підшипники працюють по другому режиму навантаження. В цьому випадку

$$R_{AB} = 2D_{AB} \omega^2 \cos^2 \frac{\omega}{2} t, \text{ де } t - \text{ час.}$$

При $K=1$ сила R притискає цапфу до підшипника, поки центр цапфи знаходиться нижчим за горизонтальний діаметр підшипника, і відриває цапфу від підшипника, коли центр цапфи піднімається вище.

Після відриву цапфа рухається по кривій (рис. 2), до зіткнення з підшипником і притискання до нього.

Далі процес повторюється. Частота ударів рівна частоті обертання ротора.

Робота машин з такими ударами приводить до руйнування підшипників значно раніше їх зносу.

Досвід показує, що такий режим роботи настає вже поблизу $K=1$.

При $K_{AB} > 1$ підшипники працюють по третьому режиму вантаження. Якщо $K > 1$, то цапфа весь час притиснута до підшипника і по ньому ковзатиме однією і тією ж стороною.

У цьому випадку в підшипнику відбуватиметься односторонній знос цапфи, що призводить до подальшого збільшення K і нерівномірному зносу підшипника по колу.

З усіх трьох режимів навантаження для підшипників кочення допустимий лише перший і третій.

Одне із завдань ТОіР - забезпечити ці умови роботи для кожного підшипника.

У загальному випадку коефіцієнти дисбалансу різні для кожного підшипника опор A і B .

Враховуючи складність теоретичного визначення значення коефіцієнтів K_{AB} для реальних машин, ресурсні характеристики СГМ повинні уточнюватись на підставі діагностичного моніторингу навантажень впродовж експлуатації для оперативного запобігання скороченню ресурсу засобами ТОіР.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Відповідно до чинної методики підбір підшипників кочення ведеться по навантаженнях Q_{AB} (без урахування динамічних дій дисбалансів) по коефіцієнту працездатності підшипників кочення C_{AB} (8).

Невраховане в такому розрахунку $0,5 \cdot \bar{D}_{AB} \cdot \omega^2$ (додаток навантаження) скоротить термін служби підшипників в s разів, що адекватно збільшенню їх навантаження в $s^{0,3}$ рази.

Встановлено зменшення терміну їх служби підшипникових опор СГМ під дією експлуатаційних факторів s разів, де s знаходиться за виразом (4).

З усіх трьох режимів навантаження для підшипників кочення допустимий лише перший і третій. Одне із завдань ТОіР - забезпечити ці умови роботи для кожного підшипника.

У загальному випадку коефіцієнти дисбалансу різні для кожного підшипника опор A і B .

Враховуючи складність теоретичного визначення значення коефіцієнтів K_{AB} для реальних машин, ресурсні характеристики СГМ повинні уточнюватись на підставі діагностичного моніторингу навантажень впродовж експлуатації для оперативного запобігання скороченню ресурсу засобами ТОіР.

Подальші дослідження повинні визначити вплив кососиметричних дисбалансів робочого органу на інтенсивність спрацювання опор, що характерно для моментного та динамічного невірноваження робочого органу, особливо для роторних СГМ консольного типу: насоси збагачувальних виробництв, односекційні шахтні насоси, димососи, ексгаустери, вентилятори та інші.

Список літератури

1. Александров А.М. Динамика роторов / А.М.Александров, В.В. Филиппов; под. ред. А.И. Кобрин. - М.: Изд-во МЭИ, 1995. - 132 с.
2. Кіяновський М.В., Бондар О.В. Дослідження впливу експлуатаційних факторів на працездатність гірничого обладнання // Вісник КТУ – Кривий Ріг, 2010. - Вип.25 - с. 195-198.
3. Кіяновський М.В., Бондар О.В. Визначення величини скорочення ресурсу опор ковзання роторних машин від впливу експлуатаційних дефектів // Вісник ПолтНТУ – Полтава, 2014. - Вип.2(41) - с. 372-375.
4. Русов В.А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам. - Пермь, 2012. – 198 с.
5. Рунов Б.Т. Исследование и устранение вибрации паровых турбоагрегатов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 352 с.
6. Surveillance des machines par analyse des vibrations: Du depistage au diagnostic/ Boulenger A., Pachaud C. –2e tirage. –Paris: AFNOR, 1998. –8, 213 p.
7. Vibration and wear in high speed rotating machinery. –Dordrecht etc: Kluwer Acad., 1990. –6, – 852 p. Vol. 174.
8. Vibration dampes for cryogenic turbomachinery./A. Palozzolo, A. Kascak, E. Olan, S. Ibrahim. –New York, 1990. – 9 p.
9. Vibrations / W. Bogus, Z. Dzygadło, D. Rogula. Et al. – wars zawa: PWN; Dordrecht et all.; Kluwer acad. publ., - 13, 1992. – 488 p.
10. Wavelets for mechanical and structural damage identification/ Staszewski W. J. –Gdansk, 2000. – 175 p.
11. Савин Л.А. Исследование динамики системы "ротор-подшипники скольжения" на основе анализа траекторий движения центра цапфы / Л.А. Савин, О.В. Соломин, Д.Е. Устинов // Механизмы и машины ударного, периодического и вибрационного действия: Материалы международного научного симпозиума.- Орел: Изд-во ОрелГТУ, 2000. - с. 239 - 243.
12. Васильев Ю.Н. Вибрационный контроль технического состояния газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. — М.: Недра, 1987. – 197 с.
13. Барков А. В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации: Учеб. пособие/ Барков А. В., Баркова Н. А., Азовцев А. Ю. –СПб., 2000. – 158 с.
14. Википедия [Електронний ресурс]. Режим доступа: <http://uk.wikipedia.org/wiki>.
15. Олійник П.Б. Перекок у звичайному підшипнику кочення обертового обладнання. // Гідротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки: VI міжнародна наукова конференція, Київ, 26- 27 квітня 2007 р. - К., 2007. - с. 196-206.

УДК 622.272

И.А. ГАПОНЕНКО, аспирантка, Криворожский национальный университет

ЗАВИСИМОСТЬ ГРАНСОСТАВА ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ ОТ КОНСТРУКЦИИ СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА ВВ

Производство взрывных работ на современном этапе в железорудных карьерах характеризуется сложными горно-геологическими условиями ведения буровзрывных работ.

Реальным путем достижения повышения качества взрывоподготовки горных пород в сложившихся условиях разработки полезного ископаемого на железорудных карьерах Украины, является разработка системы технологических методов взрывного разрушения, основанной на максимальной концентрации энергии взрыва и ее рациональном перераспределении в разрушаемом горном массиве. Возникает необходимость в разработке новых технологий взрывных работ, позволяющих получать высокое качество дробления взрываеваемой горной породы.

Характер процесса взрывного разрушения массива горных пород во многом определяется конструктивными особенностями скважинного заряда ВВ. Используя последние, возможно значительно уменьшить пиковое давление продуктов детонации на границе раздела заряд-порода, увеличить общее время воздействия взрывных нагрузок на разрушаемый массив и тем самым повысить КПД взрыва.

Исследована зависимость грансостава взорванной горной массы от конструкции скважинного заряда ВВ.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Качество дробления взорванной горной массы - это один из основных показателей эффективной работы буровзрывного комплекса. Последнее во многом зависит от технологии ведения взрывных работ, включающей в себя способы размещения, формирования и инициирования скважинных зарядов ВВ.

Эти составляющие технологии ведения взрывных работ в значительной степени определяют характер распределения энергии взрыва в разрушаемом массиве горных пород. Очень быстрое выделение большого количества энергии в разрушаемом объеме горных пород сопровождается различными процессами разрушения.

Определение зависимости между этими процессами - одна из задач теории разрушения твердых тел при взрыве.

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

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

где n - константа данного ВВ.

При истечении продуктов детонации в какую-либо среду в последней всегда образуется ударная волна, скорость которой согласно работы [1] есть функция

$$U_{уд.} = \alpha(D, P_1, P_2)$$

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

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

Анализ исследований и публикаций. Рассмотрим разрушающее действие скважинного (цилиндрического) заряда ВВ в плоскости, перпендикулярной к оси заряда, то есть рассмотрим плоскую картину течения разрушения. Закон сохранения энергии на фронте волны разрушения имеет вид

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

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

Согласно [2,3], если внутреннюю энергию единицы массы материала обозначить через ω_0 , то для разрушенного материала

$$\omega = P^2 / 2k\rho_1 + \Sigma^2 / 2\mu\rho_1 + \omega_0(T_1).$$

$$3P = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$$

$$6\Sigma^2 = (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2; \quad \omega_0(T_1) = C \cdot T_1 \cdot \rho_1^{-1}$$

$$\omega_0(T_1) = cT_1\rho_1^{-1},$$

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

За фронтом волны разрушения для разрушенного материала

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

где ω_s - поверхностная энергия.

Структура волны разрушения состоит из двух поверхностей: поверхность L_1 , на которой начинается разрушение и поверхность L_2 , за которой дальнейшее разрушение не происходит. Очевидно, что перед поверхностью L_1 среда подвергается растяжению, а за поверхностью где разрушение не происходит, растягивающие напряжения полностью сняты.

Постановка задачи. С удалением от центра взрыва напряжение уменьшается, в результате чего вокруг заряда после зоны «перемола» образуется зона радиальных трещин. Одной из моделей системы трещин является система параллельных трещин. Принцип хрупкого разрушения тела, согласно которому развитие трещин происходит только если скорость освобождения энергии упругой деформации превзойдет прирост поверхностной энергии трещины, был сформулирован в работе [4], согласно которому

$$\frac{\partial \Delta U}{\partial t} > 4\gamma,$$

где ΔU - изменение упругого потенциала вследствие наличия трещины; γ - поверхностная энергия единицы свободной поверхности.

Величина ΔU равна произведению средней площади области концентрации напряжений на среднее значение плотности упругого потенциала, пропорциональной $P^2 \cdot E^{-1}$, т.е.

$$\Delta U = \sqrt{(2/\pi) \cdot l^2 \cdot P^2 \cdot E^{-1}}, \quad (1)$$

где l - длина трещины; P - значение давления, при котором происходит развитие трещины.

Так как начальный упругий потенциал среды не зависит от длины трещины l , то согласно (1)

$$2E\gamma = \sqrt{(2/\pi)P^2l}.$$

Из последнего уравнения получим зависимость нагрузки от длины трещины

$$P^2 = 2E\gamma/\pi l.$$

На рис. 1 изображен динамический процесс развития трещины. Вначале с увеличением нагрузки P длина начальной трещины l_0 остается неизменной, пока не достигается значения \bar{P} , после чего начинается процесс развития трещины.

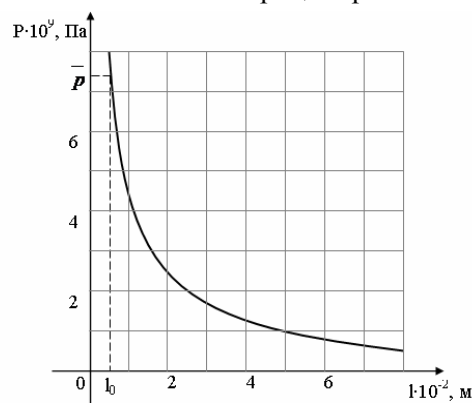


Рис. 1. Динамический процесс развития трещины

Одной из первых работ, посвященной описанию процесса развития трещин и отвечающей реальным условиям разрушения твердой среды, была работа [5].

Из условия, что

$$\frac{\partial W}{\partial l} = \frac{\partial \Pi}{\partial l} + \frac{\partial T}{\partial l} \quad (2)$$

была получена формула, определяющая скорость развития трещины

$$V = K\sqrt{(E/P)(1-(l/l_0))^{\frac{1}{2}}},$$

где W - потенциальная энергия деформации; Π - поверхностная энергия; l_0 - длина равновесной трещины; K - эмпирическая константа; T - кинетическая энергия.

В дальнейшем в работах [6,7] выражение (2) приняло вид

$$\frac{\partial W}{\partial l} = \frac{\partial T}{\partial l} + \frac{\partial \Pi}{\partial l} - \left(\frac{\partial}{\partial l} \right) \iint \rho \left(\frac{u \partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{v \partial^2 v}{\partial t^2} \right) dx dy,$$

где u и v - потенциалы вектора смещения.

Кинетическая энергия при взрыве заряда ВВ определяется как

$$T = T_1 + T_2,$$

где T_1 - энергия, полученная в результате импульсного воздействия взрыва; T_2 - энергия сжатых взрывных газов.

Составляющие кинетической энергии среды согласно [7] соответственно равны

$$T_1 = \frac{2\pi\rho_0 \cdot a^2 a^3}{3-2n} \left(1 - \varepsilon^{\frac{2n-1}{n+1}} \right); \quad T_2 = \frac{4\pi\rho_0 \cdot a^3}{3(\gamma-1)} \left(\frac{a_0}{a} \right)^{3\gamma}, \quad (3)$$

где a_0 , a - соответственно радиус взрывной полости в начальный и текущий моменты времени.

Формулы (3) определены из условия, что кинетическая энергия, приходящаяся на единицу длины цилиндрического заряда, определяется как

$$W = \rho \int_a^\infty \pi r v^2 dr = \frac{\rho_0 \pi a^2 \cdot a^2}{2(n-1)}.$$

Изложение материала и результаты. На образование трещины (начало процесса разрушения), очевидно, затрачивается энергия W , включающая в себя энергию разрыва внутренних связей, работу пластической деформации и другие виды энергии.

Если длина трещины изменяется на величину dl , то производную $\partial w / \partial l$ можно рассматривать как обобщенную силу.

Обозначив через f удельную поверхностную энергию, получим: $\partial w / \partial l = \partial f$. Тогда согласно исследованиям [8] закон сокращения импульса на поверхностях L_1 и L_2 примет вид

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

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

Закон сохранения потоков вещества с учетом наших обозначений запишется в виде

$$P_2^1 - P_1^1 = j^2 \left((\rho_1^1)^{-1} - (\rho_2^1)^{-1} \right) + 2f, \quad (4)$$

$$P^1 = P S; \quad \rho^1 = \rho S, \quad (5)$$

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

Для случая когда $P_1' = P_2'$ с учетом формул (4) и (5), получаем

$$\rho_1 S_1 (\rho_1 S_1 / \rho_2 S_2 - 1) = 2f / (C_r - v_1)^2, \quad (6)$$

где c_r - скорость волны разрушения.

Из предположения, что среда является упругопластической, имеем

$$S_1 = S_0 (1 + \varepsilon_*), \quad S_2 = S_0 (1 + \varepsilon'), \quad (7)$$

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

Подставляя значения S_1 и S_2 из формул (7) в выражение (6), получим

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

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

$$S_2 = 2f E (\rho \sigma_* (c_r - v_1)^2)^{-1}. \quad (8)$$

Для случая радиального движения с осевой симметрией скорость фронта разрушения равна

$$dR / dt = v / 2\varepsilon_*, \quad (9)$$

где R - радиус фронта разрушения; t - время,

или

$$dR / dt = c_r - v_1. \quad (10)$$

Тогда с учетом формул (8), (9), (10) получим

$$S_2 = 8fE\varepsilon_*^2(\rho\sigma_* \cdot v^2)^{-1}. \quad (11)$$

Формула (11) дает возможность определить поперечный размер куска разрушенного материала в зависимости от величины массовой скорости V .

Если поперечный размер осколка обозначить через $\langle x \rangle$, а величину массовой скорости для цилиндрического заряда принять в виде

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

где Q - вес заряда ВВ, приходящийся на единицу длины; R_* - расстояние от центра заряда; A , α – эмпирические коэффициенты, то формула (11) примет окончательный вид

$$H = (8fE\varepsilon_*^2 A^2 \sigma_*) (R/Q^{1/2})^\alpha. \quad (12)$$

Формула (12) определяет характерный размер осколков в зависимости от веса заряда (приходящийся на единицу длины) и расстояния от центра заряда. В общем виде это может быть записано как

$$H = X(Q_1 R). \quad (13)$$

Выводы. Изменение веса заряда ВВ, приходящийся на единицу длины в скважине возможно только за счет изменения конструкции скважинного заряда ВВ.

Зависимость (13) это теоритическое обоснование возможности влияния конструктивных особенностей скважинного заряда ВВ на качество взорванной горной массы.

Следует отметить, что наличие в скважинном заряде ВВ [9] воздушного промежутка и отражателя из сыпучих материалов позволит снизить тепловые потери и интенсивностью дробления в ближней зоне от заряда [10,11].

Это позволит повысить эффективность использования энергии взрыва и снизить отрицательное взрывное воздействие взрыва виде заколов на нижележащие уступы горных пород.

Список литературы

1. Кузнецов В. М. О плоской волне разрушения / В. М. Кузнецов. // ФГВ, 1974.- № 1. – С.124-127.
2. Друкованый М.Ф., Комир В.М., Кузнецов В.М. Действие взрыва в горных породах / М. Ф. Друкованый, В. М. Комир., В. М. Кузнецов // .Киев: Науковва думка, 1973. -184 с.
3. Родионов В.Н. О подобии процесса дробления при взрывах рудного масштаба / В. Н. Родионов // - В кн. Механизм разрушения горных пород взрывом. Киев: Наукова думка, 1971. – С.107-112.
4. Griffith A.A. The phenomenon of rupture and flow in solids / А. А. Griffith // Phil. Trans. Poy. Soc. A 221, 1920, p.1201-1206.
5. Moth N.F. Fracture of metals / N. F. Moth // Theor. Conq. Enqng. 1948. V.1657 № 16. p.321-348.
6. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах / А. Н. Ставрогин, А. Г. Протосеня // М.: Недра, 1985. – 270 с.
7. Кузнецов В. М. Математические модели взрывного дела / В. М. Кузнецов // Новосибирск: Наука, 1977. – 259 с.
8. Физика взрыва / Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др./ Под. ред. К.П.Станюковича. - М.: Наука, 1975. - 407 с.
9. Пат.№35423 Украина МПК F42D 1/00 F42D 3/00.Свердловинний заряд/ Гапоненко А.Л. и др.
10. Мельников Н.В., Марченко Л.Н. Энергия взрыва и конструкция заряда / Мельников Н.В., Марченко Л.Н. // М.: Недра, 1964. - 138 с.
11. Эффективные методы управления процессами взрывного дробления и выброса / Н.В.Мельников, Л.П.Марченко, И.П. Сеинов и др. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1971. № 2. – С.37-45.

УДК 622. 012.2: 628.8+622.51

О.Є. ЛАПШИН, д-р техн. наук, проф., О.О. ЛАПШИН д-р техн. наук, доц.,
Д.О. ЛАПШИНА, аспірантка, Криворізький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ ШАХТНИХ ВОД ДЛЯ НОРМАЛІЗАЦІЇ МІКРОКЛІМАТУ В ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ ГЛИБОКИХ ШАХТ

Стаття присвячена розробленню заходів з нормалізації мікроклімату в гірничих виробках глибоких шахт. Авторами встановлено фактичні величини температур, вологості і забезпеченості повітрям вибоїв шахт. Так, температура повітря в зоні гірничих робіт шахт Кривбасу близька до гранично допустимої 26°C, а у вибоях шахти «Експлуатаційна» ЗЗРК досягає 30-31°C. При відносній вологості 80-90 %, забезпеченість повітрям вибоїв становить 60-85%. Математична модель змінення температурних режимів відповідає переходу процесів від ізотермічного до адіабатичного, що супроводжується конденсацією водяних парів та зміною температури повітря в гірничих виробках шахтних вентиляційних систем. Запропоновано спосіб акумуляції шахтних вод у відпрацьованій гірничій виробці на верхньому горизонті. Після механічного очищення та охолодження шахтні води подають на робочий горизонт для знепилення і зниження температури повітря у виробках робочої зони. Для цього застосовують зрошувальні камери, які розташовують в зоні гірничих робіт. Використання шахтних вод для нормалізації мікроклімату дозволяє поліпшити умови праці в гірничих виробках та знизити рівень професійних захворювань серед працюючих в глибоких шахтах.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Розвиток гірничодобувної промисловості в Україні потребує нових ефективних рішень зі збільшення видобутку, перероблення і реалізації мінеральної сировини в умовах жорсткої ринкової конкуренції. Успішне рішення цих задач неможливе без виконання заходів соціального захисту, поліпшення умов і безпеки праці в гірничих виробках. З огляду на сучасні умови праці в глибоких рудних шахтах слід зазначити, що видобуток залізної руди ускладнюється не тільки через обмежені гірничотехнологічні можливості, але й через несприятливі умови праці [1]. Так, вибої не забезпечені достатньою кількістю свіжого повітря, концентрації пилу на робочих місцях перевищують допустимі величини за санітарними нормами, а температура повітря у виробках наближається до позначки 26 °C регламентованої Єдиними правилами безпеки. Для поліпшення умов праці в гірничих виробках глибоких шахт необхідні нові ефективні методи нормалізації мікроклімату з мінімальними енергетичними витратами та надійним обладнанням.

Аналіз досліджень і публікацій. Численними дослідженнями встановлено, що сумісна дія на організм працюючих пилу і шкідливих газів, які утворюються при бурових, підричних і навантажувальних роботах в гірничих виробках, призводить до інтенсивного розвитку пневмокозів [1,2]. Крім того, підвищена температура повітря в гірничих виробках призводить до перегріву організму працюючих, порушенню функціонування органів дихання, що знижує імунітет організму до професійних захворювань.[3,5]. Розробленню методів кількісного визначення адсорбованих шкідливих газів рудниковим пилом шахт присвячені роботи [4,5]. Як свідчать дослідження ефективності способів і засобів пилогазоподавлення і охолодження повітря в гірничих виробках найбільше розповсюдження отримали: зрошення теплого повітря водяними завісами, застосування холодильних машин, зокрема у вугільних шахтах [6-11].

Постановка завдання. Як свідчить практика боротьби з пилом та нормалізації мікроклімату в глибоких рудних шахтах, досягти бажаних результатів поки що не вдається. Так, запиленість повітря на робочих місцях значно перевищує санітарні норми, а температура в гірничих виробках наближається до граничнодопустимих величин. Виходячи з таких обставин, є необхідним розроблення нових і ефективних засобів знепилення рудникового повітря та нормалізації мікроклімату в гірничих виробках глибоких шахт.

Викладання матеріалу та результати. Основними джерелами пилоутворення є: вибухові роботи - 60%; бурові роботи - 30%; навантаження і доставка гірської маси та кріплення - 10%.

У результаті спостерігається перевищення шкідливих газів і пилу за ГДК практично під час виконання всіх технологічних процесів (ГДК рудникового пилу, оксидів вуглецю і азоту відповідно становлять: 2 мг/м³, 0,0017% і 0,00026%).

Використання шахтної води для пилогазоподавлення після підричних робіт в гірничих виробках здійснювалося за допомогою ежекторної установки в орт-заїзді гор. 1060 м на шахті ім. Фрунзе (рис. 1).

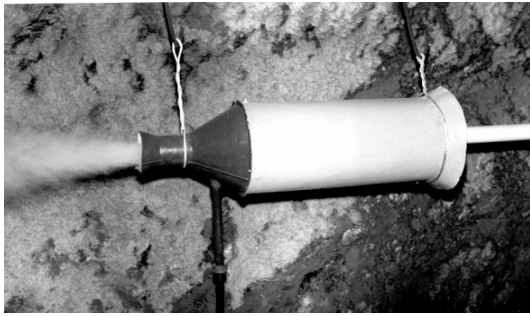


Рис. 1. Ежекторна установка в робочому стані після вибуху у вибої на шахті. ім. Фрунзе

Випробування в гірничих виробках здійснювалося в три етапи: перший етап полягав у визначенні концентрації пилу і газів після вибуху за відключених засобів провітрювання; другий – після видалення пилу і газів стисненим повітрям; третій – у вибої працювала ежекторна установка.

В табл. 1 наведені результати вимірювань концентрацій шкідливих речовин після вибуху у вибоях виробок із застосуванням різних засобів їх знешкодження.

Таблиця 1

Результати випробування ежекторної установки на шахті ім. Фрунзе

Характеристика Виробки	Кількість вибухових речовин, що підірвалися, кг	Засоби знешкодження шкідливих речовин	Концентрація пилу, мг/м ³	Концентрація газів, %	
				CO	NO+NO ₂
Вимірювання після вибуху (початкові концентрації)					
Орт-заїзд 3 вісі гор. 1060 м: довжина - 70 м, переріз - 10,5 м ² шпурів – 36, ВР - аміачно-селітрова	45	Засоби пилогазоподавлення не застосовувалися	52,6-205,2	0,18-0,25	0,025-0,035
	45	Вибій продувався стисненим повітрям	19,6-79,3	0,0013-0,09	0,005-0,008
	45	Працює ежекторна установка	1,3-1,6	0,0011-0,0015	сліди

Результати випробувань на шахті ім. Фрунзе свідчать про невисоку ефективність пилогазоподавлення після вибуху у вибої шляхом продування виробки стисненим повітрям.

Вона становить: за пилом - 61,9 %; за оксидами вуглецю 52,1 %; за оксидами азоту 56,7 %.

Застосування ежекторної установки засвідчило високу ефективність пилогазоподавлення: за пилом - 95-98%; за оксидами вуглецю – 55-80%; за оксидами азоту - 75-85%.

Процес прибирання гірської маси не супроводжувався перевищенням ГДК пилу і оксидів вуглецю, а оксидів азоту не було виявлено.

На рис. 2 наведено графіки залежності концентрації пилу у вибої від часу провітрювання і способу пилогазоподавлення.

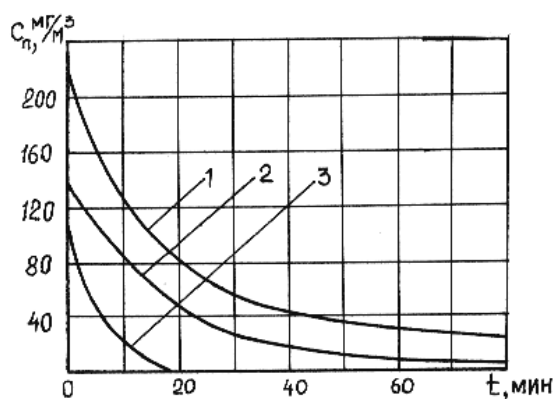


Рис. 2. Графіки залежності зниження концентрацій пилу у вибої від часу провітрювання і способу пилогазоподавлення: 1 - без застосування засобів пилогазоподавлення; 2 - провітрювання за допомогою вентилятора і вивідання стисненим повітрям; 3 – із застосуванням ежекторної установки і використанням шахтної води

На рис. 3 наведено графіки змінення температур гірських порід $t_{п}$ і повітря $t_{в}$ у вибоях шахт Запорізького залізорудного комбінату (ЗЗРК) залежно від глибини розробки Н.

Наведені дані свідчать, що середня температура порід нейтрального шару на глибині 20-30 м становить близько 10-11°C.

На глибині 800-1000 м температура гірських порід становить 28-30 °С, а температура повітря на цих глибинах сягає 29-31°C (допустима температура повітря у гірничих виробках 26°C).

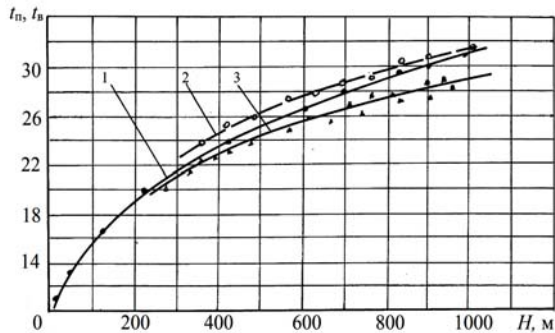


Рис. 3. Графіки залежності середніх температур гірських порід t_n і повітря t_b на робочих місцях у вибоях від глибини розробки H : 1 – за результатами термометрії розвідувальних свердловин; 2 – за результатами вимірювань t_n в шпурах; 3 – за результатами вимірювань t_b на робочих місцях, у вибоях та у виробках шахти

Оцінка цих параметрів здійснювалася шляхом порівняння необхідних величин з їх фактичними даними. Вимірювання свідчать про те, що забезпеченість кількості повітря та його необхідної швидкості становить 60-80%, а температура повітря в них близька до 26-31°C при вологості 85-95%. За такого мікроклімату покращити теплові умови на робочих місцях можливо лише з допомогою ефективних заходів регулювання термодинамічних процесів в вентиляційній мережі.

У повітроподаючих стволах залежно від періоду року відбувається нагрівання або охолодження повітря, збільшення його відносної вологості та тиску. В горизонтальних виробках відбувається теплообмін з мокрими стінками, підвищення вологості, змінення швидкості повітря, статичний тиск змінюється несуттєво. У повітровидаючих виробках відбувається зниження статичного тиску, що призводить до конденсації вологи. Така зміна параметрів повітря обумовлює тепловиділення при політропних процесах у виробках, що призводить до підвищення температури в зоні гірничих робіт до 29-31°C та утворення несприятливих умов праці у вибоях.

Дані спостереження обґрунтовані математичним моделюванням теплообмінних процесів у виробках, що дозволить в подальшому здійснювати прогнозування теплового режиму шахти та його регулювання шляхом розрахунку і реалізації відповідних керуючих дій. Для побудови математичної моделі теплообмінних процесів складена загальна схема провітрювання гірничих виробок (рис. 4).

Дані спостереження обґрунтовані математичним моделюванням теплообмінних процесів у виробках, що дозволить в подальшому здійснювати прогнозування теплового режиму шахти та його регулювання шляхом розрахунку і реалізації відповідних керуючих дій. Для побудови математичної моделі теплообмінних процесів складена загальна схема провітрювання гірничих виробок (рис. 4).

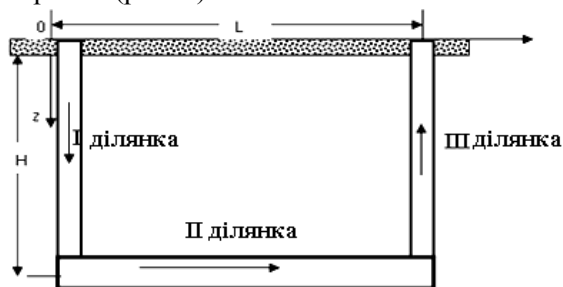


Рис. 4. Схема руху повітря у гірничих виробках

Відповідно до схеми, повітря рухається вниз вертикальним стволом на глибину H (I ділянка), а потім рухається горизонтальними виробками довжиною L (II ділянка), після чого підіймається угору вертикальним стволом (III ділянка). На ділянці I виділяємо дві області: у першій - змінення температури відбувається без конденсації водяної пари, а в другій – конденсація враховується.

Для двох перерізів ствола $z=z_1$ і $z=z_2$ швидкість змінення в часі теплоти буде

$$\Delta W_k = \int_{z_1}^{z_2} c_1 \cdot \gamma_1 \cdot f_1 \cdot \frac{\partial t_1}{\partial \tau} dz, \quad (1)$$

де $c_1=c(z)$ - питома теплоємність повітря, Дж/кг°C; $\gamma_1=\gamma(z)$ - густина повітря, кг/м³; $t_1=t(z, \tau)$ - температура повітря, °C; τ - час, с; f_1 - площа поперечного перерізу ствола шахти, м².

У свою чергу формула (1) складається з таких частин:

$$k_1 \cdot U_1 (t_1 - t_m) + c_1 \cdot \gamma_1 \cdot f_1 \cdot \frac{\partial t_1}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial z} (c_1 \cdot \gamma_1 \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot t_1) = f_1 \cdot W_1, \quad (2)$$

де k_1 - коефіцієнт теплопередачі в шахтному стволі, Вт/(м²°C); t_m - температура масиву гірської породи навколо ствола на даній глибині, °C; $W_1=W(z, \tau)$ - щільність теплових джерел, Вт/м³.

У рівнянні (2) перша складова відповідає кількості теплоти, віднесеної до одиниці часу, яка надходить через бокову поверхню ствола шахти внаслідок теплообміну із зовнішнім середовищем. Друга складова, що віднесена до одиниці часу – кількість теплоти, що надходить від джерел у перерізі, який розглядається. Третя складова віднесена до одиниці часу – кількість теплоти, яка надходить через переріз ствола за рахунок руху повітря.

Конденсація парів води призводить до виділення тепла, щільність джерел якого можна визначити за формулою

$$W_k = r \cdot \gamma_1 \cdot d'(t_1) \cdot \left(\frac{\partial t_1}{\partial \tau} + w_1 \frac{\partial t_1}{\partial z} \right), \quad (3)$$

де $d'(t_1) = \frac{d}{dt_1}(d(t_1))$ – похідна від вологовмісту за температурою, кг/кг^{°C}.

Для отримання математичної моделі теплообмінного процесу у другій області ствола необхідно врахувати щільність джерел (очевидно тепловиділень при конденсації парів води)

$$\begin{aligned} c_1 \cdot \gamma_1 \cdot f_1 \cdot \frac{\partial t_1}{\partial \tau} + k_1 \cdot U_1 \cdot (t_1 - t_m) + \frac{\partial}{\partial z}(c_1 \cdot \gamma_1 \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot t_1) = \\ = f_1 \cdot \gamma_1 \cdot w_1 \cdot g + r \cdot \gamma_1 \cdot d'(t_1) \cdot \left(\frac{\partial t_1}{\partial \tau} + w_1 \frac{\partial t_1}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

Враховуючи, що змінення теплоємності і густини вологого повітря відбувається у межах 3-6 %, що дозволяє при моделюванні вважати їх постійними (сталими). Далі є доцільним проведення досліджень усталених теплообмінних процесів для будь-якого поперечного перерізу ствола, приймаючи

$$f_1 \cdot \gamma_1 \cdot w_1 = G_o, \quad (5)$$

де G_o - масова витрата повітря, кг/с.

Таке припущення дає можливість отримати формулу, що описує сталий розподіл температури в іншій області на ділянці I по довжині шахтного ствола

$$t_1 = t_n + e^{-b_{1k} \cdot z_1} \left(\int_{z_{1p}}^{z_1} (b_{1k} \cdot \sigma \cdot (\xi - h_n) + a_1 \cdot \left(1 + \frac{n-1}{n} \frac{\gamma_o g}{p_o} \xi\right)^{n-1} e^{b_{1k} \xi} d\xi + (t_{1p} - t_n) e^{b_{1k} z_{1p}} \right) \quad (6)$$

Математична модель руху повітря горизонтальними, чи похилими виробкам (II ділянка), в яких немає, або є незначні політропічні процеси, задається рівнянням

$$c_2 \cdot \gamma_2 \cdot f_2 \cdot \frac{\partial t_2}{\partial \tau} + k_2 \cdot U_2 \cdot (t_2 - t_m) + c_2 \cdot \gamma_2 \cdot f_2 \frac{\partial}{\partial x}(w_2 \cdot t_2) = 0. \quad (7)$$

При цьому мають виконуватися початкові та граничні умови, де σ - геотермічний градієнт, °C/м.

$$\begin{aligned} t_2(\tau = 0) &= t_n + \sigma \cdot (H - h_n) \\ t_2(x = 0) &= t_1(z = H) \end{aligned} \quad (8)$$

Перше рівняння умови (8) свідчить, що в початковий момент часу температура повітря в горизонтальній виробці дорівнювала температурі гірських порід. Друге рівняння прирівнює температури під час переходу з ділянки I до ділянки II, тобто із шахтного ствола в горизонтальну виробку. З урахуванням початкових і граничних умов (8), виконуючи заміни $\theta_1 = t_1 - t_n$ отримуємо стаціонарне розподілення температури на ділянці II, тобто за довжиною горизонтальної виробки

$$t_2 = t_n + \sigma \cdot (H - h_n) + (t_1(z = H) - t_n - \sigma \cdot (H - h_n)) \cdot e^{-b_2 \cdot x}. \quad (9)$$

Математична модель нестационарного процесу теплообміну ділянки III схеми (рис. 4), що відображає рух повітря вентиляційним стволом знизу вгору, представлена рівняннями

$$t_3 = t_n + e^{-b_{3k} \cdot z_3} \left(\int_{z_{3p}}^{z_3} (b_{3k} \cdot \sigma \cdot (z - h_n) + a_3 \cdot \left(1 + \frac{n-1}{n} \frac{\gamma_o g}{p_o} z\right)^{n-1} e^{b_{3k} z} dz + (t_{3p} - t_n) e^{b_{3k} z_{3p}} \right). \quad (10)$$

$$\varphi_{3n} = \varphi_2(x = L)$$

$$p_{3n} = p_0 \left(1 + \frac{n-1}{n} \frac{\gamma_o}{p_o} g \cdot H\right)^{\frac{n}{n-1}};$$

де p_o - тиск повітря на поверхні шахти, Па; γ_o - густина повітря на поверхні шахти, кг/м³; n - показник політропи.

Результати теоретичних і промислових досліджень дозволили розробити технологію охолодження рудникового повітря з використанням шахтних вод, яка полягає у наступному. Відомо, що за наявності великої кількості води, зрошувальне охолодження повітря є найбільш економічним [3]. При видобуванні залізної руди підземним способом у Кривбасі щорічно відкачується близько 18 млн м³ шахтних вод. За гідрогеологічними даними об'єми цих вод за останні роки не зменшилися, а прогнозні розрахунки свідчать про їх збільшення.

Результати калориметрії вказують на те, що питома теплоємність шахтної води (3,81 кДж/кгК) нижча за питну воду (3,92 кДж/кгК), але вона є достатньою для зрошувального охолодження рудникового повітря. За своїм хімічним складом шахтні води ЗЗРК наближені до вимог санітарних норм і рекомендовані для зрошення та знепилення рудникового повітря органами державного санітарного нагляду. Шахтні води Кривбасу мають підвищену мінералізацію, але за відсутністю агресивних домішок, також рекомендовані до використання для знепилення та зрошення рудникового повітря [10].

При визначенні теплофізичних параметрів рудникового повітря у шахтах Кривбасу встановлено, що в приствольних виробках, що примикають до обводнених стволів, температура повітря на 7-10°C нижче ніж у виробках, які примикають до сухих стволів. Факт зниження температури повітря в обводнених виробках свідчить про можливість використання цього природного явища для розроблення технології охолодження рудникового повітря в підземних камерах зрошення.

Для нормалізації мікроклімату в рудних шахтах розроблено установку «Оазис», яка складається з магістральних водо- та повітропроводів, від двох до чотирьох рядів патрубків, на яких змонтовано гідравлічні форсунки двобічної дії. Для одержання водоповітряної суміші використовується охолоджувальний ежектор.

Випробування проводилися в підземних наскрізних виробках (рис. 5а,б) із площею перерізу 12,6 та 13,2 м² в умовах шахт «Родіна» та ім. Леніна відповідно. Довжина виробок становила 95-110 м. Для утворення необхідних швидкостей і температур повітря, на вході у виробку було встановлено допоміжний вентилятор типу ВМ-5М і дифузор-нагрівач, з'єднані між собою гнучким вентиляційним рукавом. Задля здійснення промислових випробувань було виготовлено 40 двобічних відцентрових форсунок, які розміщувалися в чотири ряди на зрошувальній установці «Оазис» (рис. 5б). Кожен із рядів підключався до магістрального водопроводу з можливістю подачі води на форсунки кожного ряду окремо.

Визначення аеродинамічних параметрів повітря у камері зрошення здійснювалися в пунктах P_1 і P_2 , розташованих до й після рядів форсунок.

Під час випробувань вмикалися 2 ряди, а після вимірювань вмикалися 4 ряди форсунок. Тиск води в трубопроводі змінювався від 1 до 7 кгс/см², а швидкість повітря в камері змінювали від 0,5 до 4,0 м/с шляхом закриття вхідного отвору вентилятора.

Температуру повітря на вході у камеру змінювали від 18 до 27 °С - на шахті «Родіна» та від 26 до 32 °С - на шахті ім. Леніна. Для охолодження використовувалася вода, яка надходила трубопроводом 7 з накопичувального басейну, розташованого на верхньому горизонті шахти. Температура води, що надходила становила 11-13°C [10].

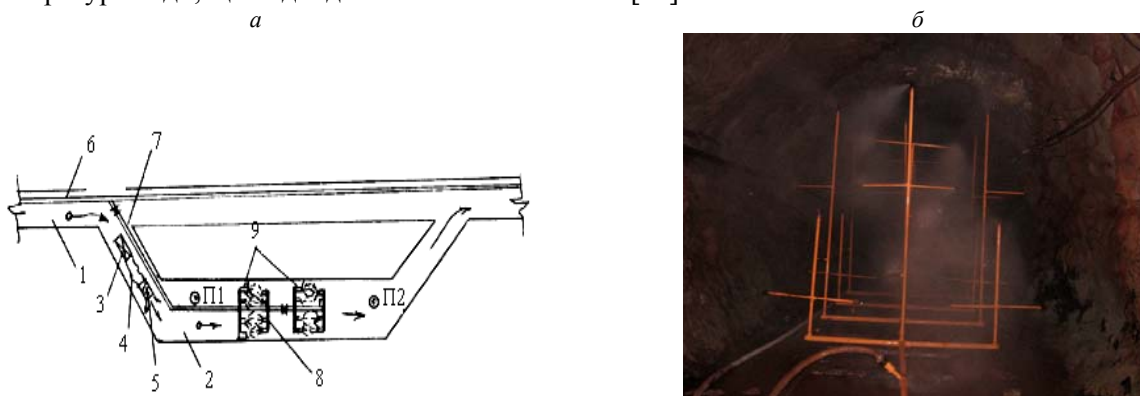


Рис. 5. Схema установки «Оазис» для проведення досліджень водо-форсунокового охолодження рудникового повітря у камері зрошення: а: 1 - основна виробка; 2 - камера зрошення; 3 - вентилятор; 4 - рукав; 5 - дифузор-нагрівач; 6 - основний водопровід; 7 - магістральний водопровід; 8 - установка «Оазис»; 9 - форсунки; б - вид установки «Оазис» у камері зрошення; 10 - конденсатор

Результати промислових випробувань установки «Оазис» у підземних камерах зрошення наведено в табл. 2.

Параметри мікроклімату під час випробувань установки «Оазис» у підземних камерах зрошення

Тип камери	Швидкість повітря, м/с	Температура повітря, T, °C		Вологість повітря, φ %		Ступінь зрошення повітря, ρ кг/кг	Ефективність охолодження, %
		до охолодження	після охолодження	до охолодження	після охолодження		
Випробування на шахті «Родіна», форсункове охолодження							
Дворядна 19 форсунок	0,5–4,0	18–27	15–19	45–70	80–95	0,02–0,11	23
Чотирирядна 38 форсунок	0,5–4,0	18–24	14–17	45–70	85–95	0,04–0,22	26
Випробування на шахті ім. Леніна, форсункове охолодження							
Однорядна 9 форсунок	0,9–2,0	26–32	22–24	55–78	75–80	0,2–0,5	21
Дворядна 18 форсунок	0,9–2,0	26–32	20–22	55–78	75–80	0,3–0,6	28
Випробування на шахті ім. Леніна, водоповітряне охолодження							
Однорядна 9 форсунок	0,9–2,0	26–32	19–20	55–78	75–80	0,2–0,5	32
Дворядна 18 форсунок	0,9–2,0	26–32	17–19	55–78	75–80	0,3–0,6	34

На рис. 6 наведено технологічну схему охолодження рудникового повітря в камері зрошення з використанням шахтних вод, які акумулюються в основному водоймищі 11, утвореному у відпрацьованій гірничій виробці 10 на верхньому горизонті шахти. До основного водоймища 11 перекачуються шахтні води з допоміжних водоймищ 13.

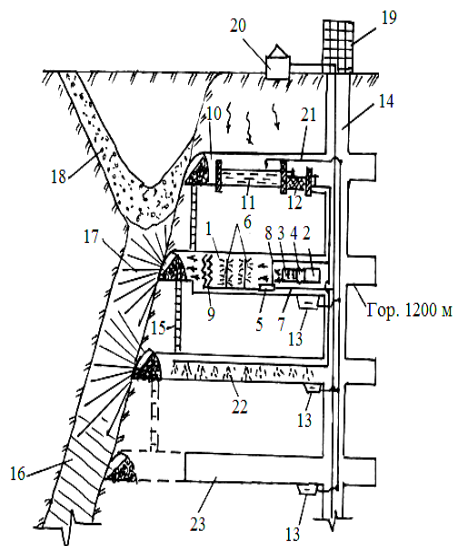


Рис. 6. Схема розміщення обладнання зрошувального охолодження рудникового повітря з використанням шахтної води: 1 – камера зрошення; 2 – вентилятор; 3 – нагрівач; 4 – гнучкий рукав; 5 – охолодний ежектор; 6 – форсунки; 7, 8 – трубопроводи для стисненого повітря та шахтної води; 9 – конденсатор; 10 – відпрацьована виробка; 11 – основне водоймище; 12 – піщаний фільтр; 13 – допоміжне водоймище; 14 – головний повітроподаючий ствол; 15 – висхідний; 16 – рудний поклад; 17 – свердловини; 18 – обвалені породи; 19 – надшахтна будівля; 20 – компресорна станція; 21 – трубопровід для перекачування шахтної води; 22 – водоповітряні завіси; 23 – квершлаг-проходки

Перекачування здійснюється у нічні часи за мінімальним тарифом на електроенергію. В основному водоймищі 11 шахтні води охолоджувалися до 11–13°C і після механічного очищення у піщаному фільтрі 12 теплоізолюваним трубопроводом 9, прокладеним у стволі 14, подаються в камеру зрошення 1 за рахунок статичного тиску стовпа води. Якщо температура рудникового повітря не перевищує 30 °C, його охолоджують за рахунок води, що надходить із форсунок 6, а коли температура повітря є вищою від 30°C – охолодження здійснюють водоповітряною сумішшю, утвореною «Дисперсоїдом» 5, яку спрямовують у камеру зрошення 1 через форсунки 6.

Для охолодження повітря застосовують як горизонтальні, так і вертикальні камери зрошення довжиною $L_k = 10d_k$, де d_k – еквівалентний діаметр камери, який визначається за формулою

$$d_k = 2 dk = 2 \sqrt{Q_n / \pi V_k}, \quad (11)$$

де Q_n – кількість повітря, що надходить у камеру зрошення, м³/с; V_k – швидкість вільного падіння крапель води, м/с.

Досвід використання шахтної води для зрошення рудникового повітря доводить, що основне акумулююче водоймище доцільно розташовувати на верхньому горизонті, в масиві гірських порід, що примикають до нейтрального шару землі і мають температуру 11-13°C. Камеру зрошення вертикальну, або горизонтальну розташовують ближче до зони гірничих робіт для запобігання нагріву охолодженого повітря.

Швидкість повітря в камерах зрошення для його ефективного охолодження слід підтримувати в межах $V=1-2,5$ м/с. При температурі рудникового повітря в зоні гірничих робіт до 30 °С доцільно застосовувати в камерах систему зрошувального охолодження, а при температурі повітря понад 30 °С – використовувати зрошувальне охолодження із застосуванням водоповітряної суміші, утвореної за допомогою ежектора «Дисперсоїд». Витрати стисненого повітря на один ежектор становлять 0,1-0,3 м³/с, а тиск у магістралі стисненого повітря складає 0,4-0,6 МПа. Кількість рядів форсунок у камері зрошення приймається ≥ 2 . Застосування акумулюючого водоймища дозволяє накопичувати шахтні води у кількості 1200-1500 м³ з температурою 11-13 °С, а потім використовувати їх для охолодження рудникового повітря та зрошення технологічних процесів. Решта шахтної води відкачується у нічний час за пільговим тарифом вартості електроенергії. Це дозволяє забезпечити покращення умов праці та зменшити щорічні витрати на відкачування шахтних вод у межах 1,2-2,5 млн грн по кожній шахті.

Враховуючи велику кількість шахтних вод, які відкачуються з підземних водоймищ, розроблений спосіб нормалізації мікроклімату має значну економічну доцільність.

Висновки і подальший напрямок досліджень. Встановлено фактичні величини температур, вологості, забезпеченості повітрям вибоїв шахт. Зміна температури рудникового повітря в глибоких рудних шахтах відповідає температурі гірських порід плюс 1-3°C внаслідок припливу тепла від обладнання, стиснення повітря, окислення, випаровування вологи, ведення вибухових робіт. Так, температура повітря в зоні гірничих робіт шахт Кривбасу близька до гранично допустимої 26 °С, а у вибоях шахти «Експлуатаційна» ЗЗРК сягає 30-31 °С. За відносної вологості 80-90 %, забезпеченість повітрям вибоїв становить 60-85 %. Крім того, встановлено закономірність тепло- масообміну при охолодженні рудникового повітря шахтною водою в камерах зрошення, реалізація якого із застосуванням програми на ЕОМ, дозволяє розрахувати оптимальні режими нормалізації мікроклімату в гірничих виробках шахт. Розроблено новий спосіб зрошувального охолодження рудникового повітря із використанням шахтних вод акумульованих у відпрацьованій гірничій виробці, розташованій в гірських породах, що примикають до нейтрального шару землі та мають середню температуру 10-11 °С.

Список літератури

1. Каспаров А.А. Гигиена труда и промышленная санитария / А.А. Каспаров – М. : Медицина, 1977. – С. 106-118.
2. Теория и практика охраны труда на угольных шахтах / [Э.Н. Медведев, В.Д. Мартовицкий, О.И. Кошуба и др.] - Макеевка : Донбасс, 2006. – С. 377-407.
3. Щербань А.Н. Справочное руководство по тепловым расчетам шахт и проектированию установок для охлаждения рудничного воздуха /А.Н. Щербань, О.А. Кремнев, В.Я. Журавленко. – М. : Недра, 1977. – С. 5-9.
4. Ярембаш И. Ф. Очистка рудничной атмосферы после взрывных работ / И. Ф. Ярембаш. – М : Недра, 1979. – С. 37-105.
5. Лапшин О.О. Знешкодження отруйних газів і пилу в гірничих виробках шахт / О.О. Лапшин // Проблеми охорони праці в Україні: зб. наук. праць - 2002. – С.35-39.
6. Моделирование и проектирование систем гидрообеспыливания / [В.П. Журавленко, В.И. Саранчук, Н.А. Страхова и др.] – К : Наукова думка, 1990. – С.13-22.
7. Химические вещества для борьбы с пылью / [В.И. Саранчук, В.П. Журавлев, И.В. Вайсберг и др.] – К. : Наукова думка, 1987. – 156 с.
8. Лапшин О.О. Підвищення ефективності знешкодження шкідливих газів і пилу в гірничих виробках шахт / О.О. Лапшин, П.В. Бересневич // Вісник криворізького технічного університету. – Вип. 3. – 2003. – 13-17.
9. Гродель Г.С. Борьба с пылью в очистных забоях / Гродель Г.С., Губский Ю.Н., Кривохижа Б.М. – К. : Техніка, 1983. – 72 с.
10. Лапшин А.А. Охлаждение рудничного воздуха с использованием шахтных вод / А.А. Лапшин // Горный журнал. – 2014. - №5. – С.13-17.
11. Лапшин А.А. Повышение эффективности охлаждения рудничного воздуха форсуночным орошением / Лапшин А.А., Ляшенко В.И. //Цветная металлургия. – 2014. - № 1. – С. 8-14.
12. Бизов В.Ф. Охорона праці в гірництві / Бизов В.Ф., Лапшин О.С. – Кривий Ріг : Мінерал. - Том VII, 2001. – С. 30-41.

Рукопис подано до редакції 17.04.15

УДК 622. 453

И.Б. ОШМЯНСКИЙ, канд. техн. наук, доц., Л.И. ЕВСТРАТЕНКО, аспирант,
Криворожский национальный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА В ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ РУДНИКОВ С УЧЕТОМ РЕЖИМА ФИЛЬТРАЦИИ ЧЕРЕЗ ЗОНУ ОБРУШЕНИЯ

Выполнены расчеты, которые свидетельствуют о неточности при выборе показателя режима движения воздуха через обрушенные зоны, которые приводят к значительным ошибкам при расчетах значений основных аэродинамических параметров вентиляционных сетей рудников с активными обрушениями. Приведенная методика определения общего показателя режима движения в вентиляционных сетях рудников с обрушениями позволяет уточнить закон сопротивления в сети, более надежно определять характеристики сетей рудников, режимы работы ГВУ и показатели эффективности их эксплуатации.

При движении через пористую среду зоны обрушения, газ испытывает два вида сопротивления: от внутреннего трения между частицами газа и от внешнего трения частиц газа о стенки частиц материала слагающих пористую среду. Вследствие бесконечной малости первого вида сопротивления им можно пренебречь. При малых скоростях движения газа в пористой среде сила сопротивления выражает действие лишь вязкостных сил и пропорциональна первой степени скорости, т.е. имеет место линейный закон сопротивления. Если же скорость движения газа высокая, то в потоке газа возникают инерционные силы в результате действия которых, сила сопротивления пропорциональна квадрату скорости газа.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Движение вентиляционного потока по горным выработкам шахт и рудников осуществляется при значительных числах Рейнольдса, что обуславливает турбулентный режим течения и квадратичный закон сопротивления движению воздуха.

Анализ исследований и публикаций. При разработке мощных залежей системами обрушений, в вентиляционной сети появляются ветви с линейными, промежуточными и квадратичными законами сопротивления движению воздуха в них [1,13]. Такими ветвями являются зоны обрушений, имеющие аэродинамическую связь с горными выработками и поверхностью.

Наличие активной аэродинамической связи вентиляционной сети с поверхностью через зону обрушения, предопределяет наличие утечек (притечек) воздуха, которые являются частью общешахтного дебита и на перемещение их через зону обрушения бесполезно затрачивается значительная мощность вентилятора [2]. Существует также, опасность попадания в вентиляционную сеть вредных и ядовитых веществ. При реконструкции вентиляции и оперативном управлении проветриванием, в частности при изменении общешахтного дебита или дебитов отдельных струй, приводит иногда к нежелательным результатам [3,11]. Так, например, при увеличении общего дебита двух параллельных струй больше возрастает дебит струи с ламинарным течением, т.е. прирост утечек превысит прирост дебита вентиляционных струй. Кроме того, в расчетах сетей рудников с активными обрушениями и различными законами движения воздуха в ветвях допускаются значительные ошибки, если за основу при определении R_{ec} принимается квадратичный закон сопротивления. Ошибки в выборе показателя режима движения в сетях шахт приводят к увеличению несоответствия проектных и фактических вентиляционных параметров, режимов работы ГВУ, коэффициентов аэродинамического сопротивления выработок, искажают результаты ВДС и др.

Постановка задачи. В связи с указанным, определение режима движения воздуха в вентиляционных системах рудников с учетом режима фильтрации через зону обрушения является актуальной задачей.

Изложение материала и результаты. При движении через пористую среду зоны обрушения газ испытывает два вида сопротивления [1,4,14]: от внутреннего трения между частицами газа и внешнего трения частиц газа о стенки частиц материала слагающих пористую среду. Вследствие бесконечной малости первого вида сопротивления им можно пренебречь. При малых скоростях движения в пористой среде сила сопротивления выражает действие лишь вязкостных сил и пропорциональна первой степени скорости, т.е. имеет место линейный закон сопротивления. Если же скорость движения газа высокая, то в потоке газа возникают инерционные силы, в результате действия которых сила сопротивления пропорциональна квадрату ско-

рости газа. АВ этом случае проявляетя квадратичный закон сопротивления. Поэтому для описания движения потоков в зонах обрушения, которые являются воздухопроводящими ветвями сетей, может быть применена универсальная двучленная форма закона сопротивления

$$h_{3.o.} = R_l Q + R_T Q^2, \tag{1}$$

где R_l и R_T - соответственно линейное и турбулентное сопротивления

В случае малых скоростей фильтрации, а следовательно, проявления больших вязкостных сил формулу (1) можно использовать в следующем виде

$$h_{3.o.} = R_l Q$$

При вполне сформированном турбулентном потоке, когда линейный член мал и им обычно пренебрегают, расчет можно вести по той же формуле (1), но без первого члена в правой части

$$h_{3.o.} = R_T Q^2.$$

В переходной области режима фильтрации, когда показатель степени при Q может изменяться в пределах $1 < n < 2$, без ущерба для точности может быть использована также степенная формула

$$h_{3.o.} = R_{ком} Q^n, \tag{2}$$

где $R_{ком}$ - общее сопротивление вентиляционной сети при комбинированном режиме, $H \cdot c^2 / m^{2+3n}$; n - показатель степени, определяющий этот комбинированный режим.

Анализ формул (1) и (2), свидетельствует о том, что они по степени точности примерно равноценны и расчет вентиляционных сетей при различных законах движения в ветвях, можно вести по любой из этих формул.

Вопросам расчета вентиляционных сетей при различных соединениях выработок и использовании двучленного закона сопротивления посвящены работы таких видных ученых, как Ф.А. Абрамов [1], В.А. Ярцев [5,6] и других.

В настоящей работе поставлена задача определения общих показателей степени в формуле (1) степенного закона сопротивления при движении воздушных потоков с различными режимами для последовательного, параллельного и смешанного соединения ветвей.

Общая депрессия последовательного соединения выработок (рис. 1а) равна сумме депрессий всех входящих в него выработок

$$h_{3.o.} = h_1 + h_2 + \dots + h_k = R_1 Q^{n_1} + R_2 Q^{n_2} + \dots + R_k Q^{n_k} = \sum_{i=1}^k R_i Q^{n_i}, \tag{3}$$

где K - число последовательно соединенных ветвей в последовательном соединении.

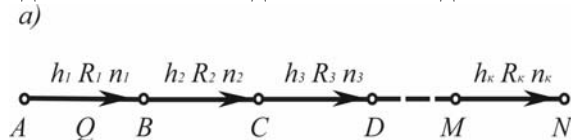
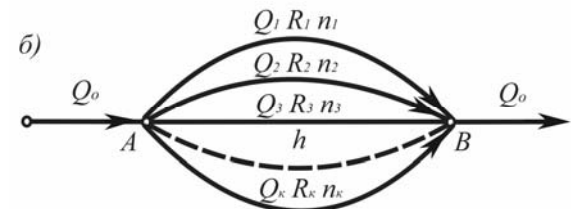


Рис. 1. Схема к расчету последовательного а и параллельного б соединения выработок сети при различных законах движения воздуха в ветвях



Решая уравнение (2) относительно n , получим

$$n = \frac{\lg h_{3.o.} - \lg R_{ком}}{\lg Q}.$$

Продифференцировав логарифмическую функцию (4), найдем

$$n = \frac{d \lg h_{3.o.}}{d \lg Q} = \frac{Q dh_{3.o.}}{h_{3.o.} dQ}. \tag{4}$$

В связи с однозначностью уравнений (2) и (3) значение производной dh_o/dQ найдем из (3)

$$\frac{dh_{3.o.}}{dQ} = n_1 R_1 Q^{n_1-1} + n_2 R_2 Q^{n_2-1} + \dots + n_k R_k Q^{n_k-1} = \sum_{i=1}^n n_i R_i Q^{n_i-1} \tag{5}$$

После подстановки dh_o/dQ из формулы (5) в (4) получим выражение для определения общего показателя комбинированного режима движения воздуха в сети при последовательном соединении ветвей с неоднородными сопротивлениями

$$n = Q \frac{n_1 R_1 Q^{n_1-1} + n_2 R_2 Q^{n_2-1} + \dots + n_k R_k Q^{n_k-1}}{h_{3.o.}} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i h_i}{h_{3.o.}}, \quad (7)$$

откуда общая депрессия последовательного соединения

$$h_{3.o.} = \sum_{i=1}^k n_i h_i / n.$$

При использовании двучленного закона сопротивления общее сопротивление последовательного соединения равно [1]

$$h_{3.o.} = \sum_{i=1}^k R_{ли} Q + \sum_{i=1}^k R_{ки} Q^2 = \sum_{i=1}^k h_{ли} + \sum_{i=1}^k h_{ки},$$

где $R_{ли}$ и $R_{ки}$ - линейная и квадратичная составляющие аэродинамического сопротивления i -й ветви.

Для параллельного соединения, состоящего из K ветвей (рис. 1б), можно записать на основании его свойств

$$Q_{3.o.} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_k = \sum_{i=1}^k Q_i, \quad (8)$$

$$h = h_1 = h_2 = \dots = h_k = R_i Q_i^{n_i}, \quad (9)$$

Продифференцировав уравнения (8) и (9), получим

$$dQ = dQ_1 + dQ_2 + \dots + dQ_k = \sum_{i=1}^k dQ_i, \quad (10)$$

$$dh_1 = n_1 R_1 Q_1^{n_1-1} dQ_1; \quad dh_2 = n_2 R_2 Q_2^{n_2-1} dQ_2; \quad dh_k = n_k R_k Q_k^{n_k-1} dQ_k. \quad (11)$$

Подставив значения dQ_1, dQ_2, \dots, dQ_k из (11) в (10), получаем

$$dQ = \frac{dh}{n_1 R_1 Q_1^{n_1-1}} + \frac{dh}{n_2 R_2 Q_2^{n_2-1}} + \dots + \frac{dh}{n_k R_k Q_k^{n_k-1}}$$

откуда

$$\frac{dh}{dQ} = 1 / \sum_{i=1}^k \frac{1}{n_i R_i Q_i^{n_i-1}} \quad (12)$$

Подставив dh/dQ из (10) в (4) с учетом выражения (3) получим выражение для определения общего показателя комбинированного режима движения в сети при параллельном соединении ветвей с различными режимами движения воздушных потоков в них

$$n = \frac{Q_{3.o.} dh}{hdQ_{3.o.}} = \frac{Q_{3.o.}}{\sum_{i=1}^k \frac{Q_i}{n_i}}, \quad (13)$$

откуда

$$Q_{3.o.} = n \sum_{i=1}^k \frac{Q_i}{n_i}.$$

Общее аэродинамическое сопротивление сети при комбинированном режиме движения $R_{ком}$ при найденных значениях общего показателя режима движения n находится из формулы (2).

Рассмотрим случай сложного последовательно-параллельного соединения вентиляционного участка шахты с аэродинамически активным обрушением и при наличии утечек воздуха на ГВУ при всасывающем способе проветривания.

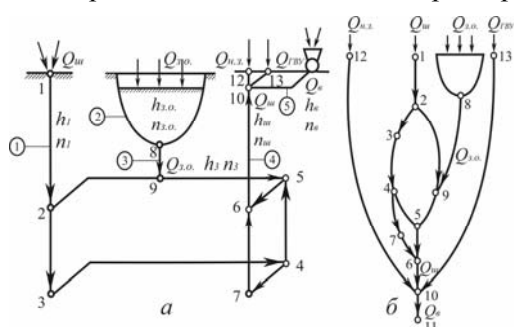


Рис. 2. Принципиальная схема вентиляции сложного последовательно-параллельного соединения участка шахтной сети с аэродинамически активным обрушением и при наличии утечек воздуха на ГВУ при всасывающем способе проветривания *a* и схема вентиляционных соединений этого же участка сети *б*

На рис. 2а и б приводится принципиальная схема вентиляции и схема вентиляционных соединений такого участка сети рудника.

Из схемы видно, что участок зоны обрушения (ветвь 2) находится в последовательном соединении с

участком вентиляционного горизонта (ветвь 3). В то же время, вентиляционная ветвь шахты (ветвь I) до узла 3 находится в параллельном соединении с ветвью (2-3), включающую в себя зону обрушения и участок вентиляционного горизонта.

Исходя из формулы (6) и (13), можно записать

$$n_{2-3} = \frac{n_2 h_2 + n_3 h_3}{n_2 + n_3}. \quad (14)$$

$$n_4 = \frac{Q_4}{\frac{Q_1}{n_1} + \frac{Q_2}{n_{2-3}}} = \frac{Q'_u}{\frac{Q_u}{n_1} + \frac{Q_{3.o.}}{n_{2-3}}}, \quad (15)$$

где $Q_1=Q_u$ - количество воздуха, поступающего в шахту и затем направляющееся на вентиляционный горизонт; $Q_2=Q_{3.o.}$ - величина фильтрационных утечек с поверхности через зону обрушения для отдельного участка шахты; $Q_4=Q'_u$ - количество воздуха, исходящее из шахты по вентиляционному стволу.

Подставив (14) в (15), получим общий вид формулы для определения общего показателя режима движения воздушных потоков в шахтной сети

$$n_{u.c.} = \frac{Q'_u n_1 (n_{3.o.} h_{3.o.} + n_{BG} h_{BG})}{Q_u (n_{3.o.} h_{3.o.} + n_{BG} h_{BG}) + Q_{3.o.} n_1 (h_{3.o.} + h_{BG})}, \quad (16)$$

где $h_2 = h_{3.o.}$ - средняя депрессия зоны обрушения; $h_3 = h_{6.z.}$ - депрессия участка вентиляционного горизонта; $n_2 = n_{3.o.}$ - показатель режима движения при фильтрации через обрушения; $n_{6.z.}$ - показатель режима движения воздушного потока на участке вентиляционного горизонта.

Так как ветви утечек воздуха с поверхности через надшахтное здание (ветвь 12-10) и утечки через неплотности канала вентилятора (ветвь 13-10) находятся в параллельном соединении с шахтной вентиляционной сетью, то тогда на основании формулы (16) общий показатель режима движения воздуха в вентиляционной сети рудника определится из выражения

$$n_{BC} = \frac{Q_B}{\frac{Q'_u}{n_{u.c.}} + \frac{Q_{n.z.}}{n_{n.z.}} + \frac{Q_{кан}}{n_{кан}}} = \frac{Q_B}{\frac{Q_u}{n_u} + \frac{Q_{3.o.} (h_{3.o.} + h_{BG})}{n_{3.o.} h_{3.o.} + n_{BG} h_{BG}} + \frac{Q_{n.z.}}{n_{n.z.}} + \frac{Q_{кан}}{n_{кан}}}, \quad (17)$$

где $Q_{n.z.}$ и $n_{n.z.}$ - величина утечек и показатель режима движения при утечках через герметизирующие устройства надшахтного здания вентиляционного ствола; $Q_{кан}$ и $n_{кан}$ - величина утечек и показатель режима движения при утечках через неплотности канала вентилятора и резервный вентилятор.

По формулам (6), (13), (16) и (17) с использованием вычисленных по результатам воздушно-депрессионных съемок шахт и аэродинамических испытаний ГВУ значений величин n_i , h_i , Q_i , могут быть определены значения общих показателей режимов движения воздуха в шахтных и вентиляционных сетях рудников.

С другой стороны, общий показатель режима движения в вентиляционной сети рудника $n_{6.c.}$ может быть определен на основании результатов измерений с достаточно высокой степенью точности и Q_6 и h_6 в канале ГВУ при различных, но не сильно отличающихся режимах его работы и логарифмирования уравнения (2) для двух значений расходов воздуха Q'_6 и Q''_6 , и депрессий h'_6 и h''_6

$$n_{BC} = \frac{\lg h''_6 - \lg h'_6}{\lg Q''_6 - \lg Q'_6}.$$

Для оценки влияния неточности при выборе показателя режима движения воздуха на величину ошибки при расчетах параметров вентиляционных сетей, найдем относительную погрешность при определении $R_{вс}$ в случае использования квадратичного и комбинированного режимов движения воздуха в вентиляционных сетях рудников.

Согласно результатам комплексного обследования вентиляционных систем рудников Кривбасса [2,8], значения основных аэродинамических параметров действующих рудников находятся в следующих пределах: Q_e - 107,1-339,2 м³/с и соответственно, h_e - 166,4-443,9 даПа.

Если принять, что $n_{вс} = 2$, то $R_{вс}$ находится в пределах 0,0145-0,0039 Н·с²/м⁸ а при $n_{вс} = 1,8$ [7] $R_{вс}$ - 0,037-0,0124 Н·с²/м^{7,43}. Таким образом, погрешность δ при расчетах $R_{вс}$ может составлять 60,8-68,6 %.

Выводы и направление дальнейших исследований. Выполненные расчеты свидетельствуют о том, что неточности при выборе показателя режима движения воздуха через обрушенные зоны приводят к значительным ошибкам при расчетах значений основных аэродинамических параметров вентиляционных сетей рудников с активными обрушениями.

Приведенная методика определения общего показателя режима движения в вентиляционных сетях рудников с обрушениями позволяет уточнить закон сопротивления в сети, более надежно определять характеристики сетей рудников, режимы работы ГВУ и показатели эффективности их эксплуатации.

Список литературы

1. **Абрамов Ф. А.** Рудничная аэрогазодинамика / **Ф. А. Абрамов** // М.: Недра, 1972. – 272с.
2. **Ошмянский И. Б., Евстратенко Л. И.** Проблемы повышения эффективности функционирования вентиляционных систем при добыче руды с глубоких горнорудных шахт / **Ошмянский И. Б., Евстратенко Л. И.** . – Проблемы недропользования. Сборник научных трудов. Часть I.- Санкт-Петербург, 2013.—С. 99-101
3. **Шашмури Ю. А., Луковский В. Д.** Исследование влияния зоны обрушения на общешахтный режим движения воздуха. - В к н.: Физика и технология разработки недр/ **Шашмури Ю. А., Луковский В. Д.**// М.-Л.: Наука, 1965. - С. 35-33.
4. **Маскет М.** Течение однородных жидкостей в пористой среде. **М. Маскет** – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 628 с.
5. **Ярцев В. А.** Экспериментальное определение аэродинамического сопротивления общего комплекса обрушений шахты "Южная" Гороблагодатского рудника. **В. А. Ярцев**// - Горный журнал, 1962, №6. - С. 43-45.
6. **Ярцев В. А.** Аэродинамическое сопротивление обрушений. **В. А. Ярцев**// - Горный журнал, 1966, №2. – С. 23-30.
7. **Ошмянский И. Б., Лапшин А. Е.** Исследование на аэродинамической модели проницаемости обрушенных пород рудников. **Ошмянский И. Б., Лапшин А. Е.** - Изв. вузов. Горный журнал, 1978, №8. - С. 68-72.
8. **Ошмянский И. Б.** Распределение аэродинамических параметров фильтрации в обрушениях рудников Кривбасса / **И. Б. Ошмянский, А. Е. Лапшин** // Вентиляция шахт и рудников. – Л.:ЛГИ, 1980. – вып. 7. – С. 46-49.
9. **Engelund F.** On the Laminar and Turbulent Flows of Ground Water through Homogeneous Sand / **F. Engelund** // – Transactions of the Danish: Academy of Technical Sciences – 1953. – № 3. – P. 356 – 361.
10. **Darcy H.** Les fontaines publiques de la ville de Dijon / **H. Darcy.** – Paris: 1856. – 647 p.
11. **Шашмури Ю. А.** Фильтрационные утечки рудничного воздуха / **Ю. А. Шашмури.** – Ленинград: Наука, 1970. – 130 с.
12. **Гершун О.С.** Движение воздуха через обрушения шахт Кривбасса / **О. С. Гершун** // Известия ДГИ. – т. 40. – 1961. С. 26-29.
13. **Савенко С. К.** Аэрогазодинамика массовых взрывов в рудниках / **С. К. Савенко, Е. Г. Морозов, В. И. Бережной.** – М.: Недра, 1976. – 184 с.
14. **Алборов И.Д.** Аэродинамическое сопротивление зон обрушения / **И. Д. Алборов, Ч. М. Худиев** // Безопасность труда в промышленности. – № 3.–1995. – С. 23-27.
15. **Boussinesq J. V.** Theorie de l'intumescence liquide, appelee onde solitaire ou de translation, se propageant dans un canal rectangulaire / **J. V. Boussinesq** // Comptes Rendus Acad. Sci. Paris. 1871. - V. 72. - P. 755-759. (фр.)

Рукопись поступила в редакцию 28.03.15

УДК 622.788: 669.162

Ф.М. ЖУРАВЛЕВ, канд. техн. наук, доц., В.П. ЛЯЛЮК, д-р техн. наук, проф.,
Д.А. КАССИМ, И.А. ЛЯХОВА, кандидаты. техн. наук, доц., Е.В. ЧУПРИНОВ, ассистент
Криворожский металлургический институт, ГВУЗ “Криворожский национальный университет”

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОФЛЮСОВАННОГО ОКУСКОВАННОГО МАТЕРИАЛА С ОСТАТОЧНЫМ УГЛЕРОДОМ ДЛЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

Проведенные лабораторные испытания позволили отработать и выбрать оптимальные технологические параметры получения сырых окатышей с высокой и низкой температурами плавления, главной особенностью которых является наличие закатанного внутрь высокотемпературных окатышей твердого топлива. Анализ характеристик полученных железорудных материалов свидетельствует об их соответствии всем требованиям для дальнейшей термообработки. Разработаны режимы получения сырых окатышей с высокой температурой плавления и закатанным внутрь антрацитом и термообработки (нагрева, обжига и охлаждения) смеси окатышей с низкой и высокой температурами плавления, позволяющие получать офлюсованные локальные спекы с максимальным количеством остаточного углерода в готовом продукте. Показано, что увеличение скорости нагрева окатышей после сушки со 100 до 500°C/мин., а скорости охлаждения спеков со 100 до 600 °C/мин. позволяет повысить содержание остаточного углерода в спеках с 0,4 % до 2,1-2,5 %. Сравнение технологических характеристик полученных офлюсованных локальных спеков с остаточным углеродом, агломерата и окисленных обожженных окатышей показало, что разработанный окускованный железосодержащий материал не только соответствует требованиям для доменной плавки, но и обладает лучшими металлургическими характеристиками.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Традиционные способы совершенствования технологии доменной плавки для повышения производительности печи и снижения удельного расхода кокса в значительной степени исчерпаны. В их числе наиболее значимые: улучшение комплекса металлургических характеристик окускованного железорудного сырья (агломерата и окатышей), использование добавок к дутью (природный и коксовый газы, мазут, кислород), замена части кокса кусковым антрацитом и пылеугольным топливом, нагрев дутья до максимальной температуры и пр.

Анализ исследований и публикаций. Наиболее перспективными и до конца не исчерпанными способами, на наш взгляд, являются: улучшение комплекса металлургических характеристик окускованного железорудного сырья до показателей, согласно современных требований доменной плавки и создание окускованного продукта, имеющего в своем составе определенное количество недефицитного твердого топлива. Причем, непременным условием создания такого окускованного материала, при улучшении его металлургических характеристик, должна быть возможность минимального усложнения и удорожания существующей промышленной технологии и оборудования в производстве этого окускованного материала [1,2].

Каждое из традиционных видов окускованного железорудного материала (кусовая руда, агломерат, окатыши) обладают рядом положительных и отрицательных металлургических характеристик, с точки зрения требований доменной плавки. Поэтому разработаны ряд технологий производства полностью офлюсованного окускованного железорудного материала, обладающего положительными характеристиками традиционных окускованных материалов, не имеющих их отрицательных характеристик и соответствующих современным требованиям доменной плавки [3-5].

Основной затратной статьей в себестоимости выплавки чугуна в доменных печах является удельный расход кокса [6]. В настоящее время используются технологии частичной (в большей или меньшей степени) замены металлургического кокса в доменной плавке другими видами менее дефицитных и менее дорогостоящих (твердых, жидких и газообразных) топлив. Основными требованиями к этим топливам являются: максимально возможное содержание полезных и минимальное - вредных элементов, а также минимальное влияние на газопроницаемость столба шихты в печи при их использовании. К числу таких технологий относятся: ввод в шихту доменной плавки кускового антрацита, вдувание в доменную печь пылеугольного топлива, природного и коксового газов, а также мазута [7].

Разработаны также технологии получения окускованных железорудных материалов (агломерат и окатыши), содержащих в своем составе остаточный углерод из введенного и не сго-

ревшего в них твердого топлива [8-13]. Проводились опытные плавки с использованием этих материалов в доменной шихте [14].

Постановка задания. Цель исследования - отработка режимов получения офлюсованных локальных спеков с остаточным углеродом, обладающих лучшими металлургическими характеристиками по сравнению с агломератом и обожженными окатышами.

Изложение материала и результаты. Каждая из отмеченных выше технологий имеет свои преимущества и недостатки как в подготовке топлива к вводу в доменную печь, так и в его влиянии на технико-экономические показатели доменной плавки. Несомненным преимуществом окускованного железорудного материала с остаточным углеродом является то, что в процессе его термоупрочнения он предварительно частично восстанавливается изнутри за счет газификации закатанного внутрь углерода твердого топлива, а затем при плавке одновременно восстанавливается с поверхности восстановительными газами доменной печи и из центра куска за счет газификации остаточного углерода, что ускоряет скорость восстановления всего куска и, соответственно, производительность доменной печи.

Кроме того, исключается влияние разрушения кусков угля внутри железорудного материала при их термическом нагреве на газопроницаемость столба шихтовых материалов в доменной печи, так как уголь находится внутри агломерата или окатыша. Сложность технологий подготовки окускованного железорудного сырья с остаточным углеродом заключается в двух аспектах: сохранении максимального количества не сгоревшего твердого топлива в окислительной атмосфере при спекании агломерата и обжиге окатышей, а также при их охлаждении; неконтролируемом развитии высоких температур при сгорании твердого топлива внутри железорудного материала, приводящее к его расплавлению и нарушению технологического процесса. Разработанные технологии получения обожженных окатышей с остаточным углеродом имеют один существенный недостаток – угол естественного откоса ниже, чем у кокса и агломерата, что нарушает необходимое распределение материалов на колошнике доменной печи. Поэтому, разработана технология получения полностью офлюсованных локальных спеков с остаточным углеродом [15].

Сущность технологии заключается в следующем. В качестве твердого топлива использовался антрацит, как наименее реакционное из природных топлив. Определялась оптимальная крупность топлива, исходя из ряда технологических требований к нему: обеспечение накатывания шихты на все кусочки топлива и получение в окускованном материале после термообработки в окислительной атмосфере максимальное содержание остаточного углерода. Все выделенные фракции антрацита обрабатывались лигносульфонатом натрия по технологии [11] для придания гидрофобной поверхности антрацита гидрофильной способности.

Подготавливались две шихты для получения сырых окатышей с высокой и низкой температурами плавления согласно технологиям [3,4]. Шихта для получения сырых окатышей с высокой температурой плавления состояла из железорудного концентрата, магнийсодержащего флюса, связующей добавки, тугоплавких минералов (при необходимости) и была низкоосновной. Эта шихта смешивалась с антрацитом выделенной крупности и обработанным реагентом Шихта для получения сырых окатышей с низкой температурой плавления состояла из железорудного концентрата, известняка, связующей добавки, легкоплавких минералов (при необходимости) и была высокоосновной.

Из каждой шихты получали сырые окатыши необходимой крупности: с высокой температурой плавления - 14-20 мм, а с низкой температурой плавления - 8-14 мм. Оба вида сырых окатышей смешивались. Количество высокотемпературных и низкотемпературных окатышей в смеси и их основности обеспечивали получение всего окускованного продукта заданной основности.

Результаты отработки технологии получения сырых окатышей показали, что при одинаковой производительности чашевого окомкователя, одинаковом удельном расходе реагента для антрацита и одинаковом количестве антрацита в шихте полностью закатываются в сырые окатыши фракции антрацита крупностью 0-5 мм, 0-7 мм и 0-10 мм. Сырых же окатышей годного класса с более крупными (0-15, 0-20 и 0-25 мм) фракциями антрацита составляет только, соответственно, от 78,3 до 66,8 %. При этом, прочностные характеристики сырых окатышей с закатанным антрацитом крупностью от 0 до 10 мм аналогичны окатышам без антрацита. Сырые окатыши с закатанными более крупными фракциями антрацита (от 0 до 25 мм) имеют также более низкие прочностные показатели (табл. 1). Учитывая то, что при термоупрочнении сырых

окатышей из более крупных фракций антрацита при одинаковой степени выгорания останется большее содержание остаточного углерода в обожженных окатышей, для дальнейших испытаний использовали только антрацит крупностью 0-10 мм.

Сырые окатыши с высокой температурой плавления и закатанным внутрь них антрацитом смешивались с сырыми окатышами с низкой температурой плавления в соотношении, соответственно, 60-85 и 40-15 %, смесь загружалась слоем высотой 300 мм в обжиговую чашу и подвергалась термообработке, включающей сушку, нагрев, высокотемпературный обжиг и охлаждение. В процессе термообработки смеси окатышей изменяли скорости нагрева (от 100 до 500 °С/мин.) и охлаждения (от 100 до 600 °С/мин.). Продолжительность высокотемпературного обжига во всех опытах была постоянной (табл. 2).

Таблица 1

Характеристики получения сырых окатышей с высокой температурой плавления и закатанным внутрь твердым топливом

Показатели окомкования	Варианты испытаний							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Производительность окомкователя, т/ч	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Содержание углерода в шихте высокотемпературных окатышей, %	0	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
Удельный расход реагента, кг/ т угля	0	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Крупность антрацита, мм	0	0-5	0-10	0-15	0-20	0-25	0-10	0-7
Массовая доля влаги в сырых окатышах, %	8,9	8,6	8,7	8,5	8,8	8,6	8,5	8,4
Количество годного класса (14-20 мм) в сырых окатышах, %	92,4	93,1	92,7	78,3	73,5	66,8	93,1	92,2
Количество закатанного в сырые окатыши антрацита, %	0	100	99,9	89,4	66,8	53,5	100	100
Прочность на сжатие сырых окатышей, кг/ок	1,2	1,3	1,2	1,1	1,3	1,1	1,2	1,0
Прочность на удар сырых окатышей, раз	5,8	5,6	5,9	5,4	5,7	5,6	5,2	5,8

Испытания показали, что при одинаковом содержании закатанного внутрь высокотемпературных окатышей углерода, увеличение скорости нагрева высушенных окатышей и скорости охлаждения спеков приводит к возрастанию содержания остаточного углерода в конечном продукте, причем наибольший прирост остаточного углерода в спеке с 0,4 до 2,1 % наблюдается при возрастании скоростей нагрева и охлаждения со 100 до 250-350 °С/мин.

При дальнейшем увеличении скоростей нагрева и охлаждения до 500-600 °С/мин. содержание остаточного углерода в спеках возрастает не столь значительно (до 2,5 %).

Увеличение скоростей нагрева высушенных окатышей и охлаждения спеков увеличивает также содержание железа и закиси железа в готовом продукте за счет частичного восстановления оксидов железа при газификации закатанного внутрь окатышей антрацита.

Возрастает также удельная производительность обжигового агрегата (с 0,87-0,96 т/м²·ч до 1,51-1,67 т/м²·ч) и снижаются удельные расходы энергоносителей (природного газа и электроэнергии).

Прочностные характеристики спеков с остаточным углеродом практически остаются такими же, как и спеков без остаточного углерода.

Свойства в процессе восстановительно-тепловой обработки спеков с остаточным углеродом улучшаются.

Так, прочность при восстановлении возрастает с 92,3 % до 92,8-95,4 %, а истираемость при восстановлении снижается с 4,7 % до 4,6-2,7 %.

Увеличивается при этом и степень восстановления спеков с 87,5 % до 90,2-93,8 %.

При этом угол естественного откоса спеков с остаточным углеродом (37-41 град.) аналогичен агломерату и спекам без углерода (см. табл. 2).

Исходя из приведенных данных испытанных режимов термообработки смеси высокотемпературных и низкотемпературных сырых окатышей возможен выбор оптимальных параметров для получения готового продукта - офлюсованных локальных спеков с остаточным углеродом с целью обеспечения заданных режимов доменной плавки, обеспечивающих ее максимальную производительность и минимальный удельный расход кокса.

Показатели процесса термообработки сырых окатышей при получении офлюсованных локальных спеков с остаточным углеродом

Показатели термообработки смеси сырых окатышей	Варианты испытаний							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Содержание углерода в шихте высокотемпературных окатышей, %	0	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
Крупность антрацита, мм	0	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10
Массовая доля влаги в сырых окатышах, %	8,6	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4
Количество годного класса в сырых окатышах, %	92,4	93,1	93,1	93,1	93,1	93,1	93,1	93,1
Количество закатанного в высокотемпературные окатыши топлива, %	0	100	100	100	100	100	100	100
Количество высоко- и низкотемпературных окатышей в смеси, %	60-85 и 40-15	60-85 и 40-15	60-85 и 40-15	60-85 и 40-15	60-85 и 40-15	60-85 и 40-15	60-85 и 40-15	60-85 и 40-15
Скорость нагрева высушенных окатышей, °С/мин.	100	100	130	180	250	350	400	500
Температура высокотемпературного обжига, °С	1250-1350	1250-1350	1250-1350	1250-1350	1250-1350	1250-1350	1250-1350	1250-1350
Продолжительность обжига, мин.	6	6	6	6	6	6	6	6
Скорость охлаждения спека до 400-700 °С, °С/мин.	100	100	120	150	200	300	400	600
Продолжительность термоупрочнения спеков*, мин.	27,6	27,6	24,0	19,3	15,8	12,7	11,3	10,1
Удельная производительность обжигового агрегата, т/м ² ·ч	0,87	0,87	0,96	1,12	1,28	1,47	1,51	1,67
Удельный расход газа на термоупрочнение, м ³ /т	21,3	21,3	20,9	20,4	19,7	19,2	18,6	17,9
Содержание железа в спеках**, %	60,4	60,5	60,5	60,6	60,8	60,9	61,1	61,2
Содержание FeO в спеках, %	3,1	7,6	8,4	10,2	15,8	21,3	23,6	25,2
Содержание остаточного углерода в спеке, %	0	0,4	0,6	1,2	1,9	2,1	2,4	2,5
Прочность на удар спеков, %	94,3	96,1	95,4	96,2	94,4	95,9	96,3	94,1
Истираемость спеков, %	3,6	2,9	2,7	3,0	3,1	2,7	2,5	3,2
Прочность при восстановлении спеков, %	92,3	93,7	94,2	93,3	94,9	93,1	92,8	95,4
Истираемость при восстановлении, %	4,7	4,2	3,8	4,4	3,9	3,6	4,6	2,7
Степень восстановления спеков, %	87,5	87,3	92,1	93,7	93,8	90,2	92,5	91,6
Угол естественного откоса спеков, град	38	37	39	42	40	37	41	38

* – включает только нагрев, обжиг и охлаждение спеков;

** – содержание только в железосодержащей части спеков.

Сравнительные результаты испытаний определения металлургических характеристик различных окускованных материалов показали (таблица 3), что в полученных офлюсованных спеках с остаточным углеродом содержание железа выше, чем в промышленном агломерате и примерно на том же уровне, что в промышленных окатышах.

За счет частичного восстановления от газификации закатанного твердого топлива степень восстановления этого материала несколько выше, чем у ранее разработанных офлюсованных локальных спеков без остаточного углерода [1, 2].

При этом основность всех окускованных материалов практически одинакова. Гранулометрический состав более однородней чем у агломерата, а содержание мелочи (0-5 мм) ниже.

При этом прочностные характеристики исходного материала лучше чем у агломерата (прочность на удар 93,5-96,4 % против 57,4-84,5 %; а истираемость 3,6-2,5 % против 10,2-8,3 %) и практически аналогичны окатышам и спекам без углерода.

Угол естественного откоса аналогичен агломерату и коксу и выше чем у окатышей.

Свойства при восстановлении следующие: прочность при восстановлении аналогична окатышам и спекам без углерода и выше чем у агломерата, газопроницаемость и усадка слоя при восстановлении аналогична агломерату и спекам без углерода и лучше чем у окатышей, а степень восстановления выше чем у всех материалов.

Технологические показатели производства и металлургические характеристики окускованных железорудных материалов (производимых и разработанных)

Наименование показателей	Промышленный офлюсованный агломерат	Промышленные офлюсованные и неофлюсованные окатыши	Офлюсованные локальные спеки по [3, 4]	Офлюсованные локальные спеки с остаточным углеродом по [15]
Удельная производительность, т/м ² ·ч	1,1-1,3*	0,9-1,2**	0,9-1,2**	1,1-1,3**
Удельный расход тепла, МДж/т	1947-2452	401-1140	418-1213	409-1190
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	43,1-71,3	38,7-69,5	39,4-63,7	39,4-63,7
Содержание Fe _{общ.} , %	51,2-57,6***	62,2-65,8***	63,4-64,7***	63,5-64,8***
Содержание FeO, %	9,1-15,6	1,3-2,7	2,1-3,8	7,6-25,2
Содержание SiO ₂ , %	10,4-9,2	7,7-4,7	1,3-6,9	1,3-6,9
Содержание углерода, %	0	0	0	0,8-2,7
Основность (CaO/SiO ₂) готового продукта, доли.ед.	1,2-1,8	0,1-1,25	1,25-1,5	1,25-1,5
Содержание классов, %: 60-100 мм	23,7-35,6	0	0	0
20-60 мм	55,9-34,3	0	85,3-72,4	85,9-71,8
5-20 мм	12,3-7,8	93,5-97,3	12,6-24,4	11,9-24,8
0-5 мм	8,1-20,4	4,5-2,7	2,1-3,2	2,2-3,4
Прочность в барабане, ДСТУ ISO 3271:2005, %:				
на удар (+5 мм)	84,5-57,4	92,4-97,1	93,1-96,7	93,5-96,4
истираемость (-0,5 мм)	8,3-10,2	5,8-1,5	3,8-2,9	3,6-2,5
Прочность при восстановлении, ДСТУ ISO 7215:2008, %:				
прочность (+5 мм)	37,8-49,4	69,3-95,8	73,1-92,8	72,9-93,1
истираемость (-0,5 мм)	10,4-9,8	4,7-2,1	4,3-3,6	4,2-3,3
Газопроницаемость и усадка слоя при восстановлении, ДСТУ 3205-95:				
усадка слоя, %	15-18	23-67	14-26	13-19
перепад давления, Па	68-71	108-154	58-73	60-72
Степень восстановления, ДСТУ ISO 7215:2008, %	65,1-82,3	72,8-91,4	87,2-93,4	89,1-93,8
Угол естественного откоса, град.	38-41	28-32	36-41	37-40

* - рабочая площадь агломашин включает только зону спекания, без зоны охлаждения;

** - рабочая площадь обжиговой машины включает зоны сушки, нагрева, обжига и охлаждения;

*** - содержание железа в железосодержащей части окускованного материала.

Выводы и направление дальнейших исследований. Таким образом, результаты испытаний показали, что разработанный окускованный железосодержащий материал - офлюсованные локальные спеки с остаточным углеродом, обладает лучшими металлургическими характеристиками агломерата и окатышей и имеет при этом остаточный углерод, удовлетворяющий современные требования доменной плавки к металлургическим характеристикам железорудного сырья и способствующий снижению удельного расхода кокса в доменной печи.

Список литературы

1. Основные направления совершенствования технологии и оборудования в производстве агломерата / **А.Д. Учитель, В.П. Лялюк, Ф.М. Журавлев** и др. // Бюллетень научно-технической и экономической информации "Черная металлургия". – 2013. – №8. – с. 8-17.
2. Оптимизация технологических характеристик твердого топлива в спекаемом слое аглошихты / **В.П. Лялюк, Ф.М. Журавлев, И.А. Ляхова** и др. // Сб. КНУ Гірничий вісник. – 2013. – №96. – С. 141-144.
3. Патент України № 84769. Спосіб виробництва офлюсованого огрудкованого матеріалу/ **В.П. Лялюк, Ф.М. Журавльов, М.І. Ступнік, О.Д. Учитель** та ін. – 2013. – Бюл. №20.
4. Патент України № 85685. Спосіб виробництва офлюсованого огрудкованого матеріалу/ **В.П. Лялюк, Ф.М. Журавльов, М.І. Ступнік, О.Д. Учитель** та ін. – 2013. – Бюл. №22.
5. Патент України № 85795. Спосіб виробництва офлюсованого огрудкованого матеріалу з підвищеним вмістом заліза / **В.П. Лялюк, Ф.М. Журавльов, М.І. Ступнік, О.Д. Учитель** та ін. – 2013. – Бюл. №22.
6. Металлургия чугуна: Учебник для вузов / **Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев** и др. – М.: ИКЦ "Академкнига", 2004. – 774 с.
7. Коксозамещающие технологии в доменной плавке / **В.П. Лялюк, И.Г. Товаровский, Д.А. Демчук** и др. – Днепропетровск: Пороги, 2006. – 276 с.
8. А.с. СССР №1188217. Способ производства агломерата / **Г.Г. Ефименко, С.П. Ефимов, Б.В. Кушнарв** и др. – 1985. – Бюл. №40.

9. А.с. СССР №1617021. Способ получения железорудных окатышей с остаточным углеродом / **М.З. Рогинский, М.Д. Жембус, С.Г. Шарапов**. – 1990. – Бюл. №48.
10. Производство опытной партии железорудных окатышей с остаточным углеродом на СевГОКе / **Ф.М. Журавлев, Д.А. Ковалев, О.А. Гогенко** и др. // Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Пути развития науки и техники при подготовке руд черных металлов к металлургическому переделу». – Кривой Рог, 1991. – С. 23-25
11. Патент України №94772. Спосіб виробництва обпалених обкотишів із залишковим вуглецем / **Ф.М. Журавльов, В.П. Лялюк, І.А. Ляхова** та інші. – 2014. – Бюл. №22.
12. Патент України №95240. Спосіб виробництва обпалених котунів із залишковим вуглецем / **Ф.М. Журавльов, В.П. Лялюк, І.А. Ляхова** та інші. – 2014. – Бюл. № 23.
13. Патент України №95241. Спосіб отримання випалених котунів із залишковим вуглецем / **Ф.М. Журавльов, В.П. Лялюк, І.А. Ляхова** та інші. – 2014. – Бюл. №23.
14. Использование опытных железорудных офлюсованных окатышей с остаточным углеродом в доменной плавке / **Д.А. Ковалев, Ф.М. Журавлев, Н.Д. Ванюкова** и др. // Сталь. – 1999. – №8. – С. 4-9
15. Патент України по заявці № 2014 12054. Спосіб виробництва офлюсованого огрудкованого матеріалу із залишковим вуглецем / **Ф.М. Журавльов, В.П. Лялюк, І.А. Ляхова** та інші. – 2015.

Рукопись поступила в редакцию 17.04.15

УДК 622.81: 622.271: 622.235

В.И. ГОЛИК, д-р техн. наук, проф., Геофизический институт Владикавказского научного центра
В.И. КОМАЩЕНКО, д-р техн. наук, проф.,

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., Криворожский национальный университет

РАЗРАБОТКА ТИПОВЫХ ПРОЕКТОВ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРАХ ОТКРЫТОЙ ДОБЫЧИ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Совершенствование технологии открытой добычи руд на карьерах неразрывно связано с повышением эффективности буровзрывных работ (БВР), которые являются одной из важнейших составляющих современной технологии подготовки горной массы. Важным резервом повышения эффективности БВР является создание и внедрение новейших современных технологий взрывного разрушения, добычи и переработки железных руд, позволяющих снизить техногенные нагрузки горнодобывающих предприятий на окружающую среду. Следовательно, совершенствование взрывных работ на карьерах на основе оптимизации параметров БВР, базирующиеся на концепциях баз данных, имитационного моделирования, экспертных и геоинформационных систем-ГИС, а также разработки новых схем взрывания и конструкций зарядов, является актуальной задачей.

При проведении экспериментов использовалась комплексная методика исследований, включающая системный и статистический анализы, проведение экспериментальных взрывов, производственно-технические обобщения.

Ключевые слова: дробление горной массы, взрывная отбойка, карьеры, скважинные заряды, конверсионные добавки, буровзрывные работы, охрана окружающей среды, геоэкология.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Эффективное проектирование горных объектов невозможно без адекватного информационного обеспечения, поскольку процесс принятия решений сопряжен с анализом значительного объема разнородной информации и затруднен из-за недостаточной формализации. Большинство проектных организаций используют разнообразные компьютерные информационные системы, базирующиеся на концепциях баз данных, имитационного моделирования, экспертных и геоинформационных систем-ГИС [1].

В последнее время появилась необходимость решать принципиально новые задачи, в том числе автоматизации сводных расчетов параметров БВР. До настоящего времени эти расчеты проводились, в основном, как разовые работы. Проведению сводных расчетов предшествовала долгая работа по накоплению исходных данных. В настоящее время при стремительном изменении объемов производства, перераспределении и увеличении потоков очевидно динамичное изменение характеристик взрывных работ.

Предприятия, специализирующиеся на разработке программного обеспечения, осваивают идею, внедрение которой позволило бы проводить сводные расчеты параметров взрывных работ с любой частотой с минимальной предварительной подготовкой.

Анализ исследований и публикаций. Основная идея при этом заключается в том, что при разработке проектов основные характеристики взрывных работ заносятся в базы данных. Достаточно иметь программное обеспечение, позволяющее объединить полученные базы данных, провести анализ их корректности и выполнить сводный расчет параметров взрыва. В настоящее время разработана методология использования результатов сводных расчетов для определения вкладов отдельных процессов в показатели взрыва [2]. Для разработчиков программного обеспечения это означает необходимость решения двух задач. Первая - автоматическое определение допустимого вклада процесса в конечные показатели. Вторая - выдача рекомендаций после достижения установленных квот.

Совместный анализ различных факторов процессов отбойки возможен при использовании систем, построенных на базе ГИС-технологий, реализующих подход, при котором выделяется один связующий параметр - координаты на местности [3].

Почти все горные проблемы носят пространственный характер, а программы, направленные на их решение, требуют геоинформационного обеспечения. Использование информационной системы в сложных задачах уменьшает затраты в 4-8 раз по сравнению с тем, если бы эти задачи решались обычными способами.

В ГИС осуществляется комплексная обработка информации - от ее сбора до хранения, обновления и представления. Геоинформационные технологии предоставляют новые методы и средства обработки информации, обеспечивающие высокую наглядность отображения разнородной информации, мощность и удобство инструментария для анализа ситуаций, позволяют существенным образом повысить эффективность применяемых прикладных программ и сократить затраты ресурсов общества

В ГИС большую роль играют технологии создания электронных карт, представляющих собой динамическую визуализацию цифровых карт при помощи видеомониторов и соответствующего программного интерфейса. Визуализация пространственных данных в форме электронных карт выполняет роль интерфейса, обеспечивающего пользователю динамическое двустороннее взаимодействие с базой пространственных данных.

ГИС нового поколения отличается ориентацией на пользовательские модели данных с учетом предметной области и особенностей приложений. Их модели данных определяются классами объектов, наборами атрибутов, расширенными возможностями реализации запросов и операций над объектами по сравнению с предыдущим поколением.

Среди таких ГИС можно выделить: SICAD/open фирмы Siemens Nixdorf (Германия); Star фирмы Star Informatic (Бельгия); GRADIS GIS фирмы Straessle (Швейцария); Smallworld GIS фирмы Smallworld Systems Ltd (Великобритания); Spans GIS фирмы Tydac Technologies Inc. (Канада) [3].

Выбор конкретного инструментального средства зависит от специфики решаемой задачи, требований к вычислительным и материальным ресурсам. При выборе инструментария для создаваемой системы руководствуются требованиями:

- наличие методов анализа и обработки реляционных баз данных;
- поддержка распределенной обработки данных, методов доступа;
- возможность разработки пользовательских приложений и интерфейсов;
- возможность взаимодействия с другими приложениями;
- поддержка функции генерации графических объектов и др.

Выполнение данных требований невозможно при использовании настольных ГИС с ограниченными возможностями. Однако применение мощных полнофункциональных пакетов также нерационально в связи с их высокой стоимостью и требованиями к машинным ресурсам. Поэтому в качестве инструментального средства для разработки проекта целесообразно использование ГИС ArcView, занимающей промежуточное положение.

Программная реализация создаваемой системы включает две динамически подключаемые библиотеки: COMMPROC.DLL и EPMSPROC.DLL. COMMPROC.DLL является библиотекой универсальных, низкоуровневых процедур и функций. EPMSPROC.DLL является библиотекой вспомогательных процедур и функций, применяемых в рамках создаваемой компьютерной системы управления риском.

В разрабатываемой компьютерной системе предусмотрен механизм использования части исходной информации из баз данных оперативной документации, ведение которых

осуществляется в рамках существующих в настоящее время информационных систем автоматизации стандартных деловых процессов.

Поскольку нахождению оптимального решения соответствует полный перебор, а в случае реальной размерности задачи, из-за роста требуемого для указанного метода времени решения и объема памяти ЭВМ, целесообразным становится применение метода рандомизированного поиска, осуществляющего локальную оптимизацию.

Оценивают требуемые при заданной размерности задачи время решения и объем информации, необходимой для полного перебора.

Результаты расчетов выдаются пользователю для указания используемого метода оптимизации [4].

Зацикленность алгоритма соответствует повторяющемуся через установленные периоды процессу принятия проектным органом оптимальных решений.

На каждом новом цикле осуществляется выработка наиболее рационального хода для управляющего центра в антагонистической игре двух участников - природоохранного органа, целью которого является предотвращение ошибок проекта, и пользователей, стремящихся снизить затраты на природоохранную деятельность.

Постановка, цели исследований и задания. Параметры БВР при разработке месторождений полезных ископаемых должны обеспечивать заданные результаты дробления горной массы и безопасность работ.

При обосновании параметров оптимальных руководствуются требованиями «Технических правил», "Единых правил безопасности при взрывных работах" и "Нормативного справочника по буровзрывным работам".

Расчетные параметры корректируются с учетом совокупного влияния природных и техногенных факторов.

Предлагаемая программа предназначена для проектирования карьеров открытой добычи полезных ископаемых с параметрами: годовая производственная мощность до 1,3 млн м³, коэффициент прочности пород по проф. Протодеяконову от 3-4 до 16-18, высота уступов 7-20 м и диаметр скважин 100-250 мм [5].

Для решения поставленной задачи наиболее приемлемым является полный перебор и метод рандомизированного поиска на частичных планах, а условием нахождения приемлемого решения служит эффективность управления, заключающаяся в определении плана, при котором значение целевой функции лучше функционала, соответствующего первому, случайно выбранному допустимому решению, моделирующему управляющие воздействия при существующем подходе (рис. 1).

Программа состоит из интерфейсной части, обеспечивающей диалог с Пользователем и расчетной, содержащей модули для определения параметров БВР.

Интерфейсная часть программы представляет набор диалогов с Пользователем, расположенных в определенном порядке с возможностью перехода от одного диалога к другому.

Она обеспечивает возможность ввода, удаления и редактирования требований к исходным параметрам и результирующим показателям в зависимости от условий ведения БВР, а также регламентирует состав и содержание разделов типовых проектов (рис. 2).

Программа выдает диапазоны изменения высоты уступов, расположения скважин, конструкции зарядов, схемы взрывной сети, интервалы замедлений, элементы развала взорванной породы, радиусы опасных зон.

Предусмотрена вариация типов ВВ и средств инициирования, схем замедления, методов дробления негабарита.

Программа обеспечивает расчеты безотказности выбранных схем взрывания и безопасности производства БВР [6,7].

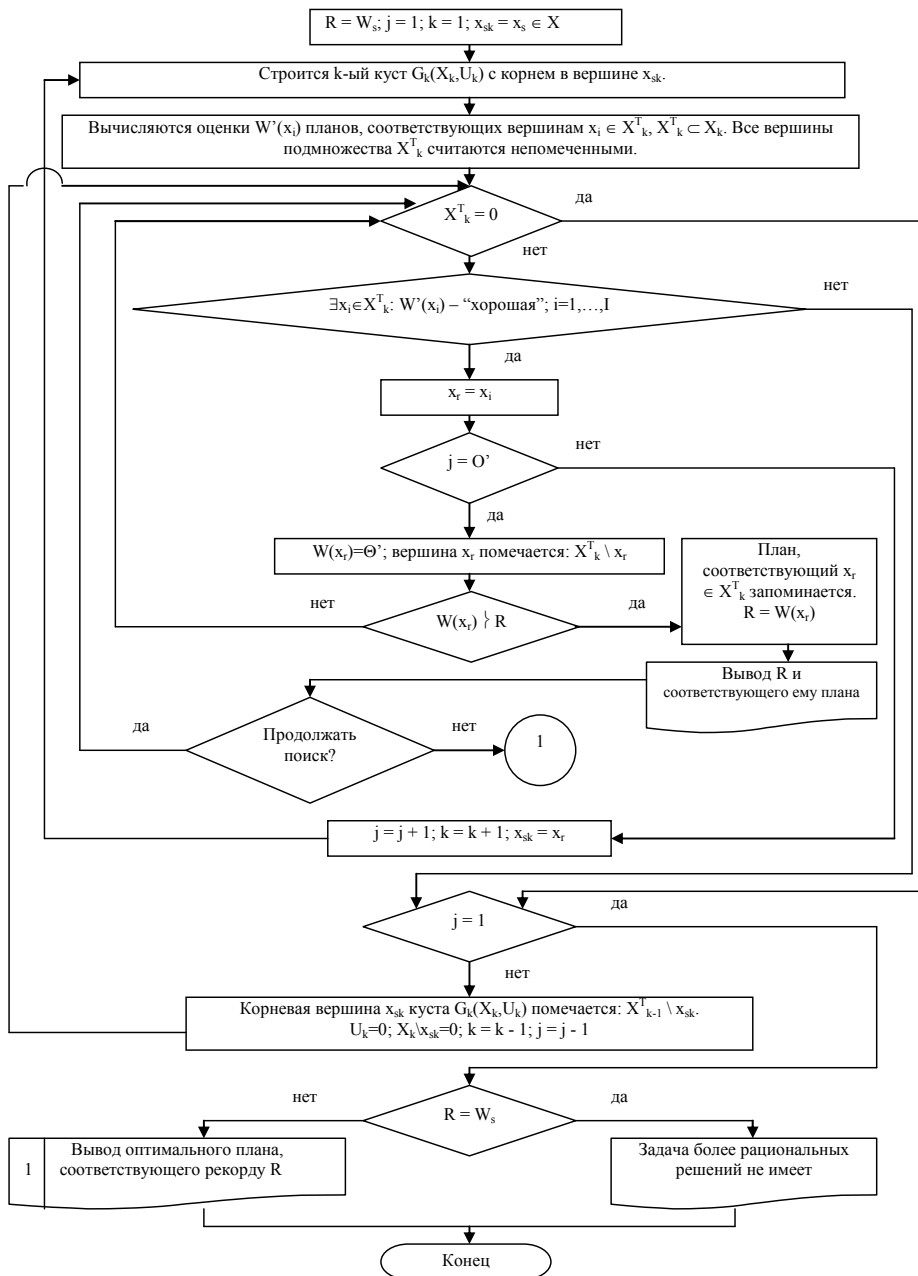


Рис. 1. Блок-схема алгоритма решения задачи снижения риска проектной ошибки перебором

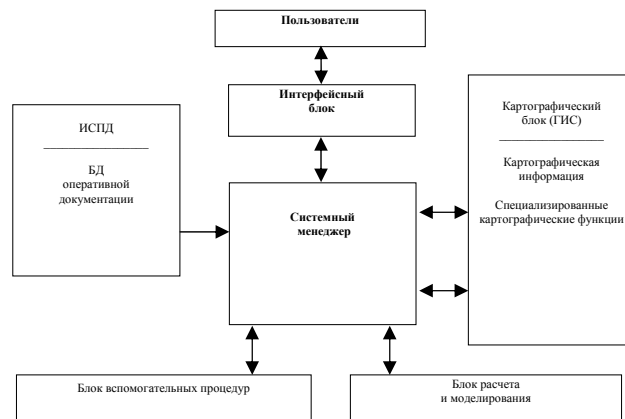


Рис. 2. Архитектура компьютерной системы управления риском проектной ошибки

В результате расчетов выдаются количество рядов и общее число скважин в типовых сериях, их число и объем горной массы. Программа позволяет вести графические построения расчетных схем.

Система, состоящая из информационного органа, пользователя и объект управления является централизованной, поскольку в качестве управляющего центра в ней выступает информационный орган, на который поступает управляющая информация. После переработки информации информационный орган вырабатывает управляющие воздействия на объект управления, переводя его в новое состояние, причем соотношение между воздействиями управляющего центра и состояниями объекта управления определяется переходной функцией рассматриваемой системы (рис. 3).

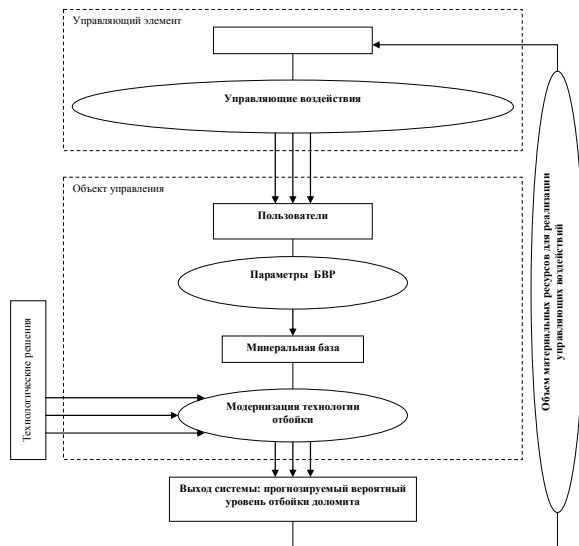


Рис. 3. Структурно-функциональная схема системы управления риском ошибки проектирования

Наиболее актуальной из них в условиях экономического кризиса является задача оптимального планирования и финансирования мероприятий, направленных на наиболее рациональное использование минеральных ресурсов.

Изложение материала и результаты. В качестве управляющих воздействий природоохранного органа на пользователей рассматривается использование новых параметров отбойки.

Внутренние состояния объекта управления при этом характеризуются прогнозируемыми вероятными объемами ошибок проекта, а выходом системы является прогнозируемый вероятный уровень эффективности

буровзрывных работ [8].

Разработка функции ошибки проектирования, являющейся выходной для рассматриваемой системы управления, возможна с помощью математического моделирования процесса буровзрывной отбойки.

Методика определения параметров зарядов и показателей буровзрывных работ включает в себя обоснования:

- массы и конструкции заряда, элементов расположения и типовых серий;
- способа дробления негабарита;
- обоснование схемы взрывной сети;
- безопасные режимы взрывных работ.

При использовании гранулированных, водосодержащих или порошкообразных взрывчатых веществ диаметр заряда равен диаметру скважины.

При использовании ВВ типа гранулитов, граммонитов, аммонитов плотность заряжания составляет $0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Максимальные значения линии сопротивления по подошве не должны превышать величин, определяемых по предельным нагрузкам на заряды с учетом блочности пород (табл. 1).

Значения коэффициента блочности породного массива

Таблица 1

Характеристика трещиноватости	Коеф-фициент	Категория трещиноватости
Трудновзрываемые монолитные и крупно блочные вязкие породы с отдельностями, превышающими расстояние между зарядами	0,9	V
Породы, разбитые сомкнутыми или цементированными трещинами	0,95	IV
Породы трещиноватые, часть трещин - зияющие или заполнены мягкими образованиями	1,0	II-III
Сильно трещиноватые породы, разбитые зияющими или заполненными рыхлыми образованиями трещинами, кроме горизонтальных	1,1	II
То же при горизонтальном залегании и наличии прослоек по подошве, а также мелко-блочных полускальные породы	1,15	I

При использовании гранулированных, водосодержащих или порошкообразных ВВ диаметр заряда принимается равным диаметру скважины с учетом коэффициента разбухания (табл. 2).

Таблица 2

Значения коэффициентов разбухания

Группа пород по шкале СНИП	Коэффициент разбухания
IV-V	1,05
VI-VII	1,04
VIII-IX	1,03
X-XI	1,02

Для других типов ВВ величина заряда корректируется в соответствии с экспериментальными данными и характеристикой ВВ (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика взрывчатых веществ

Взрывчатые вещества	Плотность заряжания, т/м ³	Коэффициент взрывной эффективности
Аммонит 6ЖВ порошкообразный	0,9	1,0
Аммонит 6ЖВ патронированный	1,0	1,0
Граммонит 30/70	0,9	1,0
Гранулотол	0,9	1,0
Гранипоры БП-1, БП-3	0,85	1,0
Дибазит	0,85	1,0
Аммонит скальный N1	1,2	1,25
Граммонит 79/21	0,9	1,0
Гранулит АС-4	0,9	1,0
Гранулит АС-8	0,9	1,05
Гранипор ФМ	0,85	1,0
Гранулит ПФ	0,85	0,8
Гранулит 1	0,85	
Водосодержащие ВВ, акватолы	1,35	1,2
Эмульсионные ВВ	1,15	1,05

Расчет расстояния между скважинами в ряду и между рядами скважин производится в зависимости от величины коэффициента сближения зарядов. В породах различной крепости величина коэффициента сближения зарядов составляет для пород различных групп 1,0-1,5.

При расчете массы заряда базовая величина принимается, исходя из максимальной величины коэффициента сближения зарядов в указанных диапазонах, и подлежит уточнению в зависимости от выполнения ограничений в отношении длины зарядов и их конструкции.

Если длина забойки больше величины линии сопротивления по подошве, применяют рассредоточенные заряды. При этом длина верхнего дополнительного заряда должна составлять не менее 0,2 линии сопротивления по подошве.

Длина инертного промежутка между нижней и верхней частями заряда составляет не менее 5 диаметров зарядов.

Промежуток подлежит заполнению забоечным материалом. Минимальная длина забойки в устье скважины в случае отбойки рассредоточенными зарядами может быть уменьшена до 0,8 линии сопротивления по подошве.

В "Программе" предусмотрено уточнение элементов расположения зарядов и массы зарядов, исходя из выполнения указанных ограничений, диапазона изменений коэффициентов сближения и минимальной длины забойки.

Число рядов скважин в серии должно быть не более 5-6. Количество скважин в каждом ряду и число рядов выбираются в зависимости от фактических условий производства БВР (ширина рабочей площадки, длина фронта блока, изменение высот уступов, наличие отбитой горной массы на карьере и др.).

В первом ряду обычно располагают не более 15-20 скважин.

Объем породы, взрываваемой в серии, рассчитывается, исходя из схемы организации работ на карьере и допустимого запаса взорванной горной массы. При производстве буровзрывных

работ на нескольких уступах Объем породы, взрываемой в серии, определяется для каждого уступа.

Расход ДШ, ЭД, электропровода определяется в зависимости от крепости пород, диаметра скважин, высоты уступов и конструкции зарядов.

Для дробления негабаритных кусков предусмотрено применение шпуровых или накладных зарядов (табл. 4). Расход бурения и средств взрывания определяется с учетом размера негабарита (табл. 5).

Таблица 4

Удельный расход ВВ при дроблении 1000 м³ негабаритных кусков

Заряды	Группа пород по СНиП							
	IV	V	VI	VII	VIII	X	X	XI
Шпуровые	140	180	230	280	330	380	440	480
Накладные	720	950	1200	1425	1700	1920	2150	2400

Таблица 5

Расход шпуров и электродетонаторов на 1000 м³ негабаритных кусков

Размер кондиционного куска, м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
Удельный расход бурения, м	900	850	650	600	500	200	100	50
Удельный расход электродетонаторов, шт.	800	500	260	200	150	100	75	60

Взрывание скважинных зарядов предусматривается с помощью промежуточных детонаторов, формируемых из шашек Т-400Г, ТГ-500, ГТП-500, ТП-200 (400), ТГФ-850Э и других, допущенных средств инициирования. Масса промежуточных детонаторов из шашек должна составлять не менее 400 г. При отбойке сплошными зарядами боевик располагают в верхней части заряда. Глубина погружения боевика в заряд принимается не менее $\frac{1}{3}$ высоты заряда. При использовании рассредоточенных зарядов боевики располагают в каждой из отдельных частей зарядов. Глубина погружения боевиков в каждый заряд такая же, как и в случае применения сплошных зарядов [9].

Иницирование боевиков проводится с помощью детонирующего шнура ДШ (ДША, ДШВ, ДШЭ-6, ДШЭ-12) или неэлектрическими волноводными системами типа "Эдилин", "СИНВ" и их аналогами. При глубине скважин более 15 м сеть ДШ дублируется.

Иницирование ДШ должно проводиться только с применением допущенных средств инициирования.

Если суммарный расход ДШ на серию превышает 300 м, т.е. ДШ подлежит дублированию, а расход ДШ удваивается. При отбойке трудновзрываемых пород и высоте столба воды в скважинах более 3 м боевики дублируют, а расход ДШ удваивают.

Источник тока уточняется в зависимости от максимального числа электродетонаторов, используемых для обеспечения безотказного инициирования принятого в серии числа зарядов.

Схемы взрывных сетей, короткозамедленного взрывания и конструкции боевиков конкретизируются в соответствии с фактическими условиями ведения работ.

Минимально допустимая величина зоны, опасной по разлету кусков породы при взрывании скважинных зарядов рыхления при взрывании скважинных зарядов принимается не менее 200 м [10].

Безопасные расстояния по действию ударных воздушных волн в породах IX группы и выше увеличивают в 1,5 раза, а при взрывании пород V группы - уменьшают в 2 раза. Если взрывные работы осуществляются при отрицательной температуре воздуха, безопасные расчетные расстояния увеличиваются в 1,5 раза.

При интервалах замедления от 30 до 50 мс рассчитанные расстояния увеличиваются в 1,2 раза, от 20 до 30 мс - в 1,5 и от 10 до 20 мс - в 2 раза.

Контроль качества буровзрывных работ осуществляется систематически в процессе бурения, заряжания и забойки. Устанавливаются минимально возможные значения отклонений параметров, при превышении которых работа оценивается неудовлетворительно (табл. 6).

При соблюдении указанных отклонений фактических параметров от их проектных значений гарантируется исключение завывшений подошвы уступов, отсутствие порогов и соблюдение

расчетных значений радиусов опасных зон по различным воздействиям. Фактический выход негабарита после взрывов отличается от проектного не более чем на 10 %.

Таблица 6

Предельные отклонения контролируемых параметров

Операция	Параметры	Отклонение
Бурение скважин	Глубина перебура, м	2/5
	ЛНСПП, м	2/5
	Разбежка скважин, м	2/5
	Направление бурения, град	3/7
Заряжание скважин	Масса заряда, %	2/5
Забойка скважин	Длина, м	4/8

В составе разделах проекта приводятся сведения по месторасположению карьера, расстояния до охраняемых объектов, условиях разработки (система разработки, число уступов и их высота, размер кондиционного куска, выход негабарита, тип буровых станков, диаметр скважин, применяемые ВМ, погрузочное оборудование), годовому объему взрывных работ и объему добытой горной массы.

В проекте приводятся конструкция зарядов и боевиков, места их расположения, а также сводные таблицы расчетов параметров для средней высоты уступов и дополнительно встречающихся высот уступов. Результаты расчетов годового объема бурения, расхода ВМ, максимального числа серий взрывов, удельные расходы ВВ, СИ и бурения представлены в табличной форме [11].

Проектом обосновывается способ взрывания зарядов, указывается источник тока, тип электродетонаторов, (средств неэлектрического инициирования), тип проводов и ДШ, приводится схема взрывной сети, описывается схема монтажа взрывной сети, обеспечивающие безотказное инициирование зарядов.

В проекте массового взрыва приводится распорядок взрывных работ, расчеты стоимости БВР и потребности в рабочей силе, материалах, механизмах в соответствии с выбранными параметрами отбойки, требованиями технического задания и типовой схемой организации работ приводятся в сметах или калькуляциях и в состав типового проекта производства БВР не включаются.

При приемке, контроле и оценке качества буровзрывных работ определяется перечень параметров, контролируемых в процессе подготовки взрывов скважинных зарядов. В табличной форме приводятся допустимые отклонения параметров от их проектных значений в процессе бурения, заряжания и забойки скважин. Рассматривается порядок браковки выполненных работ и осуществления контроля за их выполнением.

Содержание разделов проекта уточняется в зависимости от условий производства буровзрывных работ (отбойка в стесненных условиях, применение комбинированных зарядов, внутрискважинных замедлений и новых типов ВМ, механизированное заряжание и забойка и т.п.) [12].

К проекту прилагаются: техническое задание на производство БВР; основные положения проекта; принципиальные схемы взрывной сети. Конструкции зарядов; ситуационный план в масштабе 1:1000 или 1:2000 с нанесением мест взрывных работ, опасной зоны, постов оцепления, предупредительных надписей, сирены, шлагбаумов.

Оформление ситуационного плана производится с учетом фактической обстановки на карьере, требований контролирующих органов и параметров отбойки, приведенных в проекте.

Разработанная с помощью ЭВМ программа для составления проектов производства буровзрывных работ на карьерах открытой добычи полезных ископаемых при годовом эффективна при объеме добычи до 1,3 млн м³, высоте уступов 7-20 м и диаметре скважин 100-250 мм, локализованных в породах различной крепости, трещиноватости и обводненности [13].

Программа повышает точность и надежность расчетов, благодаря учету в программе совокупного влияния природных и технических факторов на результаты взрывов и безопасность работ. Интерфейсная и расчетная части программы включают все необходимые для разработки проектов справочные материалы и описание современной техники и технологии буровзрывных работ на карьерах открытой добычи.

В программную реализацию компьютерной системы управления проектирования взрывных работ включены математические модели рассматриваемого процесса и его оптимизации.

Инструментальным средством создаваемой системы является ГИС ArcView, характеризующаяся наличием широких возможностей при работе с базами данных, реализующая передовые идеи в технологии управления географической информацией и являющаяся одной из наиболее приемлемых систем с экономической точки зрения.

Для разработки вспомогательных процедур используется среда визуального программирования Delphi 5 - одно из наиболее мощных и современных универсальных средств программирования, совместимых с большинством существующих в настоящее время компьютерных платформ.

Программа реализована на практике Боснийского месторождения доломитов (Россия, Республика Северная Осетия-Алания) [14]. Месторождение является одним из крупнейших в мире. Количество балансовых запасов составляет 238 млн т, что достаточно для существования карьера с годовой производственной мощностью 700 тыс. т сроком до 350 лет.

Нижняя часть Центрального участка месторождения между высотными отметками 980 и 1090 м разрабатывается тремя уступами высотой последовательно снизу вверх 45, 50 и 15 м. Углы откосов уступов равны 70° .

Полезное ископаемое отбивали камерными зарядами ВВ. В основании уступов на горизонтах 980, 1025 и 1075 м проходили штольни в юго-западном направлении сечением $1,6 \times 2,0$ м на глубину от 40 до 50 м. Расстояние между штольнями по простиранию колеблется в пределах 40-50 м. По откосу нижнего уступа доломит скатывалась вниз (рис. 4).

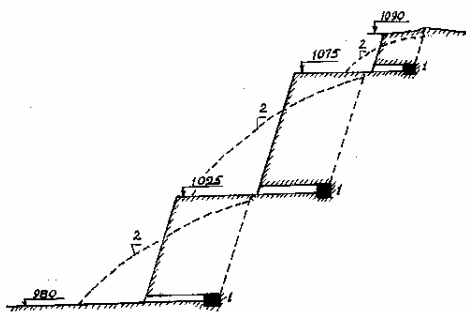


Рис. 4. Схема разработки нижней части месторождения: 1 – камерные заряды ВВ; 2 – примерные формы развалов после взрывных работ на уступах

Выводы и направление дальнейших исследований. Управление параметрами взрыва на Боснийском карьере позволяет снизить массу заряда ВВ на 17 % при отбойке руды блоками $50 \times 50 \times 50$ м. Показатели взрывных работ при доставке руды взрывом по сравнению с базовой технологией минной отбойки снижаются на 10 %, что обеспечивает солидный годовой эффект.

Исследованием системных связей и закономерностей в процессе управления уровнем загрязнения атмосферы установлены и математически сформулированы принципы взаимодействия проектного органа, пользователей и объекта эксплуатации, проведен анализ и синтез системы управления риском ошибки проекта БВР, разработана модель исследуемой системы, целью управления в которой является предотвращение возможного превышения допустимой ошибки, а критерием достижения - повышение эффективности отбойки полезного ископаемого. В качестве управляющих воздействий рассматривается модернизация технологии отбойки полезного ископаемого. В процессе синтеза системы управления разработаны переходная и выходная функции системы, задающие закон достижения цели управления [15].

Программная реализация компьютерной системы управления риском ошибки проектирования буровзрывных работ включает математические модели рассматриваемых процессов и направлена на решение задач:

- выработка оптимальной стратегии, заключающейся в определении наиболее эффективного, с точки зрения снижения риска технологии в условиях ограниченных материальных ресурсов;
- информационная поддержка принятия решений, включающая направления.

При разработке программного обеспечения соблюдают требования:

- система должна быть построена так, чтобы ее одновременно могли использовать как рядовые пользователи, так и администратор, имеющий возможность ее модификации с целью адаптации системы к изменяющейся нормативной базе;

- поскольку большинство производимых в процессе принятия решений расчетов связаны с анализом и обработкой разнородной информации с географической привязкой, необходимо применение современных технологий, реализованных на базе геоинформационных систем [5];

- использование инструментальных средств для реализации функций создаваемой системы с целью повышения их быстродействия за счет более полного использования ресурсов ЭВМ вызывает необходимость использования механизмов вызова модулей;

- поскольку исходная статистическая и справочная информация разнородна и имеет

различные форматы, необходимы механизмы осуществления взаимного преобразование форматов данных для межпрограммного обмена информацией. Эффективность применения разработанной системы управления подтверждена результатами машинного эксперимента, показавшим среднее снижение показателя риска ошиб-ки проекта на 3-7 %.

При производстве буровзрывных работ в карьере необходимо учитывать категорию трещиноватости и коэффициент крепости в кварцитах определенного петрографического состава и структурного залегания, а также пространственное положение структурно-однородных зон.

В связи, с чем рекомендуется в отдельных случаях по возможности ориентировать взрывные блоки длинной стороной параллельно простиранию структуры. Сетку буровзрывных скважин следует располагать в блоке так, чтобы концентрация напряжений от взрыва одновременно взрывааемых групп зарядов приходилась на приосевые крупноблочные зоны. Иницирование скважинных зарядов их порядок следует обеспечивать с учётом концентрации упругих волн напряжений на наиболее трудно-взрывааемых участках массива, где требуется наибольшая концентрация напряжений.

Для повышения эффективности и экологической безопасности взрывных работ целесообразно применять взрывчатые вещества с малым содержанием тротила, а также эмульсионные и гелеобразные взрывчатые вещества и утилизируемые изделия военного назначения в сочетании с мощными иницирующими зарядами. Целесообразно ориентироваться на скважинные заряды с осевыми полостями.

Расчет и выбор рациональных параметров БВР должен осуществляться с учетом комплексного влияния природных и техногенных факторов, с использованием современных программ, методик и ЭВМ. Внедрение новейших современных технологий взрывного разрушения, базирующиеся на концепциях баз данных, имитационного моделирования, экспертных и геоинформационных систем-ГИС, при добыче и переработке руд, позволит снизить техногенные нагрузки горнодобывающих предприятий на окружающую среду и улучшить геоэкологическое состояние сельского хозяйства горнопромышленных региона.

Список литературы

1. Лукьянов В.Г., Комащенко В.И., Шмурыгин В.А. Взрывные работы / В.Г. Лукьянов, В.И. Комащенко, В.А. Шмурыгин // Учебн. изд. -2-е. Из-во Томского политехнического университета, 2013. - 403 с.
2. Komashchenko V.I., Golik V.I., Belin V.A., Gaponenko A.L. Enhanced efficiency of blasting by new methods of borehole charge initiation in open-pit mines. m.giab, 2014. - № 9. - P. 293-304.
3. Morkun V., Tron V. Automation of iron ore raw materials beneficiation with the operational recognition of its varieties in process streams, Metallurgical and Mining Industry, No6, 2014, pp. 4-7: http://www.metaljournal.com.ua/assets/MMI_2014_6/1-MorkunTron.pdf
4. Komashchenko V.I., Erokhin I.V. Iron ore explosive blasting technology improvement, which reduces soil and environment pollution. Technische University Bergakademie Freiberg, Germany Publisher: Medienzentrums der TU Bergakademie Freiberg Printed in Germany ISSN: 2190-555X. 2014. C. 185 -193.
5. Komashchenko V.I., Gaponenko A.L., Belin V.A., Petin A.N. Way of explosive otboyka of rocks on pits. Patent for the invention, RUS 2382327 15.10.2008.
6. Голік В.І. Концептуальні підходи к созданию мало- и безотходного горнорудного производства на основе комбинирования физико-технических и физико-химических геотехнологий // Горный журнал. М. 2013, №5. С. 93-97.
7. Голік В. І., Полухін О. Н., Петін А. Н., Комащенко В. І. Екологічні проблеми розробки рудних месторождений КМА // Горный журнал. М., 2013, №4. С. 91-98.
8. Белін В.А. Уровень промислової безпеки при веденні взривних робіт на горних підприємствах Росії. М: ГІАБ, № 6., 2011. - С.29-35.
9. Golik V.I., Komashchenko V.I. Nature protection technologies of management of a condition of the massif on a geomechanical basis. М.:KDU, 2010. - 520 p.
10. Golik, V.I., Komashchenko V.I., Drebenstedt C. Improving breaking technologies of rock mass in the development of upland quarries. IX International Conference "New Ideas in Earth Sciences", Moscow. MSGPA, 2009.
11. Golik V. I, Komashchenko V. I.: Theoretische Grundlagen der Methodenoptimierung der Prognose von Staubemissionen des Tagebaues. Management bergbaubedingter Emissionen. Freiburger Forschungsforum 59. Berg- und Huttenmannischer Tag. 2008.
12. Golik V.I., Komashchenko V.I., Rasorenov Y.I. Activation of Technogenic Resources in Disintegrators. DC 10.1007/978-3-319-02678-7_107, Springer International Publishing Switzerland, 2013.
13. Morkun V., Morkun N., Pikilnyak A. (2015). The study of volume ultrasonic waves propagation in the gas-containing iron ore pulp, Ultrasonics, № 56C, pp.340-343.
14. Golik V. I, Komashchenko V. I., Drebenstedt C.: Protection of the environment (The manual). The Higher school. М., 2007. - 270 with.
15. Golik V.I, Komashchenko V.I., Drebenstedt K. Effect of geological exploration and mining on the environment. Monograph. М.: KDU. 2010. p. -356.

Рукопис постуила в редакцію 09.04.15

УДК 65.011.56: 622.7.05

В.В. ТРОНЬ, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

СИСТЕМА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОГО КЕРУВАННЯ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИМ КОМБІНАТОМ ЯК ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОЮ СИСТЕМОЮ

Важливість формування енергоефективного та ресурсозберігаючого керування на гірничих підприємствах обумовлює необхідність розв'язання завдання удосконалення методів організаційно-технічного керування з комплексним урахуванням технологічних та еколого-економічних показників. Гірничо-збагачувальний комбінат представлено як організаційно-технічну систему, до складу якої входить центр керування, який шляхом різних видів стимулювання здійснює загальне керування та координацію діяльності технологічних підрозділів – агентів, які безпосередньо керують технологічними процесами перероблення сировини. Розглянуто модель технологічного процесу збагачення руди, представленої технологічними різновидами, як об'єкту автоматизованого керування. Раціональну поведінку рудозбагачувальної фабрики визначено як таку, що полягає у мінімізації власних енергетичних витрат і максимізації ефективності використання технологічного обладнання. До множини критеріїв центру керування гірничо-збагачувальним віднесено еколого-економічні та технологічні критерії. Визначено тривірнову структуру системи, що представляє взаємодію центру керування, рудозбагачувальної фабрики як агента та технологічного процесу збагачення залізорудної сировини.

Проблема та її зв'язок за науковими і практичними завданнями. В умовах зростання обсягів виробництва гірничих підприємств посилюється вплив техногенних процесів на навколишнє середовище, що призводить до зростання ризику вичерпання невідновлюваних і відновлюваних ресурсів. У зв'язку з цим, необхідно зосередити увагу на питаннях формування ресурсозберігаючого керування структурами гірничих підприємств, що у свою чергу вимагає аналізу і дослідження організаційно-виробничих відносин з урахуванням показників споживання природних ресурсів.

Важливим аспектом ефективного керування великими промисловими підприємствами, до яких відносяться гірничо-збагачувальні комбінати, є забезпечення оптимальних показників не тільки підприємства у цілому, а й його основних і допоміжних структурних підрозділів: рудника, дробильної фабрики, збагачувальної фабрики, транспортного відділення тощо. Одержання розв'язку даного завдання потребує представлення об'єкта керування як організаційно-технічної системи. При формуванні керування системами такого виду необхідно враховувати не тільки показники основних і допоміжних технологічних процесів, а й процеси організаційної взаємодії підрозділів гірничого підприємства.

При формуванні автоматизованого керування збагаченням залізної руди необхідно, також, враховувати наявність у технологічних потоках декількох технологічних різновидів руди, кожен з яких має відмінні фізико-механічні та хіміко-мінералогічні характеристики. Зокрема, протягом робочої зміни розмах вмісту корисного компонента у вхідній руді може сягати 7-9 абс. %; водночас, допустиме значення відхилення не перевищує від 0,5-0,7 абс. % у порції 2000 т [1]. Через ускладненість забезпечення достатньої компенсації коливань характеристик руди у вхідному потоці шляхом коректування налаштувань режимних параметрів технологічного збагачувального обладнання, доцільно розглянути завдання оптимізації процесу керування бункерним живленням секцій рудозбагачувальної фабрики з урахуванням характеристик завантаженої руди.

Аналіз досліджень і публікацій. Формування автоматизованого керування технологічними процесами підготовки та збагачення руд в умовах гірничо-збагачувальних комбінатів на основі класичних та інтелектуальних підходів теорії автоматичного керування достатньо повно розроблено, зокрема, у роботах [2-4]. Аналіз даних робіт, дозволяє зробити висновок, що для підвищення ефективності керування технологічним комплексом гірничо-збагачувального комбінату необхідно враховувати співвідношення технологічних різновидів руди, що перероблюється, а також наявність власної системи переваг у підрозділів гірничого підприємства. Формалізацію механізмів керування організаційною складовою виробничих процесів з урахуванням активної складової людського фактора доцільно здійснювати на основі методів теорії активних систем [5-7]. У загальному вигляді задача керування організаційно-технічними системами передбачає розгляд процесу керування з позицій керуючої сторони – центру керування, який формує керуючі впливи до підлеглих структур – агентів. Отже, необхідно формалізувати систему

критеріїв центру і розглянути модель прийняття ним рішень щодо вибору керуючих впливів для забезпечення необхідної поведінки агентів, кожен з яких має власну систему критеріїв. Завдання керування організаційно-технічною системою полягає у пошуку центром допустимого керування агентами, що має максимальну ефективність. При цьому вважають дійсною гіпотезу доброзичливості, згідно з якою агент з множини раціональних дій вибирає саме ту дію, яка є найбільш сприятливою для центру керування [6].

Питання ресурсозберігаючого керування займають чільне місце у сучасних дослідженнях щодо автоматизованого керування процесами гірничорудного виробництва [1-4]. Більшість існуючих автоматизованих систем керування технологічними процесами у критеріях керування прямо чи опосередковано враховують показник ресурсозбереження і, зокрема, енергоефективності.

Критерій ефективності використання ресурсів як відношення інтегрованих показників ефекту від керування до ресурсомісткості керованих процесів виробництва запропоновано у праці [8]. В загальному випадку для неперервних систем даний критерій має вигляд

$$J = \int_{t_l}^{t_l+\Delta t} \left[\int_0^v f_{pe}(\tau) d\tau + \int_0^v f_{re}(\tau) d\tau \right] dv / \left[\int_0^v |f_{re}(\tau)| d\tau - \int_0^v |f_{pe}(\tau)| d\tau \right] dv, \quad (1)$$

де $f_{pe}(\tau)$ - потік ресурсовіддачі технологічних операцій; $f_{re}(\tau)$ - потік ресурсоспоживання технологічних операцій; t_l - час логічного завершення операції; τ, v - змінні інтегрування; Δt - інтервал дискретизації.

Для оцінювання еколого-економічної діяльності підприємства запропоновано співставити величину його шкідливого впливу та прибуток від виробництва залізовмісної продукції [9]

$$\Theta(\bar{\Omega}, t) / P(\bar{\Omega}, t) \rightarrow \min, \quad (2)$$

де $\Theta(\bar{\Omega}, t)$ - пилогазовиділення гірничого підприємства на інтервалі t, τ ; $P(\bar{\Omega}, t)$ - прибуток від реалізації продукції на інтервалі t , грн. У загальному випадку прибуток гірничозбагачувального комбінату від виробництва продукції визначається формулою [9]

$$P(\bar{\Omega}, t) = \sum_{i=1}^{N_{\Omega}} \Omega_i(t) \cdot C_{\Omega_i}(t) - \sum_{i=1}^{N_{\Omega}} \Omega_i(t) \cdot E_{\Omega_i}(t), \quad (3)$$

де $\Omega_i(t)$ - кількість виробленої продукції i -го найменування на інтервалі t, τ ; $C_{\Omega_i}(t)$ - оптова ціна i -го найменування продукції на інтервалі t , грн; $E_{\Omega_i}(t)$ - питомі експлуатаційні витрати на i -те найменування, грн/т; N_{Ω} - кількість найменувань продукції.

У роботі [10] запропоновано як критерій ефективного використання ресурсів, зокрема енергетичних, використовувати співвідношенням технологічних різновидів руди у сировині, що надходить на переробку. При цьому, також, зазначається необхідність забезпечення необхідних згідно з договірними зобов'язаннями підприємства обсягів виробництва концентрату заданої якості за максимального коефіцієнта використання технологічного збагачувального обладнання

$$\left\{ \left| \bar{\xi} - \bar{\xi}^* \right| \rightarrow \min; \quad \Omega_l \leq \Omega \leq \Omega_h; \quad \beta_l \leq \beta \leq \beta_h; \quad Q/E \rightarrow \max \right\}, \quad (4)$$

де $\bar{\xi} = \{\xi_i \mid i = 1, \dots, N_r\}$ - питома вага для кожного технологічного різновиду в руді; $\Omega, \Omega_l, \Omega_h$ - відповідно поточна, гранично найменша і найбільша вага виробленого концентрату; β, β_l, β_h - відповідно поточна, гранично найменша і найбільша частка заліза в концентраті; E - обсяг руди, що здатне переробити збагачувальне відділення; Q - загальний обсяг перероблення руди усіх технологічних різновидів

Ефективність використання сировинних та енергетичних ресурсів значною мірою визначається характеристиками руди, що надходить на переробку. Зокрема, коефіцієнт кореляції між витратами електроенергії на перероблення залізної руди і вмістом корисного компонента у ній перевищує 0,71. Крім того, на показники технологічних процесів збагачення чинять значний вплив й інші характеристики технологічних різновидів залізорудної сировини: характер вкраплення корисного компонента, міцність, мінералогічний склад. Слід відзначити, що на вітчизняних гірничозбагачувальних комбінатах здійснюється переробка у середньому 5-8 технологічних різновидів руди [3,4,10,12]. Проте, застосовувана система ведення гірничих робіт не дозволяє достатньо тривалий час видобувати руду певного технологічного різновиду. Тому, якісний склад сировини, котра надходить на збагачення характеризується нестабільністю, що призво-

дить до необхідності частого переналаштування параметрів технологічного режиму і, як наслідок, до зниження ресурсоефективності процесів перероблення руди.

Постановка завдання. Необхідність формування енергоефективного та ресурсозберігаючого керування на гірничих підприємствах обумовлює необхідність розв'язання завдання удосконалення методів організаційно-технічного керування з комплексним урахуванням технологічних та еколого-економічних показників.

Викладення матеріалу і результати дослідження. Гірничо-збагачувальний комбінат (ГЗК) як організаційно-технічна система складається з адміністративного центру, що здійснює загальне керування та координацію діяльності технологічних підрозділів комбінату – агентів, які здійснюють безпосереднє керування технологічними процесами перероблення залізорудної сировини. Завданням центру керування є аналіз даних про ефективність роботи підрозділів і вироблення оптимального плану щодо обсягів видобутку й перероблення технологічних різновидів руди. У рамках організаційно-технічної системи центр на основі власної системи критеріїв формує керування агентом користуючись інституційними, мотиваційними та інформаційними впливами [6]. Вважатимемо, що модель діяльності агента і керованого ним технологічного процесу відома всім учасникам організаційно-технічної системи і не змінюється на інтервалі керування.

Технологічний процес збагачення руди, представленої технологічними різновидами, як об'єкт автоматизованого керування має такий вигляд [10]

$$\{\Omega, \beta\} = f\left(\bar{\psi}, \bar{\alpha}, \bar{\eta}, \bar{\gamma}, \bar{G}^{(0)}, \Omega^{(0)}, \beta^{(0)}\right), \quad (5)$$

де Ω - маса виробленого концентрату; β - частка корисного компонента у концентраті; $\bar{\psi} = \{\psi_i | i = 1 \dots N_r\}$ - маса переробленої руди кожного технологічного різновиду; N_r - кількість технологічних різновидів; $\bar{\alpha} = \{\alpha_i | i = 1 \dots N_r\}$ - частка корисного компонента у кожному технологічному різновиді руди; $\bar{\eta} = \{\eta_i | i = 1 \dots N_r\}$ - витяг заліза із кожного технологічного різновиду руди; $\bar{\gamma} = \{\gamma_i | i = 1 \dots N_r\}$ - вихід концентрату з кожного технологічного різновиду; $\bar{G}^{(0)} = \{G_i^{(0)} | i = 1, \dots, N_r\}$ - запас руди у приймальних бункерах технологічних ліній збагачення за її технологічними різновидами; $\Omega^{(0)}$ - маса залишку концентрату на початок поточного періоду керування; $\beta^{(0)}$ - частка корисного компонента в залишку концентрату. Враховуючи, що процеси керування в умовах збагачувальної технології характеризуються періодичністю, формування агентом (рудозбагачувальною фабрикою) керуючих впливів до технологічного процесу збагачення протягом певного періоду доцільно розділити на певну кількість інтервалів $t = 0, \dots, T$.

Рудозбагачувальна фабрика (РЗФ) як агент організаційно-технічної системи виконує завдання центра керування з переробки технологічних різновидів залізорудної сировини для виробництва концентрату. Раціональна поведінка РЗФ у даному випадку полягає у мінімізації власних енергетичних витрат і максимізації ефективності використання технологічного обладнання з урахуванням всієї наявної інформації про стан технологічного процесу та завдання центра керування. У загальному випадку, враховуючи необхідність перероблення декількох технологічних різновидів руди, критерій ефективності використання енергетичних ресурсів матиме вигляд

$$J_E(\bar{\psi}) = \max_{t=1 \dots T} \left\{ \sum_{j=1}^{N_r} \left[\frac{\Omega(\bar{\psi}, t)_j}{\gamma_j} \cdot w_j \cdot C_E \right] \right\} \rightarrow \min \quad (6)$$

де w_j - питомі витрати електроенергії на переробку однієї тони руди j -го технологічного різновиду; C_E - ціна 1 кВт·год. електроенергії. Ефективність використання технологічного збагачувального обладнання оцінюється, як показано у праці [11], показником, що передбачає якомога повніше використання його проектної продуктивності

$$J_Q(\bar{\psi}) = \min_{t=1 \dots T} \left\{ \sum_{i=1}^{N_r} \frac{\psi_i(t)}{Q} \right\} \rightarrow \max, \quad (7)$$

де Q - максимальний обсяг переробки руди збагачувальним відділенням на інтервалі керування.

Завданням центру керування даної організаційно-технічної системи є розрахунок необхідних обсягів перероблення $\bar{\psi} = \{\psi_i | i = 1 \dots N_r\}$ кожного з N_r технологічних різновидів руди. З вказаних обсягів технологічних різновидів сировини необхідно виробити визначений договірними зобов'язаннями ГЗК обсяг концентрату $\Omega(\bar{\psi}) = \Omega^* \in [\Omega^{(l)}, \Omega^{(h)}]$, що має задану якість. Разом з тим необхідно мінімізувати обсяг шкідливих викидів у навколишнє середовище та залишок концентрату на складі, а також максимізувати прибуток підприємства.

Прибуток від реалізації продукції гірничо-збагачувального комбінату на інтервалі t , визначається на основі залежності, запропонованої у праці [9], модифікованої шляхом додавання показника обсягу перероблення технологічних різновидів руди

$$H_P(\bar{\psi}) = \min_{t=1 \sim T} \left\{ \sum_{i=1}^{N_\Omega} \Omega_i(\bar{\psi}, t) \cdot C_{\Omega_i}(t) - \left[\sum_{i=1}^{N_\Omega} \Omega_i(\bar{\psi}, t) \cdot E_{\Omega_i}(t) + \sum_{i=1}^{N_\Omega} \Delta \Omega_i(\bar{\psi}, t) \cdot K_{\Omega_i}(t) \cdot E_n \right] \right\} \rightarrow \max \quad (8)$$

де Ω_i - кількість виробленої продукції i -го найменування, т; C_{Ω_i} - оптова ціна i -го найменування продукції, грн; E_{Ω_i} - питомі експлуатаційні витрати на i -те найменування, грн/т; $\Delta \Omega_i$ - прирощення продуктивності за i -м найменуванням, т; K_{Ω_i} - питомі капітальні витрати на розширення продуктивної потужності за i -м найменуванням, грн/т; E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних інвестицій. Обсяг шкідливих викидів ГЗК у навколишнє середовище визначається інтегрованим показником неорганізованого і організованого пилогазовиділення [9], який з урахуванням обсягу перероблення технологічних різновидів руди матиме вигляд

$$H_\Theta(\bar{\psi}) = \max_{t=1 \sim T} \left\{ \Theta'(\bar{\Omega}, \bar{\psi}, t) + \sum_{j=1}^{N_\Theta} \Theta_j''(\bar{\Omega}, \bar{\psi}, t) \right\} \rightarrow \min, \quad (9)$$

де Θ' - показник організованого пиловиділення, т; Θ_j'' - j -й показник неорганізованого пиловиділення, т. Для забезпечення виконання вимог щодо енергоефективності процесів керування збагаченням залізорудної сировини [10], а також особливостей технологічного процесу збагачення, викладених, зокрема, у праці [11], необхідно також враховувати такі показники: обсяг залишків концентрату на складі, коефіцієнт використання технологічного обладнання, вміст кожного різновиду руди у вхідному потоці. Критерій мінімізації обсягу залишків концентрату на складі на кожному інтервалі керування має такий вигляд

$$H_\Omega(\bar{\psi}) = \max_{t=1 \sim T} \left\{ 1 - \frac{(\Omega_h - \Omega(t))}{\Omega_h - \Omega_l} \right\} \rightarrow \min, \quad (10)$$

де $\Omega(t)$ - залишок концентрату на інтервал t ; $[\Omega_l, \Omega_h]$ - допустимий інтервал обсягу залишків концентрату. Критерій стабільності вмісту технологічних різновидів руди у вхідному потоці

$$H_\psi(\bar{\psi}) = \max_{t=1 \sim T} \left\{ \frac{1}{N_r} \sum_{i=1}^{N_r} \left(\frac{|\psi_i(t) - \psi_i^{(c)}|}{\psi_i^{(c)}} \right) \right\} \rightarrow \min, \quad (11)$$

де $\psi_i^{(c)}$ - середнє значення обсягу i -го технологічного різновиду у вхідному потоці протягом поточного періоду керування. При розв'язанні задачі оптимізації необхідно також враховувати обмеженість обсягів сирової руди за технологічними різновидами і продуктивності збагачувального відділення за рудою, а також дотримуватись заданих границь вмісту корисного компонента і обсягу виробленого концентрату.

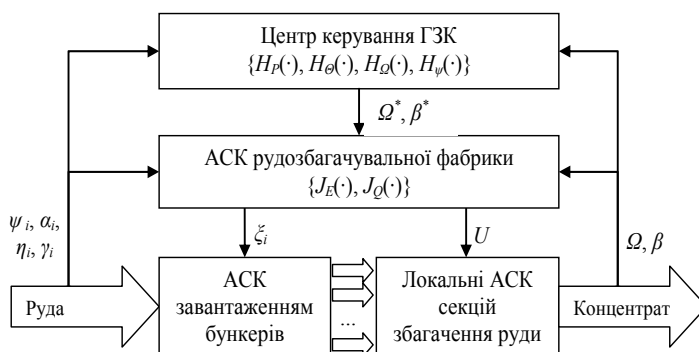


Рис. 1. Система організаційно-технічного керування збагаченням залізної руди

Схема організаційно-технічного керування збагаченням залізної руди має три рівні: центр керування ГЗК, РЗФ (агент) та технологічний процес збагачення руди (рис. 1).

Центр керування повинен вибрати систему стимулювання для того, щоб спонукати агента (РЗФ), який має власні критерії оцінювання

ефективності плану, виконати оптимальний для центру план виробництва (Ω^* , β^*).

Висновки і напрямки подальших досліджень. Отже, при автоматизації процесів керування гірничо-збагачувальним комбінатом як організаційно-технічною системою необхідно враховувати багатоцільовий характер системи пріоритетів центру керування і рудозбагачувальної фабрики як агента даної системи. Подальші дослідження доцільно проводити у напрямку пошуку методу розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації та формування критеріїв ефективності інших технологічних підрозділів гірничого підприємства як агентів організаційно-технічної системи.

Список літератури

1. Пивень В. А. Исследование влияния колеблемости качественных параметров рудопотоков карьера на эффективность обогащения железных руд / В. А. Пивень, А. В. Романенко, В. В. Шепель, И. К. Младецкий, В. В. Панченко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2007. – №2. – С. 67-71.
2. Мorkун В. С. Ультразвуковой контроль характеристик измельченных материалов и адаптивное управление процессами измельчения-классификации руд на его базе: дис. ... докт. техн. наук: 05.13.07 / Мorkун Владимир Станиславович. – Кривой Рог, 1998. – 309 с.
3. Поркуян О. В. Керування нелінійними динамічними об'єктами збагачувальних виробництв на основі гібридних моделей Гамерштейна / О. В. Поркуян: Автореф. дис докт. техн. наук. – Кривий Ріг, 2009. – 36 с.
4. Купін А. І. Узгоджене інтелектуальне керування стадіями технологічного процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах невизначеності: дис. ... доктора техн. наук: 05.13.07 / Купін Андрій Іванович. – Кривий Ріг, 2009. – 463 с.
5. Бурков В. Н. Основы математической теории активных систем / В. Н. Бурков. – М.: Наука, 1977. – 255 с.
6. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков. – М.: МПСИ, 2005. – 584 с.
7. Новиков Д. А. Курс теории активных систем / Д. А. Новиков, С. Н. Петраков. – М.: СИНТЕГ, 1999. – 104 с.
8. Луценко И. А. Оптимальное управление технологическими процессами многопродуктовой переработки сырья по критерию эффективности использования ресурсов: дис. ... доктора техн. наук: 05.13.07 / Луценко Игорь Анатольевич. – Кривой Рог, 2007. – 491 с.
9. Вилкул Ю. Г. Определение параметров горных предприятий на основе их эколого-экономических показателей: дис. ... докт. техн. наук : 05.15.03, 05.26.01 / Вилкул Юрий Григорьевич. – Кривой Рог, 1994. – 417 с.
10. Тронь В. В. Енергоефективне автоматизоване керування процесом збагачення руди з термографічним розпізнаванням її технологічних різновидів : дис. ... кандидата техн. наук : 05.13.07 / Тронь Віталій Валерійович. – Кривий Ріг, 2013. – 226 с.
11. Xiaoling Huang. Production Process Management System for Production Indices Optimization of Mineral Processing / Xiaoling Huang, Yangang Chu, Yi Hu, Tianyou Chai // *IFAC – Research Center of Automation, Northeastern University, Shenyang, P.R.China 110004*. – 2005.
12. Morkun V. Automation of iron ore raw materials beneficiation with the operational recognition of its varieties in process streams / V. Morkun, V. Tron // *Metallurgical and Mining Industry*, 2014, No6, pp. 4-7: http://www.metaljournal.com.ua/assets/MMI_2014_6/1-MorkunTron.pdf

Рукопис подано до редакції 22.03.15

УДК 331.436

Н.Ю. ШВАГЕР*, д-р техн. наук проф., Т.А. КОМІСАРЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
М.О. ТЕУС, студент, Криворізький національний університет

НАНОМАТЕРІАЛИ: НОВИЙ ВИКЛИК ДЛЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ НА ВИРОБНИЦТВІ

За останній час широкого розвитку набуло застосування нанотехнологій у виробництві широкого кола виробів та матеріалів, що підвищує їх якість, довговічність та інші споживні властивості, але розвиток виробництва продукції з використанням наноматеріалів створює нову загрозу для працівників задіяних у нових галузях виробництва. Таким чином, необхідність визначати імовірні ризики, що можуть бути викликаними впливом на працюючих наноматеріалів є актуальною та важливою науково-технічною задачею. Аналіз впливу наночастинок на працюючих дозволить запропонувати запобіжні заходи та профілактику ймовірних захворювань. Небезпека для здоров'я людей від наночастинок в забрудненому повітрі полягає в тому, що існує можливість виникнення респіраторних і серцево-судинних захворювань. Тому при використанні наночастинок передбачати заходи, що зменшують експозицію наночастинок працівників виробництв, такі як випуск продукції, що містить наночастинок, в формах, які не виділяють пил (пасти, гранули замість аерозолів і порошків) і в герметизованих упаковках та використовувати зволоження сировини і продукції, особливо при наявності джерел пиловиділення, а також автоматизувати і механізувати технологію виробництва, транспортування та фасування сировини, напівфабрикатів та продукції, що містить наноматеріали, з метою виключення безпосереднього контакту працівників із шкідливими та небезпечними виробничими чинниками.

Постановка проблеми та її зв'язок з науково-практичними задачами. Розвиток виробництва продукції з використанням наноматеріалів створює нову загрозу для працівників задіяних у нових галузях виробництва. Наноматеріали застосовуються для підвищення зносостійкості шестерень автомобілів, штоків амортизаторів, при виробництві нержавіючих труб, в якості присадок масел компресорів тощо. Таким чином, існує необхідність визначити імовірні ризики, що можуть бути викликаними впливом на працюючих наноматеріалів, та запропонувати запобіжні заходи та профілактику ймовірних захворювань.

Велика частина інновацій у секторі нанотехнологій базується на виробництві наноматеріалів, що мають специфічні властивості завдяки маленьким розмірам їх частинок [1]. Порівняно з матеріалами, що використовуються протягом десятиліть і поки продовжують домінувати на ринку, таких як технічний вуглець для виробництва гум та інших пластичних мас, багаточисельні нові наноматеріали використовуються в енергетичному секторі, електроніці, текстильному виробництві тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ця величезна кількість виготовлених наноматеріалів складає групу хімічних речовин, характеристики яких дуже різноманітні, таким чином, складно зробити оцінку потенційних ризиків. Їх інноваційний потенціал полягає в тому, що матеріал має певні властивості (механічні, електричні, оптичні, каталітичні тощо), які дуже відрізняються від матеріалів, з того ж хімічного складу, але складених з частинок більшого розміру. Ці властивості, пов'язані з поверхнею частинок, викликають питання щодо їх впливу на здоров'я. Особливо важко визначити точні межі між "нано" і "мікро" матеріалами (табл. 1).

Як вважається, що розміри, при яких проявляються нові або покращені властивості матеріалу, складають близько 100 нм.

Таблиця 1.

Порівняння геометричних розмірів матеріалів

	Приклад	Геометричний розмір
Наносвіт	Молекула ДНК	2 нм
Мікросвіт	Пил	800 нм
Макросвіт	Комаха	5 мм

Залежно від матеріалу нанооб'єкти можуть мати різні форми, найчастіше сферичну форму (наночастинки) або плоску з довжиною більшою за діаметр (нанотрубки, нановолокна) [2].

Ці нанооб'єкти рідко знаходяться ізольованими один від одного, але, як правило, вони об'єднуються в кластери, зовнішні розміри яких можуть легко досягати декількох тисяч нанометрів (кілька пікометрів) (рис. 1).

Стан агрегації варіюється залежно від конкретного виробничого процесу та навколишнього середовища, в якому знаходяться частинки (повітрі, біологічній рідині тощо).

На додаток до зовнішньої структури, наноматеріали можна також відрізнити хімічно.

Різні методи обробки, такі як покриття частинок полімерами або іншими молекулами можуть змінювати їх властивості, створивши більш складні матеріали (активні наноструктури, що можуть відповідати на зовнішні подразники, так звані наноматеріали другого покоління).

Будь-яка обробка може призвести до виникнення нового матеріалу, властивості якого істотно відрізняються від властивостей вихідного матеріалу.

У ряді досліджень, присвячених вивченню різних видів наноматеріалів (фулерен C₆₀, вуглецеві нанотрубки), було виявлено, що токсикологічний ефект пов'язаний з величиною дози по масі тіла, тобто чим вищою була доза, якій піддавалися лабораторні тварини, тим сильнішим спостерігався несприятливий ефект.

Однак результати проведених досліджень показують, що токсичність наночастинок залежить не тільки від співвідношення "доза/ маса тіла", але і можливо [3] від фізичних і хімічних властивостей, які зазвичай не враховуються у дослідженнях токсичності.

Які фактори визначають або впливають на небезпечні властивості наночастинок?

Це питання все ще залишається відкритим через загальну нестачу даних про характеристики протестованих наночастинок.

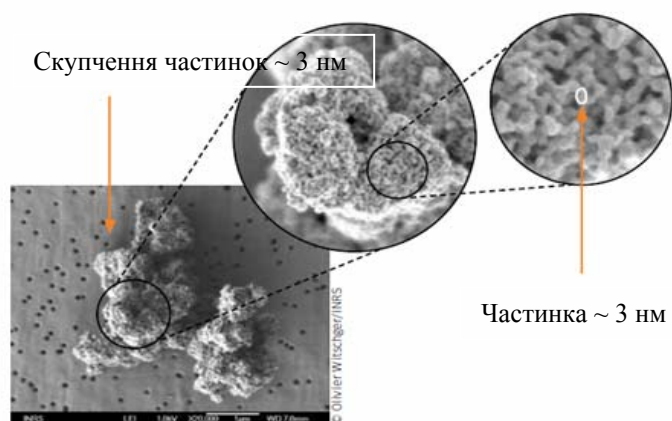


Рис. 1. Приклад скупчення частинок нанорозмірів

Нааявні токсикологічні дані недостатні для того, щоб визначити явний зв'язок від потенційних шкідливих ефектів наноматеріалів. Наночастки мають різну поведінку і велику біологічну сприйнятливості в порівнянні з мікрометричними частинками одного і того ж хімічного складу. Складність оцінки їх токсичності в першу чергу витікає з різноманітності матеріалів для вивчення багатьох параметрів, які ви-

значають їх взаємодію з біологічною системою.

Небезпека для здоров'я людей від ультрадисперсних частинок в забрудненому повітрі або при зварюванні давно відома. Епідеміологічні дослідження та випробування на людях в умовах контрольованого впливу передбачають, в тому числі можливість виникнення респіраторних і серцево-судинних захворювань. Ці дослідження були проведені на працівниках, що піддаються впливу технічного вуглецю і діоксиду титану, але складно зробити чіткі висновки, тому що, розмір частинок пилу варіюється в залежності від дослідження.

Отже, на сьогодні практично відсутні дослідження про вплив на здоров'я людини, яке розглядає специфічні ефекти наноматеріалів. Ці дослідження в даний час стикаються з цілою низкою проблем: недостатнє знання впливу, відсутність знань про початкові ефекти та складний доступ до виробництва [4].

Виклад основного матеріалу дослідження. На підставі викладеного можна сформулювати завдання дослідження, яке полягає в визначенні токсичності наноматеріалів, яка у свою чергу була предметом численних досліджень, але результати найчастіше важко інтерпретувати і порівнювати: дослідження на клітинних моделях в пробірці важко екстраполювати на людей, спосіб проникнення частинок у організм людини не є типовим (лише декілька досліджень проводяться з інгаляцією, хоча це найбільш типовий спосіб проникнення частинок для працівників), короткий період впливу, недостатнє знання характеристик наноматеріалів, що досліджуються.

Однак, ці дослідження показали, що на додаток до хімічної природи, що звичайно відіграє важливу роль, шкідливі ефекти наноматеріалів на молекулярному, клітинному та органічному рівнях обумовлені їх фізико-хімічними характеристиками.

Розмір і розподіл розміру часток, ступінь агрегування, їх здатність продукувати молекули окиснення, форма, поверхневі характеристики і розчинність в біологічних рідинах є критичними детермінантами їх токсичності.

Нанооб'єкти мають специфічні властивості поверхні (електричний заряд, пористість, кристалічна структура), які впливають на їх взаємодію з навколишнім середовищем.

Вони можуть адсорбувати на своїй поверхні макромолекули, що присутні в біологічних середовищах, які утворюють ліпідну корону, що впливає на їх здатність проникнення в клітини, проникнення біологічних бар'єрів, на розподіл часток в організмі та їх шкідливі наслідки (рис. 2).

Прогрес досліджень у цій області підкреслює, що окрім внутрішніх характеристик наноматеріалів, слід також брати до уваги біологічне оточення, в якому вони знаходяться, що ускладнює дослідження.

У робочому середовищі, вдихання і потрапляння на шкіру є основними можливими способами контамінації (зараження).

Перші роботи, що вивчають проникнення нерозчинних наноматеріалів (у тому числі діоксиду титану) через шкіру, показують що це малоімовірно, якщо роговий шар шкіри не пошкоджений.

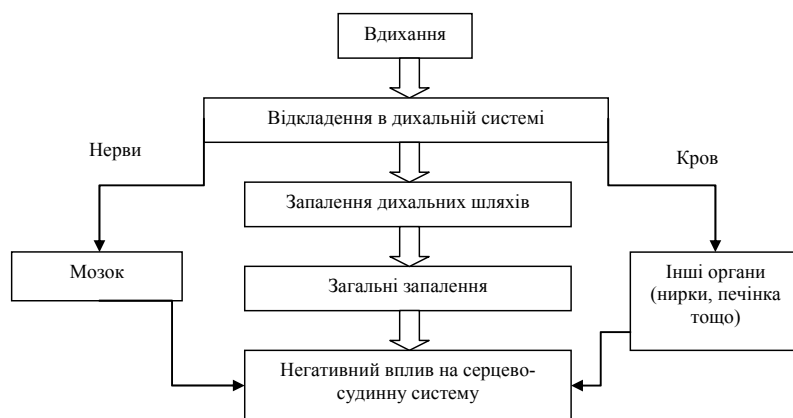


Рис. 2. Потенційні шкідливі ефекти від наночастинок при потраплянні в організм

Вдихання цих частинок є більш поширеним шляхом їх потрапляння в організм. Нанооб'єкти після потрапляння в організм при вдиханні можуть бути випарувані або залишитися в дихальній системі. Існують теоретичні моделі, які дозволяють визначити імовірність залишення вдихуваних частинок залежно від їх розміру. Частинки розміром від 10 і 100 нм, головним чином залишаються у альвеолах, у кількості значно

більшій, ніж мікрометричні частинки. Більш дрібні частинки, в свою чергу, залишаються в основному в верхніх дихальних шляхах і, меншою мірою, в області трахеї і бронхів.

Розмір часток визначає місце їх осадження та ефективність легеневого кліренсу. В альвеолах, як правило, клітини макрофаги відповідальні за очищення погано розчинних або нерозчинних забруднюючих речовин завдяки механізму фагоцитозу. В той же час, здатність фагоцитозу макрофагів нижче для наночастинок в порівнянні з макрочастинками. Це може призвести до значного накопичення нанооб'єктів в альвеолах, які в свою чергу, можуть викликати запалення, що може привести до розвитку легеневих захворювань. Що стосується розчинних нанооб'єктів, вони можуть бути видалені повністю або частково завдяки процесу розчинення. Утворення розчинних іонів (наприклад, іони Zn^{2+} утворені наночастинок оксиду цинку) може призвести до певних ефектів в легенях або інших органах при перенесенні іонів у кровоток. При повному розчиненні, негативні ефекти більш пов'язані з їх власною токсичністю ніж з нанорозміром частинок.

Крім того, дослідженнями [5] було показано, що наночастинок мають, в деяких випадках, здатність перетинати тканини бар'єри, що вважалися низько проникними. При вдиханні вони можуть перетнути альвеолярної стінки, переміститися до плеври, лімфатичних вузлів, до кровносною і лімфатичною систем і різних органів, таких як селезінка, печінка, серце, центральної нервової системи або до кісток. Деякі наноматеріали, такі як оксид марганцю або діоксин титану, що відкладаються у носовій порожнині, можуть мігрувати і накопичуватися в певних частинах мозку після перетину через гематоенцефалічний бар'єр. При однаковому хімічному складі і однаковій формі, зменшення розмірів частинок приводить до збільшення їх питомої площі поверхні, збільшуючи здатність взаємодіяти з навколишнім органічним середовищем. Дослідження показують, що при еквівалентній масі дози і однаковій кристалічній формі, така речовина як двоокис титану, що визнана малотоксичною, призводить набагато частіше до запальних явищ у легенях у нанометровій формі, ніж у мікрометровій.

Крім того, деякі наночастинок, зокрема оксидів металів, можуть виробляти активні форми кисню (так звані вільні радикали) на власній поверхні, або сприяти їх виробленню клітинами. Така ситуація може сприяти виникненню токсичних явищ.

Нарешті, незалежно від їх хімічної природи, форма нанооб'єктів є важливим чинником, що визначає біологічну активність. Декілька проведених досліджень в природних умовах [6] порівняли ефекти від дії наночастинок діоксиду титану та вуглецю в волокнистій і сферичній формі, і дійшли до висновку, що в еквівалентних дозах, волокниста форма більше сприяє виникненню запальних ефектів. Підвищене співвідношення довжини та діаметру вуглецевих нанотрубок, пов'язане з біостійкістю, викликає стурбованість з приводу їх здатності викликати реакції в легенях, аналогічні тим, що викликані впливом азбесту.

Але всі дані, наявні в літературі, показують, що неможливо сформулювати загальну гіпотезу про токсичність усіх наноматеріалів. Кожен наноматеріал, в тому числі однакового хімічного складу, має власний профіль токсичності, який є унікальним і повинен бути оцінений в кожному конкретному випадку. На сьогодні неможливо заздалегідь прогнозувати можливі негативні наслідки дії наноматеріалів на організм людини через багаточисленність параметрів,

що впливають на токсичність, але необхідно передбачити заходи щодо ймовірного впливу наночасток на організм працюючих.

Висновки з проведеного дослідження. З наведеного вище можна зробити наступні висновки.

Згідно з міжнародними вимогами (ISC)/TR12885:2008(E)) необхідно при використанні наночасток передбачати наступні заходи, що зменшують експозицію наночастинками працівників виробництва:

випускати продукцію, що містить наночастинки, в непиллящих формах (пасти, гранули замість аерозолів і порошків) і в герметизованих упаковках;

замінювати наноматеріали з більшою потенційною небезпекою менш небезпечними матеріалами, де це можливо за умовами технологічного процесу;

використовувати допустиму за технологією зволоження сировини і продукції, особливо при наявності джерел пиловиділення;

здійснювати модифікацію поверхні потенційно небезпечних наночастинок, наприклад покриття квантових точок молекулярними шарами інертних малотоксичних неорганічних речовин (сульфід цинку, кремнезем) або органічними детергентами;

автоматизувати і механізувати технологію виробництва, транспортування та фасування сировини, напівфабрикатів та продукції, що містить наноматеріали, з метою виключення безпосереднього контакту працівників із шкідливими та небезпечними виробничими чинниками;

застосовувати у виробничому обладнанні конструктивні рішення і засоби захисту, що спрямовані на зменшення інтенсивності виділення пилу наночастинок та наноматеріалів і локалізацію шкідливих виробничих факторів;

проводити установку систем автоматичного контролю, сигналізації й управління технологічним процесом, особливо на ділянках, де можливий раптовий викид аерозолів наночастинок;

забезпечити автоматичне блокування виробничих систем і устаткування на ділянках, небезпечних по аварійним ситуаціям;

забезпечити дотримання вимог ергономіки і технічної естетики до виробничому устаткуванню і ергономічних вимог до організації робочих місць і трудового процесу;

передбачати включення гігієнічних вимог нормативно-технічну документацію.

Обладнання, що підлягає технічному ремонту, перед початком робіт необхідно очищати від наноматеріалів з використанням систем пиловловлення нанорозмірних аерозолів, а при наявності залишків отруйних речовин макроскопічної дисперсності – необхідно їх піддавати додатковому знезараженню методами, рекомендованими для даних забруднювачів. Машини, механізми та інше технологічне обладнання після модернізації або ремонту проходять перевірку на їх відповідність чинним нормативним документам.

При проектуванні промислових будівель, призначених для роботи з наноматеріалами, особливу увагу необхідно звертати на розташування цехів підприємства, обладнання і установок на відкритих майданчиках, автоматизацію процесів, облаштування робочих місць. При проектуванні важливо враховувати розу вітрів і розділяти робочі місця, що контактують з різними небезпечними матеріалами.

Список литературы

1. **Силаков К.И.** Нанотехнологии. Определения и классификация / К.И. Силаков, Т.Т. Силакова // Вестник НТУУ «КПИ». Серия Радиотехника. Радиоаппаратостроение. – 2011. – № 47. – с. 190-198.
2. **Сергеев Г.Б.** Нанохимия / **Г.Б. Сергеев** // М.: КДУ, 2006. - 336 с.
3. **Ковтун Г.П., Вережкин А.А.** Наноматериалы: технологии и материаловедение / **Г.П. Ковтун, А.А. Вережкин** // Харьков: ННЦ ХФТИ, 2010. - 73 с.
4. **Гусев А.И.** Наноматериалы: технологии / **А.И. Гусев** // М.: Физматлит, 2005. - 416 с.
5. **Кобаяси И.** Введение в нанотехнологию / **И. Кобаяси** // Пер. с яп.: БИНОМ Лаборатория знаний, 2005. - 134 с.
6. **M.Reynier.** Définir et repérer les nanomatériaux INRS, Hygiène et sécurité du travail – n°232 – septembre 2013
7. (Howard, 2012; Loft, 2012; Vogel, 2012).
8. **S. Binet, S. Malard, M. Reynier.** Des effets sur la santé encore mal connus. Hygiène et sécurité du travail – n°232 – septembre 2013
9. **V. Honnert, R. Vincent.** Production et utilisation industrielle des particules nanostructurées. INRS, Hygiène et sécurité du travail, ND 2277, 2007.
10. **E. Gaffet.** Nanomatériaux : une revue des définitions, des applications et des effets sur la santé. Comment implémenter un développement sûr. CR Physique 12 (2011), 648-658.

УДК 622.723: 004.275

М.П. ТИХАНСКИЙ, канд. техн. наук, доц., С.Л. ЦВИРКУН, преподаватель
Криворожский национальный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА КЛАСТЕРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ГУСТАФСОНА-КЕССЕЛЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ

Рассмотрена задача кластерного анализа в условиях неопределенности для формирования автоматического управления процессом сортировки крупнокускового железорудного сырья с оперативным распознаванием его минералого-технологических разновидностей отдельных кусков в потоке на конвейерной ленте учитывая физико-механические свойства. Кластер-анализ получил широкое применение в различных отраслях, где имеются множества объектов произвольной природы, которые необходимо автоматически разбить на кластера. Все алгоритмы кластеризации можно подразделить на две группы: алгоритмы с заданным количеством кластеров и алгоритмы, которые сами устанавливают оптимальное количество кластеров. Наиболее предпочтительными алгоритмами кластер-анализа являются алгоритмы, которые сами устанавливают количество кластеров или алгоритмы самоорганизации, одним из которых является алгоритм Густавсона-Кесселя. Оценка качества кластеризации была проведена с использованием скалярных мер достоверности. Проведены экспериментальные исследования показателей качества кластеризации от количества кластеров для определения минералого-технологических разновидностей железной руды. Было установлено по результатам проведенных исследований, что для формирования автоматического управления сортировкой кусковой руды с оперативным распознаванием минералого-технологических разновидностей отдельных кусков в потоке, с помощью нечеткой кластеризации её характеристик, оптимальным количеством кластеров, является 7, при этом необходимо 29 итераций.

Ключевые слова: нечеткая кластеризация, кластер, метод Густафсона-Кесселя, рудоподготовка, сортировка руды.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Необходимость снижения себестоимости и повышения технико-экономических показателей обогащения магнетитовой руды ставит задачи совершенствования технологии и методов управления обогащением в целом и рудоподготовкой в частности. На данный момент отечественные горнообогатительные комбинаты перерабатывают в среднем 5-8 технологических разновидностей руды со значительным различием значений характеристик в каждой [1,2]. В таких условиях одним из наиболее перспективных технологических и экономических производственных резервов является снижение затрат на транспортировку горной массы и энергетических затрат на переработку отдельных технологических разновидностей руды, в частности относящихся к «доменной» руде, которая после добычи может быть направлена в металлургический передел без переработки на обогатительной фабрике. Несмотря на значительное количество выполненных работ, задача формирования достаточно эффективного автоматического управления процессом предобогащения железных руд в условиях подземной добычи и обогатительных фабрик не получила достаточно полного решения. Следовательно, вопросы автоматизации процессов управления сортировкой кускового рудного материала с учетом физико-механических свойств технологических разновидностей железных руд являются важными, актуальными и требуют проведения дальнейших исследований.

Анализ исследований и публикаций. Для формирования автоматического управления процессом сортировки крупнокускового железорудного сырья с оперативным распознаванием его технологических разновидностей отдельных кусков в потоке целесообразно использовать операцию кластеризации. Кластер-анализ, или автоматическая классификация получили широкое применение в различных отраслях, всюду где имеются множества объектов произвольной природы, описываемых в виде векторов $x = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, которые необходимо автоматически разбить на группы “схожих” объектов, называемых кластерами.

Большинство алгоритмов кластеризации не опираются на традиционные для статистических методов допущения. Они могут использоваться в условиях почти полного отсутствия информации о законах распределения данных. Кластеризацию проводят для объектов с количественными, качественными или смешанными признаками.

Существует множество методов кластеризации, которые можно классифицировать на четкие и нечеткие. Четкие методы кластеризации разбивают исходное множество объектов X на несколько непересекающихся подмножеств. При этом любой объект из X принадлежит только одному кластеру.

Нечеткие методы кластеризации позволяют одному и тому же объекту принадлежать одновременно нескольким (или даже всем) кластерам, но с различной степенью.

Нечеткая кластеризация во многих ситуациях более "естественна", чем четкая, например, для объектов, расположенных на границе кластеров [3,4].

Все известные алгоритмы кластеризации можно подразделить на две основные группы: алгоритмы с априорно заданным количеством кластеров и алгоритмы, сами устанавливающие оптимальное количество кластеров.

Если количество кластеров неизвестно, то наиболее предпочтительными алгоритмами являются алгоритмы, сами устанавливающие количество кластеров или алгоритмы самоорганизации, одним из которых является алгоритм Густафссона-Кесселя [5].

Цель исследования. При распознавании технологических разновидностей железорудного сырья были проведены исследования с целью определения оптимального количества кластеров при использовании метода Густафссона-Кесселя.

Изложение материала и результаты. Кластеризация производилась по следующему алгоритму [6,7]. В процессе оптимизации были приняты следующие значения параметров: весовой показатель $m=2$, значение допуска для останова вычислений $\varepsilon=0,001$, определитель для каждого кластера $\rho=1$.

После инициализации матрицы принадлежности случайными значениями $U^{(0)} \in M_{fc}$ на каждом шаге $l=1,2,\dots$ выполняем следующие шаги.

Вычисляем центры кластеров

$$v_i^{(l)} = \frac{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik}^{(l-1)})^{m_{xk}}}{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik}^{(l-1)})^m}, 1 \leq i \leq c. \quad (1)$$

Вычисляем ковариационные матрицы кластеров

$$F_i^{(l)} = \frac{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik}^{(l-1)})^m (x_k - v_i^{(l)})(x_k - v_i^{(l)})^T}{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik}^{(l-1)})^m}, 1 \leq i \leq c. \quad (2)$$

Добавляем масштабированную единичную матрицу

$$F_i := (1-\gamma)F_i + \gamma(F_0)^{1/n}I. \quad (3)$$

Определяем собственные значения λ_{ij} и собственные вектора ϕ_{ij} , определяем $\lambda_{i,\max} = \max_j \lambda_{ij}$. Восстанавливаем значение F_i

$$F_i = [\phi_{i,1} \dots \phi_{i,n}] \text{diag}(\lambda_{i,1} \dots \lambda_{i,n}) [\phi_{i,1} \dots \phi_{i,n}]^{-1}. \quad (4)$$

Вычисляем расстояния

$$D_{ikA}^2(x_k, y_i) = (x_k - v_i^{(l)})^T \left[(\rho_i \det(F_i))^{1/n} F_i^{-1} \right] (x_k - v_i^{(l)}). \quad (5)$$

Рассчитываем значения элементов матрицы принадлежности по формуле

$$\mu_{ik}^{(l)} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c (D_{ikA}(x_k, v_i) D_{jk}(x_k, v_j))^{2/(m-1)}}, 1 \leq i \leq c, 1 \leq k \leq N. \quad (6)$$

До тех пор пока не будет выполнено условие останова расчетов $\|U^{(l)} - U^{(l-1)}\| < \varepsilon$.

В процессе оптимизации были приняты следующие значения параметров: $m=2$, $\varepsilon=0,001$, $\rho=1$ для каждого кластера. В процессе исследования количество кластеров c варьировалось от 2 до 14.

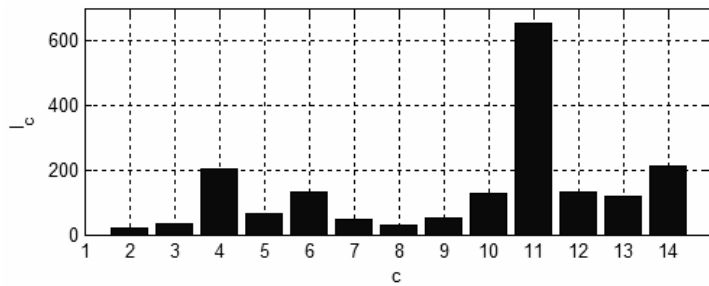


Рис. 1. Количество итераций при различном количестве кластеров

Наименьшее количество итераций потребовалось при разделении характеристик проб железорудного сырья на 2 кластера - 20, наибольшее - 654 при разделении на 11 (рис. 1).

Результаты кластеризации ха-

рактеристик руды кусковой руды приведены на рис. 2.

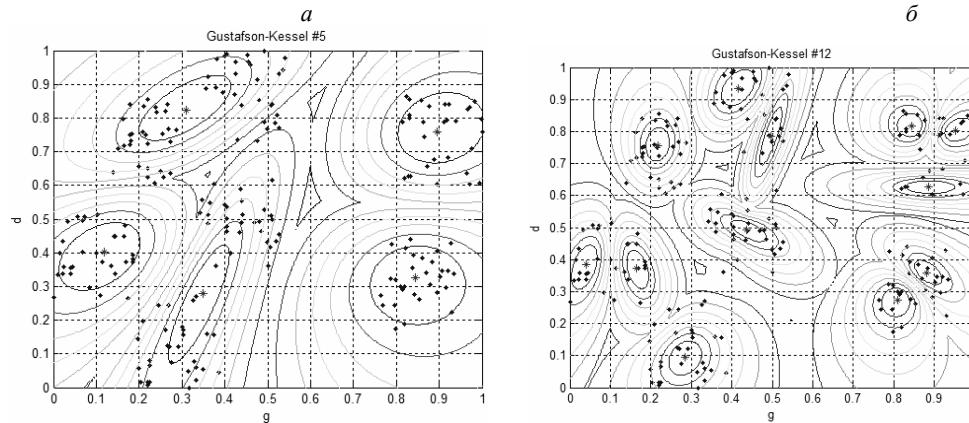


Рис. 2. Результаты кластеризации характеристик кусков руды при различном количестве кластеров: а - 5 кластеров; б - 12 кластеров

Оценка качества кластеризации была проведена с использованием скалярных мер достоверности [7].

Графическое представление зависимостей показателей качества кластеризации от количества кластеров по алгоритму Густафсона-Кесселя приведено на рис. 3-9.

Коэффициент распределения РС, зависимость которого от количества кластеров показана на рис. 3, является недостаточно информативным [4].

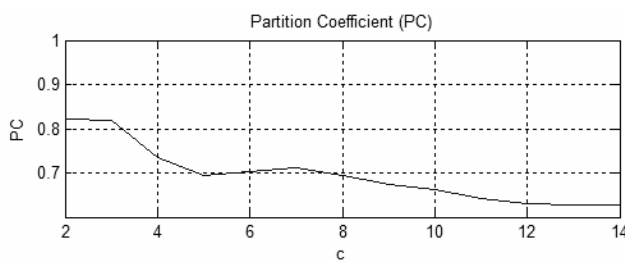


Рис. 3. Коэффициент распределения (PC)

При этом, следует отметить локальный всплеск при количестве кластеров $c=7$.

Слабую зависимость от анализируемых данных имеет показатель энтропии классификации CE: с увеличением количества кластеров значение функции монотонно возрастает (рис. 4).

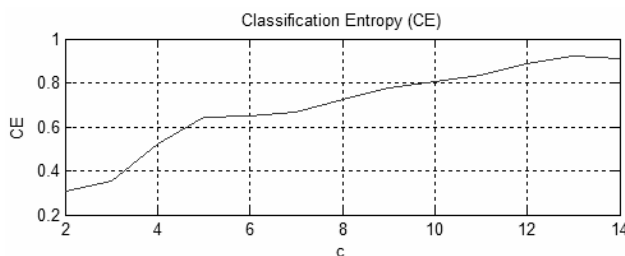


Рис. 4. Энтропия классификации (CE)

Показатель распределения SC сравнительно быстро убывает при увеличении количества кластеров с 2 до 7 (рис. 5), после чего убывание существенно замедляется [8].

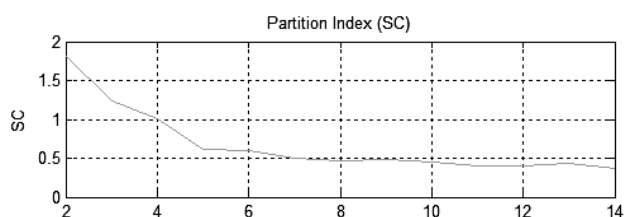


Рис. 5. Показатель распределения (SC)

Зависимость показателя разделения S от количества кластеров приведена на рис. 6 [8].

Здесь наблюдаются существенные колебания показателя при увеличении количе-

ства кластеров с 2 до 7 и сравнительно медленный спад при дальнейшем увеличении.

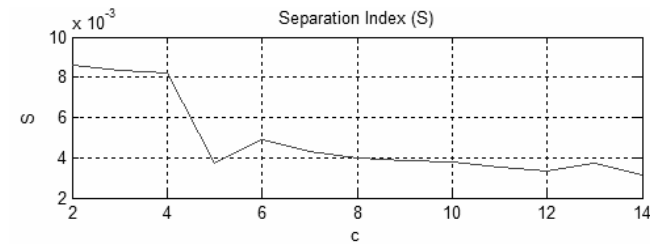


Рис. 6. Показатель разделения (S)

Показатель Кси-Бени XB изменяется достаточно сильно (рис. 7), что не позволяет однозначно определить оптимальное количество кластеров [9].

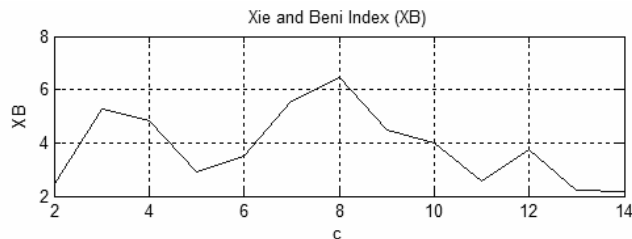


Рис. 7. Показатель Кси-Бени

Показатель Данна DI (рис. 8) указывает на то, что оптимальным количеством кластеров является $c=7$ [6].

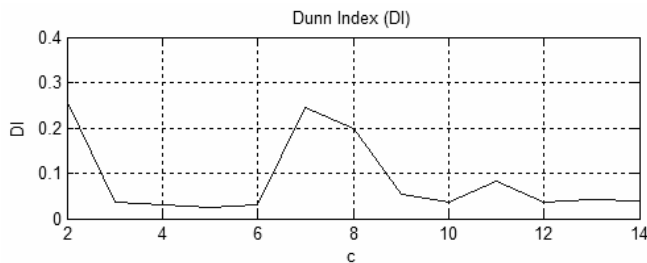


Рис. 8. Показатель Данна

Значение альтернативного показателя. Данная ADI, зависимость которого от количества кластеров приведена на рис. 9, достаточно сильно убывает с увеличением количества кластеров до 7, а с последующим увеличением практически не изменяется.

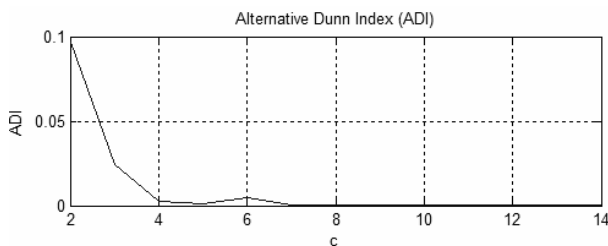


Рис. 9. Альтернативный показатель Данна

Результаты проведенных исследований показали, что оптимальным количеством кластеров при определении технологических разновидностей железорудного сырья является $c=7$, при этом необходимо 29 итераций.

Результаты кластеризации с помощью алгоритма Густафсона-Кесселя при количестве кластеров от пяти до девяти приведены на рис. 10.

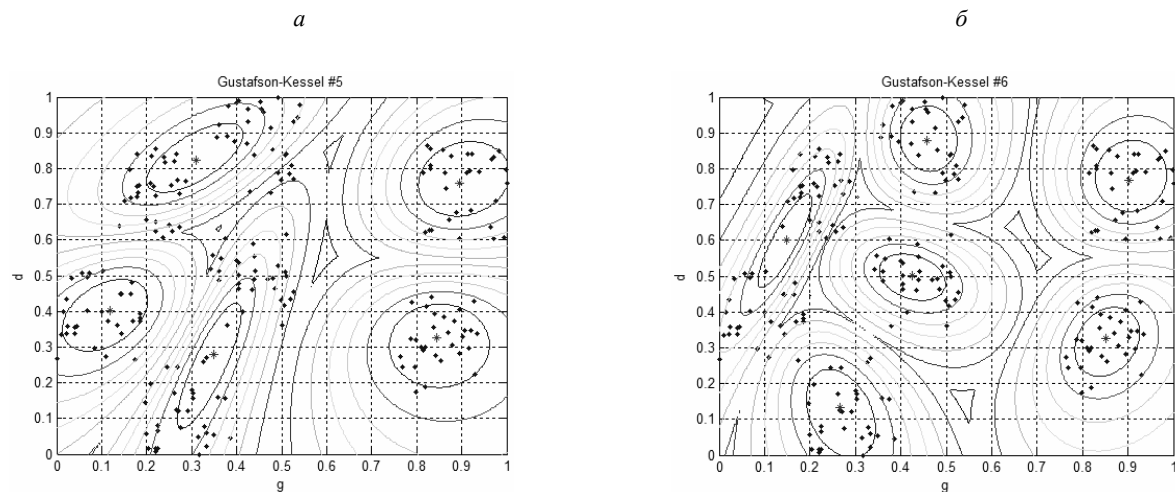


Рис. 10. Результаты кластеризации характеристик кусков руды при различном количестве кластеров

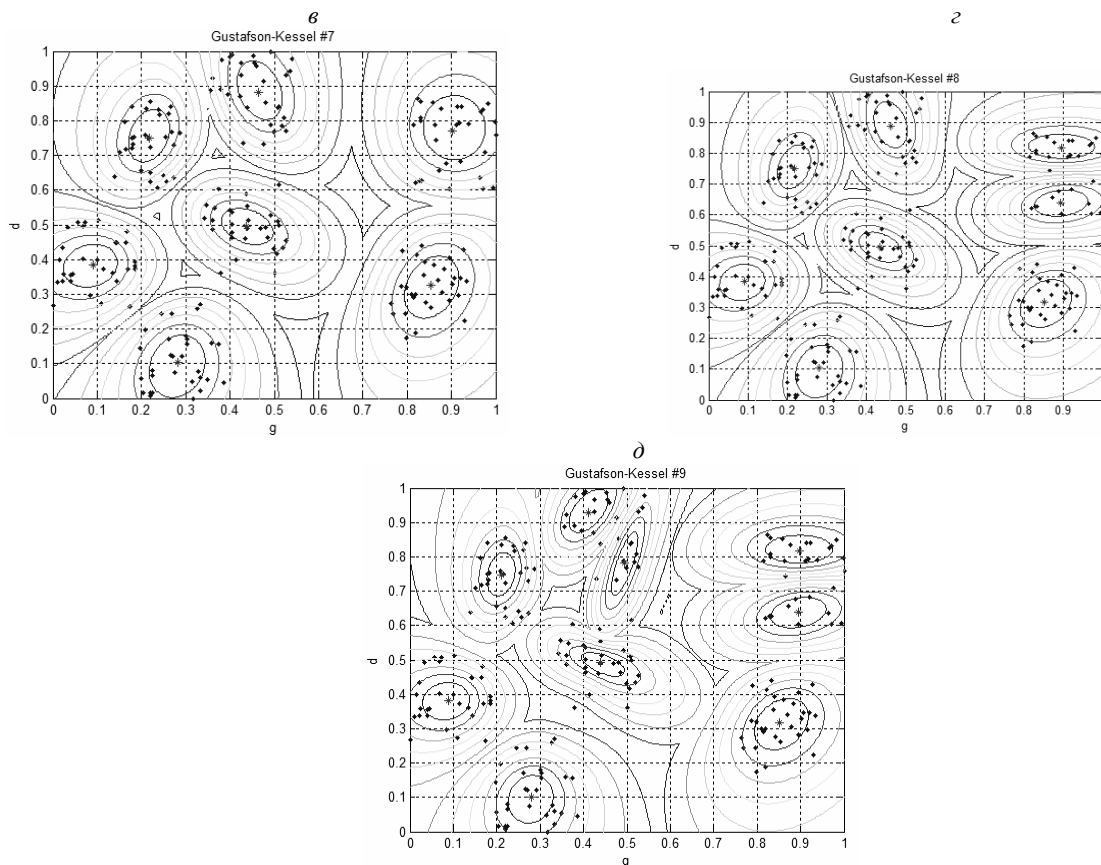


Рис. 10. Результати кластеризації характеристик кусків руди при різному кількості кластерів (Продолжение рис. 10)

Выводы. Таким образом, формирование автоматического управления сортировкой кусковой руды с оперативным распознаванием минералого-технологических разновидностей отдельных кусков в потоке, осуществлялось с помощью нечеткой кластеризации её характеристик с использованием алгоритма Густафсона-Кесселя.

Результаты проведенных исследований показали, что оптимальным количеством кластеров при определении технологических разновидностей железорудного сырья, гематитовых разновидностей руд месторождений Кривбасса, является $c=7$, при этом необходимо 29 итераций вычислений с заданной точностью.

Список литературы

1. Губіна В. Г. Проблема залізвмісних відходів гірничо-металургійного комплексу України - системний підхід / В. Г. Губіна, Б. О. Горлицький // Зб. наук. праць Інституту геохімії навколишнього середовища. - 2009. - Вип. 17. - С. 79-92.
2. Губін Г. Г. Гірничо-металургійний комплекс України між кризами / Г. Г. Губін, А. Г. Губіна // Вісник КТУ. - 2010. - Вип. 25. - С. 218-224.
3. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику / С.Д. Штовба. - Режим доступа: <http://matlab/exponenta.ru/fuzzylogic/book1>.
4. Bezdek J. C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. Plenum Press, 1981.
5. Gustafson D.E., Kessel W.C. Fuzzy clustering with a fuzzy covariance matrix // Proc. IEEE CDC, San Diego, CA. - 1979. - P. 761-766. - Vol. 7. - P. 773-781.
6. Balasko B. Fuzzy Clustering and Data Analysis Toolbox / Balasko B., Abonyi J., Feil B. - 74 p.
7. R. Babuka, P.J. van der Veen, and U. Kaymak. Improved covariance estimation for Gustafson-Kessel clustering. In Fuzzy Systems, 2002. FUZZ-IEEE'02. Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on, volume 2, pages 1081 – 1085, 2002.
8. Bensaid A.M., Hall L.O., Bezdek J.C., Clarke L.P., Silbiger M.L., Arrington J.A., Murtagh R.F. Validity-guided (Re)Clustering with applications to image segmentation. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 4:112-123, 1996.
9. Xie X. L. and Beni G. A. Validity measure for fuzzy clustering. *IEEE Trans. PAMI*, 3(8):841 {846, 1991.
10. Morkun V., Tevirkun S. Investigation of methods of fuzzy clustering for determining ore types. *Metallurgical and Mining Industry*, 2014, No.5, p.p. 12-15. <http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/3-MorkunTs.pdf>.

Рукопись поступила в редакцию 28.03.15

УДК 622.7

В.С. БЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, К.Л. ШПИЛЬОВИЙ, інженер, ТОВ «Азов-Мінералтехніка»

ВИЛУЧЕННЯ ВАЖКИХ МІНЕРАЛІВ З РІДКІСНОМЕТАЛІЧНОЇ РУДИ У ВІДЦЕНТРОВОМУ ПОЛІ

Статтю присвячено проблемі збагачення тонковкраплених рідкіснометалічних руд у безнапірних відцентрових концентраторах. Показано, що збагачення таких руд, які містять крім легких та важких мінералів також мінерали проміжної густини, проходить з малою ефективністю. Для підвищення ступеню контрастності мінеральних зерен, що розділяються, нами запропоновано перед розділенням важких і легких мінералів у відцентровому полі проводити попереднє вилучення магнітною сепарацією мінералів проміжної густини - егірину, біотиту і т.ін. Але повна відсутність в збагачуваній руді зерен проміжної густини також є несприятливою.

Досліджено закономірності вилучення важких мінералів рідкіснометалічної руди одного із вітчизняних родовищ у відцентровому полі за різного вмісту мінералів проміжної густини. Показано, що для даного типу руд оптимальним є вміст мінералів проміжної густини на рівні 4,8-5,2 %.

Проведене вивчення магнітних властивостей мінералів дозволило визначити технічні параметри магнітного поля, за яких забезпечується необхідний вміст в руді мінералів проміжної густини.

Ключові слова: рідкіснометалічна руда, відцентрова концентрація, магнітна сепарація, вилучення.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Загальна тенденція залучення до переробки бідної рідкіснометалічної сировини та зменшення розмірів вкрапленості цінних компонентів в ній вимагають вирішення проблеми переробки тонковкраплених руд, та відвальних продуктів збагачення, накопичених за тривалий період роботи збагачувальних фабрик.

Руди рідкісних металів найчастіше є бідними і тонковкрапленими. Традиційні гравітаційні методи збагачення таких руд не забезпечують достатньо високого вилучення металів у чорнові концентрати. Так, багаторічні дослідження збагачуваності рідкіснометалічної руди єдиного в Україні Мазурівського родовища різними дослідницькими організаціями з метою розробки ефективної технології збагачення не призвели до позитивних результатів. Вилучення найбільш цінного мінералу - пірохлору, - в кращому випадку не перевищувало 35-40 % [1-2].

На зарубіжних збагачувальних фабриках для переробки тантал-ніобієвої сировини останнім часом застосовують збагачувальні апарати нового покоління - безнапірні відцентрові концентратори. В таких апаратах зернам мінералів різної питомої маси надається прискорення, в результаті якого мінерали з більш високою питомою масою концентруються біля стінки конусоподібної чаші, витискуючи більш легкі. Останні попадають у хвостову ринву відцентрового концентратора.

Подрібнені тонковкраплені руди та продукти їх збагачення, а також піски розсипних родовищ, які не пройшли природну гідравлічну класифікацію, є найбільш придатними матеріалами для збагачення у відцентрових апаратах.

Такі концентратори добре зарекомендували себе при збагаченні тонкого золота, питома маса якого в кілька разів перевищує питому масу породи.

Відмінності у густині мінеральних зерен цінних компонентів та породи для рідкіснометалічних руд є менш значними, ніж для золотовмісних руд. З огляду на це для рідкіснометалічних руд доцільним було б перед збагаченням у відцентровому полі провести попереднє вилучення мінералів проміжної густини - егірину, біотиту, гетиту/ферогідриту, та інших, - одним із відомих методів збагачення.

Виходячи із загальних закономірностей гравітаційного збагачення це мало б привести до підвищення ступеню контрастності мінеральних зерен, що розділяються.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблема ефективності розділення мінеральних зерен у відцентровому полі відносно золотовмісної сировини розглядалася та в значній мірі вирішена [3-5]. Відомо, що ефективність вилучення цінних компонентів з руди визначається крупністю зерен легких та важких мінералів (їх співвідношенням), їх густиною, вмістом важких мінералів.

Важкі зерна у відцентровому концентраторі вилучаються з вищою ефективністю, ніж зерна меншої густини [6].

У роботах [7-9] досліджувався вплив частоти обертання ротора концентратора, густини пульпи та витрат води на ступінь вилучення тонкого золота.

Руди рідкісних металів містять значну частку важких зерен проміжної густини.

У роботі [10] відмічається, що збагачення таких матеріалів проходить з малою ефективністю. У [11-12] стверджується, що повна відсутність в збагачуваній руді зерен проміжної густини також є несприятливою. Тож для кожного типу збагачуваних тонковкраплених рідкіснометалічних руд мають бути обґрунтовані режимні технологічні параметри роботи відцентрового концентратора.

Постановка задачі. Метою роботи є вивчення особливостей вилучення важких мінералів (пірохлору, циркону) у відцентровому полі з рідкіснометалічної руди, що містить мінерали проміжної густини.

Виклад основного матеріалу. Для проведення досліджень підготовлена технологічна проба, яка характеризує комплексні ніобій-цирконієві корінні руди нефелінових сієнітів Мазурівського родовища, складена із окремих кернових проб, відібраних з трьох спеціально пройдених для цього свердловин, що перетинали перший та другий рудний поклади.

Уламки кернів складені дрібно- і середньозернистими нефеліновими сієнітами, в невеликій кількості серед них присутні уламки егірин-нефелінових пегматитів.

Підготовка технологічної проби до досліджень полягала в стадіальному дробленні та подрібненні, і відборі показного матеріалу для хімічних, мінералогічних досліджень і дослідів по збагаченню.

При виконанні досліджень речовинного складу використовувалися відомі методи визначення хімічного складу рентген-флюоресцентним та хімічним аналізом, оптико-мікроскопічні дослідження, фракціонування у важких рідинах (бромформі), кількісні мінералогічні аналізи, магнітна та електромагнітна сепарації.

Технологічна проба складалася в основному з нефеліну, мікрокліну та невеликої кількості альбіту, лепідомелану (біотиту) і егірину.

За мінеральним складом проба відповідає нефеліновим сієнітам. Мінеральний склад технологічної проби (у %):

легкі мінерали (<2,9 г/см³): нефелін - 18,5; мікроклін - 36,8; альбіт - 30,2; содаліт - 0,3; канкриніт - 0,6; карбонат - 1,33;

мінерали проміжної густини (2,9-3,6 г/см³): лепідомелан (біотит) - 4,8; егірин - 4,2; апатит - 0,1; флюорит - 0,1; гетит/ ферогідрит - 2,2;

важкі мінерали (>3,6 г/см³): циркон - 0,38; пірохлор - 0,13; магнетит - 0,15; ільменіт - 0,11; сульфіди (пірит) - 0,10.

Деякі фізичні властивості мінералів Мазурівського родовища наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Фізичні характеристики матеріалу

Мінерал	Хімічна формула	Питома маса, г/см ³	Питома магнітна сприйнятливість, м ³ /кг*10 ⁻⁸
Пертит /мікроклін	(Na, K)Si ₃ O ₈	2,55-2,65	Не магнітний
Альбіт	Na,Al,Si ₃ O ₈	2,6	Не магнітний
Нефелін	Na,Al,SiO ₄	2,45-2,55	Не магнітний
Содаліт		2,13-2,29	Не магнітний
Канкриніт		2,3-2,5	Не магнітний
Кальцит		2,72	0,4-0,6
Егірин (піроксен)	Na,Fe(SiO ₃) ₂	3,4-3,5	3-11
Лепідомелан (Fe- біотит)	K ₂ (Mg,Fe) ₂ (OH) ₂ Al,Si ₃ O ₁₀	3,1	4-12
Гідроксиди заліза (гетит/ферогідрит)	FeO,OH	3,8	20-30
Апатит		3,1-3,2	0,1-0,4
Флюорит		3,15	0,10-0,36
Циркон	ZrSiO ₄	4,6	0,15
Пірохлор	Nb/Ta/Fe/Ca Complex	5,27	0,6-0,7
Магнетит		5,1	25-50
Ільменіт		4,6	30-120
Пірит		5,1	0,5-1,0

Як показали мінералогічні дослідження розсіяного (розситованого) матеріалу при подріб-

ненні до -1 мм циркон розкривається достатньо повно і може ефективно вилучатися існуючими методами гравітаційного збагачення. Пірохлор, навпаки, розкривається лише частково і головним чином в крупності дрібніше 0,063 мм.

Тому для проведення технологічних досліджень по збагаченню проба була доздрібнена до -0,2 мм (табл. 2). Але і при такому тонкому подрібненні переважна частина матеріалу (66,0 %) залишалася в класах крупніше 0,063 мм. У ньому ж залишилось майже 60 % загальної кількості Nb_2O_5 та 72 % ZrO_2 .

Таблиця 2

Вміст цінних компонентів в класах крупності подрібненої технологічної проби

Класи крупності, мм	Вихід, %	Вміст, %		Розподіл, %	
		Nb_2O_5	ZrO_2	Nb_2O_5	ZrO_2
Подрібнення до -1 мм					
-1+0,5	39,56	0,10	0,55	35,74	33,73
-0,5+0,25	19,32	0,10	0,82	17,60	25,50
-0,25+0,125	14,53	0,11	0,82	13,99	18,42
-0,125+0,063	11,41	0,11	0,72	11,55	12,57
-0,063+0,032	6,15	0,13	0,64	7,22	6,06
-0,032	9,03	0,17	0,34	13,90	4,72
Вихідна руда	100,00	0,11	0,65	100,00	100,00
Подрібнення до -0,2 мм					
+0,2	0,72	0,08	0,47	0,53	0,51
-0,2+0,125	30,81	0,10	0,70	27,01	35,03
-0,125+0,063	34,45	0,10	0,65	30,18	36,44
-0,063+0,032	15,55	0,13	0,70	17,75	17,52
-0,032	6,49	0,17	0,50	9,65	5,25
ВСЬОГО: піски	88,02	0,117	0,71	85,12	94,75
шлами	11,98	0,15	0,27	14,88	5,25
вихідна руда	100,00	0,12	0,62	100,00	100,00

Вміст Nb_2O_5 в цих класах знаходиться на рівні вихідного вмісту у руді або дещо нижчому, і зберігається переважно у вигляді включень пірохлору в породоутворюючих мінералах.

Вихід класів дрібніше 0,063 мм складає 34 %, в тому числі 11,98 % шламів.

Вони помітно збагачені Nb_2O_5 і в них зосереджено близько 43 % його загальної кількості.

Оксид цирконію розподіляється досить рівномірно по всіх класах, як при подрібненні до -1 мм, так і до -0,2 мм. На відміну від пірохлору циркон достатньо повно розкривається вже у класі -1÷+0,5 мм.

Аналіз фізичних властивостей мінералів, які складають руди Мазурівського родовища, показав, що перспективним методом попереднього вилучення мінералів проміжної густини може бути магнітна сепарація.

Звичайно магнітні властивості мінералів різних родовищ суттєво відрізняються. Так, з більш ранніх робіт [13] відомо, що пірохлору Мазурівського родовища притаманні магнітні властивості завдяки чорній цупкій рудній «сорочці» на поверхні зерен.

Визначальним фактором для показників магнітної сепарації важкозбагачуваних руд рідкісних металів є ступінь розкриття сировини та її цінних компонентів, яка в свою чергу залежить від крупності подрібнення руди.

Як було показано в роботі [14], розкриття зерен пірохлору - найбільш цінного компоненту руди, - відбувається в основному при подрібненні руди до 0,1-0,09 мм (60-70 % вмісту класу -0,074 мм). Але при цьому утворюється значна кількість шламів, ефективне вилучення цінних компонентів з яких є неможливим. Тому магнітну сепарацію такої сировини пропонується розпочинати не з зазначеної оптимальної крупності, а тої, яка характеризується наявністю вже достатньої кількості розкритих зерен пірохлору. Таким чином, сировиною для магнітної сепарації був широко класифікований матеріал з крупністю від 0 до 0,2 мм, в якому доля розкритих зерен пірохлору складала близько 60 %. Виявлення початкової і кінцевої крупності магнітної сепарації здійснювалося за рекомендаціями роботи [15].

Більшість руд рідкісних металів відноситься до слабomagнітних. За мінеральним складом руда Мазурівського родовища є комплексною мінеральною сировиною. В ній встановлено близько 20 мінералів, що зумовлює необхідність отримання широкого спектру товарної продукції.

При цьому можливим є виділення з руди концентратів основних компонентів: ніобію та танталу (пірохлоровий), цирконію та гафнію (цирконовий), рідкісних земель. Крім того, доцільним є отримання концентратів (продуктів) з попутних мінералів - польовошпатового, магнетитового, ільменітового, егіринового, біотитового, та інших.

У зв'язку з цим було проведено детальне вивчення магнітних властивостей всіх мінералів, що входять до складу важкозбагачуваної рідкіснометалічної руди. Дослідження проводились в лабораторії НГУ на установці Фарадея (межа виявлення магнітної сприйнятливості 10^{-12} м³/кг). Матеріалом слугували мономінеральні фракції компонентів руди, отримані розділенням у важких розчинах.

Діапазони коливань значень магнітної сприйнятливості мінералів руди наведено вище, див. табл. 2.

Як бачимо, такі мінерали проміжної густини, як егірин, біотит, гетит, доля яких в руді є досить високою, мають помітну магнітну сприйнятливість і відносяться до класу слабомагнітних матеріалів.

При відповідній напруженості магнітного поля промислового сепаратора вони можуть бути вилучені з руди. Інші мінерали проміжної густини - апатит і флюорит, - є немагнітними. Але їх вміст у руді зовсім незначний, і тому великого впливу на результати розділення мінералів у відцентровому полі не матимуть.

Важкі мінерали - магнетит та ільменіт - мають високу магнітну сприйнятливість і можуть бути вилучені в магнітну фракцію. Їх вміст у руді також є невисоким; вилучення цих мінералів перед сепарацією у відцентровому полі не позначиться суттєво на результатах розділення важких та легких мінералів.

Магнітне фракціонування продуктів полягало в проведенні магнітної сепарації при зростаючій напруженості магнітного поля з отриманням магнітної та немагнітної фракцій, які піддавалися рентгено-флюоресцентному аналізу.

Досліди проводили на сухому роликівому сепараторі СЭ-138 з нижньою подачею матеріалу та максимальною величиною напруженості магнітного поля 16,4 кЕ.

Попередньо вихідна руда, подрібнена до -0,2 мм, та знешламлена по класу -0,032 мм піддавалася магнітній сепарації при напруженості магнітного поля 3,0 кЕ для вилучення магнетиту та ільменіту. З отриманого немагнітного продукту при напруженості магнітного поля 4,5 кЕ, 6,0 кЕ, 7,5 кЕ та 9,0 кЕ напрацьовано чотири проби матеріалу (немагнітна фракція), які потім досліджувалися на збагачуваність у відцентровому полі.

Результати магнітного фракціонування вихідної руди наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Результати магнітного фракціонування вихідної руди -0,2 мм, знешламленої по класу -0,032 мм

Назва продукту	Вихід, %	Вміст мінералів проміжної густини, %			Вміст важких мінералів, %		
		егірин	біотит	гетит	пірохлор	циркон	магнетит, ільменіт
Магнітна фракція 1 Н=3,0 кЕ	1,45	-	-	-	-	-	27,58
Немагнітна фракція 1	98,55	4,26	4,87	2,23	0,132	0,36	-
Магнітна фракція 2 Н=4,5 кЕ	4,92	23,57	19,72	35,16	-	-	-
Немагнітна фракція 2	95,08	3,1	3,9	0,5	0,138	0,377	-
Магнітна фракція 3 Н=6,0 кЕ	12,56	21,97	22,85	16,16	-	-	-
Немагнітна фракція 3	87,44	1,5	2,0	0,2	0,150	0,41	-
Магнітна фракція 4 Н=7,5 кЕ	25,18	16,12	18,55	8,64	-	-	-
Немагнітна фракція 4	74,82	0,2	0,2	-	0,176	0,48	-
Магнітна фракція 5 Н=9,0 кЕ	27,8	15,32	17,52	-	0,023	-	-
Немагнітна фракція 5 Н=9,0 кЕ	72,2	-	-	-	0,174	0,50	-
Вихідна руда -0,2 мм	100,0	4,2	4,8	2,2	0,13	0,38	0,4

На рис. 1 наведено графічні залежності вмісту мінералів проміжної густини в немагнітній фракції від величини напруженості магнітного поля.

Встановлено, що пірохлор переходить до магнітної фракції, починаючи з напруженості магнітного поля 8,0÷8,5 кЕ.

Для проведення досліджень збагачення руди у відцентровому полі використовувався концентратор KNELSON марки КС-МДЗ, який в лабораторному масштабі забезпечує таку ж ефективність збагачення, як і більш продуктивні апарати в промислових умовах. Продуктивність сепаратора по твердому - до 45 кг/год., по рідкому - до 660 л/год. Густина пульпи живлення - до 25 % твердого. Витрати води для промивання - 660÷900 л/год.

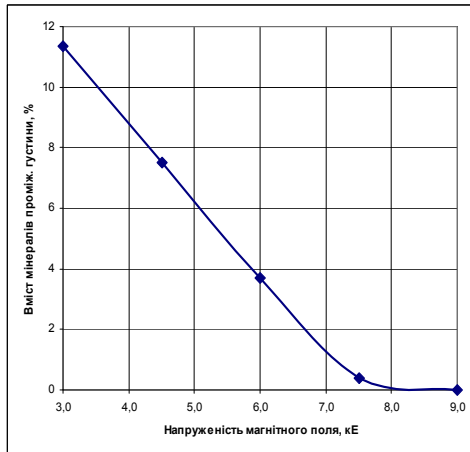


Рис. 1. Графічна залежність вмісту мінералів проміжної густини в немагнітній фракції (егірін, біотит, гетит) від величини напруженості магнітного поля

Матеріал у вигляді пульпи із змішувача надходив через центральну трубку до внутрішнього конуса (чаші) діаметром 3 дюйми. При цьому вертикальні (знизу до верху) потоки пульпи створюються за допомогою води, яка подається через спеціальні отвори в конусі.

Важка фракція накопичується за рахунок відцентрової сили в жолобках конуса та періодично, при зупинці апарату, розвантажується шляхом зняття конуса та його промивання.

Легка фракція розвантажується через верхній край чаші в зливний приймальник. Тиск води підтримувався

стабільним в межах 276-690 кПа. Частота обертання ротора підтримувалася стабільною - 1460 об/хв.

Регулювання режимів збагачення здійснювалося зміною тиску води, що подавалася у чашу. Величина тиску води для кожної проби підбиралася експериментально.

Досліджувалися чотири проби матеріалу з різним вмістом мінералів проміжної густини, які отримані магнітною сепарацією проби вихідної руди. Кожну пробу (близько 20 кг) пропускали через концентратор Нельсона з отриманням важкої та легкої фракцій. Після висушування та зважування визначали вихід продуктів збагачення. З кожного продукту відбирали проби по 50-100 г на хімічний та мінералогічний аналізи. Визначали вміст пірохлору, циркону, та Nb_2O_5 і ZrO_2 .

Оцінка ефективності збагачення проб руди на концентраторі Нельсона здійснювалася за даними хімічного та мінералогічного аналізів.

На рис. 2 наведено графічні залежності ступеню вилучення Nb_2O_5 та ZrO_2 у важку фракцію; на рис. 3 - масової частки $ZrO_2 + Nb_2O_5$ у важкій фракції, та виходу важкої фракції (пірохлору + циркону) від вмісту мінералів проміжної густини у руді.

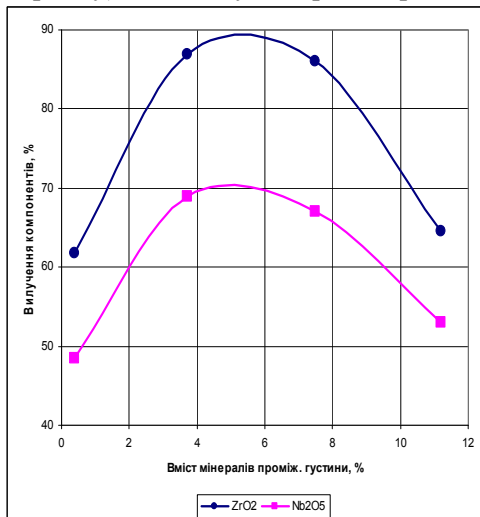


Рис. 2. Графічна залежність ступеню вилучення Nb_2O_5 та ZrO_2 у важку фракцію від вмісту мінералів проміжної густини у руді

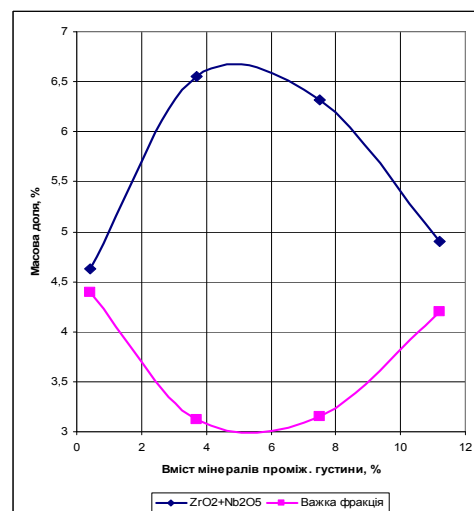


Рис. 3. Графічна залежність масової долі суми оксидів цирконію та ніобію і виходу важкої фракції (пірохлору + циркону) від вмісту мінералів проміжної густини у руді

Висновки. 1. Найбільш прийнятні показники збагачення руди Мазурівського родовища у відцентровому безнапірному концентраторі (вилучення Nb_2O_5 та ZrO_2 , масова частка ($ZrO_2 + Nb_2O_5$, досягаються при вмісті в руді мінералів проміжної густини (біотиту, егірину, гетиту) на рівні 4,8-5,2 %.

2. Вміст мінералів проміжної густини (біотиту, егірину, гетиту) на рівні 4,8-5,2 % забезпечується попередньою магнітною сепарацією руди, доподрібненої до крупності менше 0,2 мм, при напруженості магнітного поля 5,4-5,5 кЕ.

3. Магнітне фракціонування вихідної тонковкрапленої руди є перспективною технологічною операцією, яка дозволяє підвищити ефективність вилучення важких мінералів - пірохлору та цирконію, - у відцентровому полі.

Список літератури

1. **Зубков Л.Б., Прозорова М.В., Акоева Е.К.** и др. Оценка минерально-технологических перспектив комплексной переработки ниобий-циркониевых руд Октябрьского месторождения: Отчет о НИР / Гиредмет. – М., 1984. – 124 с.
2. **Тихонов С.А.** и др. Изучение вещественного состава и технологических особенностей 25 малообъемных проб руд Мазуровского месторождения: Отчет о НИР по теме 59/80-8 / ИМП. - Симферополь, 1985. - 125 с.
3. **Федотов К. В., Романченко А. А.** Механизм сепарации золотосодержащего минерального сырья в безнапорном сепараторе // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – Иркутск, 2003. - № 9. - С. 80-85.
4. **Орлов Ю. А., Афонсенко С. И., Лазариди А. Н.** Рациональное использование центробежных концентраторов при обогащении золоторудного сырья // Горный журнал. – М., 1997. - № 11. – С. 44-47.
5. **Huang, L.** Upgrading of Gold Gravity Concentrates a Study of the Knelson Concentrator. Ph.D Thesis / L. Huang. – Mc Gill University, 1999. – Pp. 319.
6. **Koppalkar, S.** Effect of Operating Variables in Knelson Concentrators: A Pilot-Scale Study. Ph.D Thesis / S. Koppalkar. – Mc Gill University, 2009. – Pp. 147.
7. **Заярный А. А.** Повышение эффективности обогащения труднообогатимых тантал-ниобиевых руд на основе центробежной сепарации (на рудах месторождения «Липовый Лог»): Дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.13 / ЧГУ. – Чита, 2004. - 160 с.: илл., табл.
8. **Богданович А. В.** Разделение минеральных частиц в центробежных полях – обогатительные технологии будущего // Горный журнал. – М., 1997.- № 4. – С. 24-26.
9. **Фалей Е. А.** Исследование закономерностей и разработка технических решений турбулизационной центробежной сепарации минерального сырья: Дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.13 / Уральский ГГУ. – Екатеринбург, 2014. – 175 с.: илл., табл.
10. **Романченко А.А.** Моделирование процесса центробежной сепарации золотосодержащего сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.13 / ИГУ. – Иркутск, 2009. – 22 с.
11. **Шохин В. Н., Лопатин А. Г.** Гравитационные методы обогащения. – М.: Недра, 1993. – 350 с.
12. **Федотов К.В., Тютюнни В.В.** Обогащение в центробежных концентраторах: монография. – Иркутск.: Изд-во Иркут. гос. техн. ун-та, 2008. – 115 с.
13. **Шаповалов Г.М., Быков Ю.А.** и др. Изучение вещественного состава и разработка схемы обогащения пироксидо-цирконовых руд Октябрьского месторождения: Отчет о НИР по теме / ИМП. - Симферополь, 1968. - 155 с.
14. **Шпилевой К.Л., Шпилевой Л.В.** Повышение извлечения пироксидов за счет совершенствования рудоподготовки // IX Конгресс обогатителей стран СНГ. 26-28 февраля 2013 г. Сб. материалов в 2-х томах. Т. 11. – М.: МИ-СиС, 2013. – С. 679-681.
15. **Петров И. М.** Повышение эффективности переработки и извлекаемой ценности редкометаллических руд на основе оптимизации параметров и глубины обогащения минеральных компонентов: Дисс. ... д-ра техн. наук: 25.05.13 / МГГУ. – М., 2002. - 390 с.: илл., табл.

Рукопис подано до редакції 221.03.15

УДК 622.7.09.543.52

А.Н. ГРИЦЕНКО, научный сотрудник, Криворожский национальный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПОКАЗАНИЙ РУЧНОГО И КОМБИНИРОВАННОГО КАРОТАЖНОГО ЗОНДА ПРИ КАРОТАЖЕ БУРОВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН

Изложены результаты полевых испытаний разработанного ручного скважинного снаряжения для каротажа взрывных скважин при открытой добыче железных руд. Результаты каротажа сопоставлялись с данными каротажа по этим же скважинам каротажной станцией «Карьер-Кривбасс», зарекомендовавшей себя и эксплуатируемой на предприятиях Криворожского месторождения более 10 лет. Ручной каротажный зонд превосходит эксплуатируемую каротажную станцию мобильностью, высокой скоростью получения результатов измерений и снижением затрат физиче-

ского труда бригады каротажников. Для исключения влияния некорректной градуировки устройств, на точность показаний, а также отсутствием градуировочной зависимости в разработанном скважинном снаряде сопоставление проводилось по интенсивности, - величине, которая регистрируется датчиком. Полученные результаты были сопоставлены в табличном и графическом виде, что позволило получить градуировочную зависимость для ручного зонда по данным каротажной станции. В результате чего были сопоставлены показания содержания железа обеих устройств. После чего построен график сходимости этих величин, по которому можно сделать вывод, о том, что ручной скважинный снаряд обеспечивает точность каротажа, заявленную техническими характеристиками каротажной станции «Карьер-Кривбасс» и может заменить комбинированный каротажный зонд.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Для планирования качества горной породы, при открытой добыче, производится детальный каротаж по сети буровзрывных скважин, при этом определяется величина $Fe_{общ}$ с определенным шаром между точками измерения. На карьерах Кривбасса более 10 лет эксплуатируется каротажная станция «Карьер-Кривбасс», разработанная в проблемно-отраслевой, научно исследовательской лаборатории Криворожского национального университета. Детали каротажной станции за время эксплуатации потерпели механическому износу. Для дальнейшей бесперебойной эксплуатации станции необходимы значительные материальные затраты для её капитального ремонта.

С учетом многолетнего накопленного опыта научных работ, разработан макет зондового устройства, без применения устройства расклинивания зондового устройства между стенками скважины, что позволило осуществлять подъем зонда без применения лебедки.

Это повысит мобильность проведения каротажных работ на буровом блоке, облегчит работу бригады рабочих, выполняющих каротаж.

Изложение материала и результаты. После успешного проведения лабораторных испытаний на макете, было изготовлено макетное зондовое устройство с механизмом стабилизации зонда на необходимом расстоянии.

В условиях карьера «Северный» ПАО «ММК им. Ильича» проведены полевые испытания с использованием макета датчика, функциональная схема которого приведена на рис. 1.

Датчик предназначен для измерения величины интегрального потока (интенсивности) рассеянного гамма-излучения.

Датчик используется совместно с первичным измерительным преобразователем (ПИП), представляющим собой совмещенные кристалл-детектор гамма-излучения, преобразующий поступающие гамма-кванты в фотоны (кванты света), и фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), преобразующий фотоны в импульсы электрического тока.

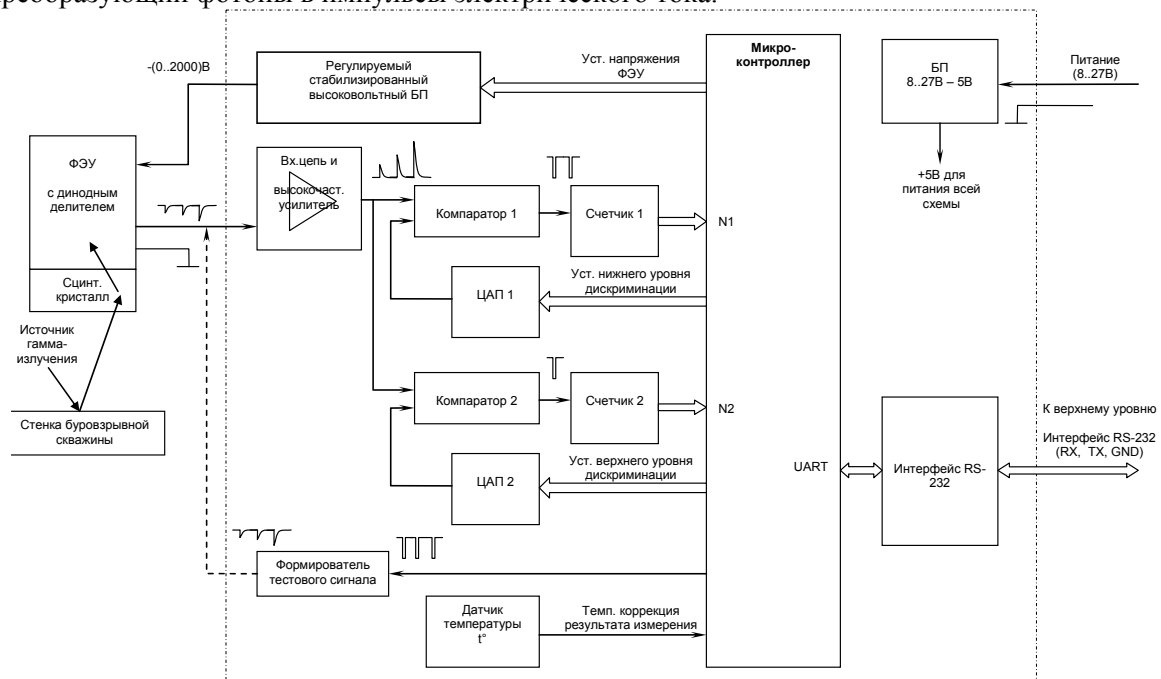


Рис. 1. Функциональная схема датчика

Основу датчика составляет микроконтроллер, который выполняет следующие функции:

измерение интенсивности (т.е. количества импульсов за определенное время измерения) по двум каналам (счетчик 1 и счетчик 2);

тактирование процесса измерения (точный отсчет времени измерения)

измерение температуры внутри корпуса датчика и температурную коррекцию результата измерения;

программно задает величину напряжения для питания ФЭУ;

программно задает уровни дискриминации (нижний и верхний) по двум каналам (счетчик 1 и счетчик 2, соответственно);

формирует тестовый сигнал для проверки датчика;

производит обработку команд, поступающего от верхнего уровня (протокол Modbus) и передачу данных на верхний уровень;

Принцип (алгоритм) работы датчика следующий. Сигнал с выхода ФЭУ представляет короткие импульсы тока различной амплитуды. Полярность импульсов - отрицательная. Импульсы поступают на входной высокочастотный усилитель, преобразующий их в импульсы напряжения, которые затем подаются на два идентичных канала сравнения и счета, состоящих из компаратора, цифроаналогового преобразователя (ЦАП) и счетчика.

В этих каналах производится сравнение амплитуды импульсов с некоторым уровнем, заданным программно с помощью ЦАП.

Если амплитуда входного импульса превышает заданный уровень – на выходе компаратора формируется прямоугольный импульс отрицательной полярности, который увеличивает значение счетчика на единицу.

После истечения заданного времени измерительный пульт отсылает по каротажному кабелю пакет запроса данных.

Получив его микроконтроллер зондового устройства вычисляет разницу импульсов между счетчиком 1 и счетчиком 2, формирует пакет данных и отсылает его измерительному пулту.

Внешний вид макета зондового устройства приведен на рис. 2.

Рис. 2. Внешний вид макета зондового устройства



Полевые испытания заключались в последовательном каротаже комбинированным зондом каротажной станции «Карьер-Кривбасс» и последующим каротажом этой же скважины макетом каротажного зонда.

Сопоставлялась тенденция изменений отраженного интегрального потока гамма-излучения.

Обобщенный алгоритм проведения каротажа ручным каротажным зондом приведен на рис. 3.

Перед началом каротажа, устанавливаются параметры шага каротажа (dh) и времени измерения (dt) на точке (блок 1).

При переходе на новую скважину зонд опускается в скважину до тех пор, пока он не достигнет ее забоя (на глубину h) (блок 2).

Если $h \neq 0$ (блок 3), запускается режим измерения (блоки 4,5).

При этом обнуляется значение счетчика импульсов, и запускается таймер измерения.

После этого начат счет импульсов N , приходящих с ФЭУ (блок 6).

Каждую секунду происходит прерывание, где инкрементируется переменная времени t (блок 7).

Затем сравнивается значение времени t с установленным временем измерения tk (блок 8).

Если значение переменной t не превышает tk то продолжается счет импульсов N и через секунду наступает новое прерывание, в противном случае, вычисляется значение Fe , как функции от N и калибровочных коэффициентов зонда (блок 9).

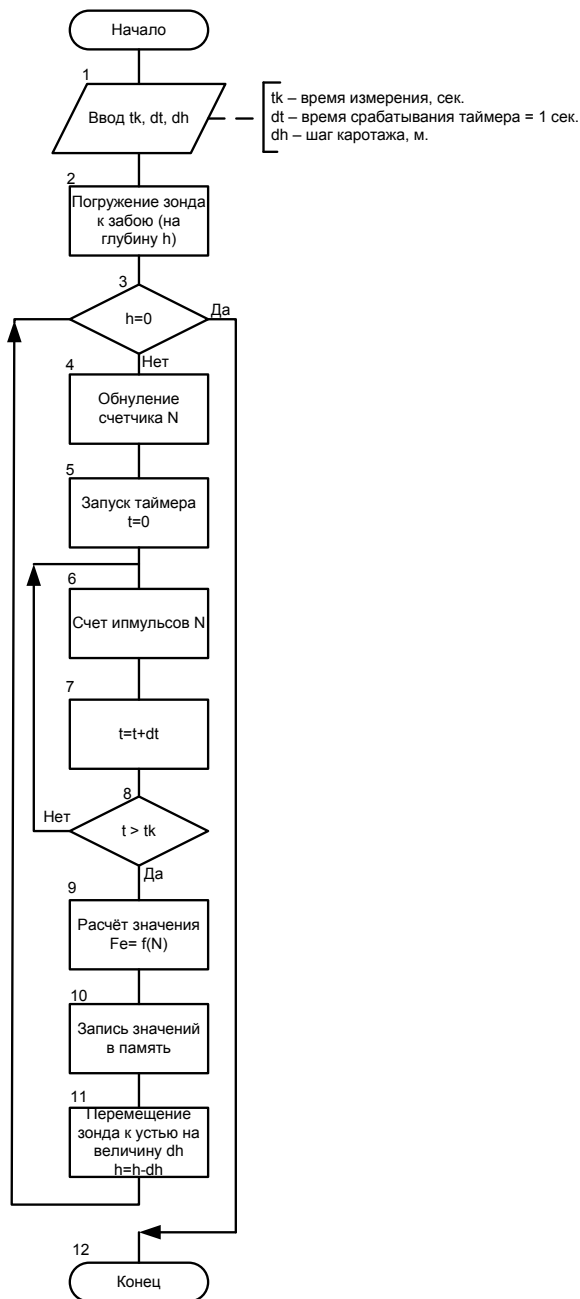


Рис. 3. Алгоритм каротажа

Интенсивность отличается за счет разных уровней чувствительности и напряжения питания фотоэлектронного умножителя, разной геометрии источник-детектор и различной активности источников ионизирующего излучения.

В результате сопоставления значений интенсивности по ручному зонду, и значений содержания полезного компонента по комбинированному, построен график зависимости этих значений, приведенный на рис. 6, и получено аналитическое выражение (1), при этом достоверность аппроксимации составляет 0,96.

$$Fe = 8 \cdot 10^{-11} \cdot N^3 - 2 \cdot 10^{-6} N^2 + 0,008 \cdot N + 48,016, \quad (1)$$

где Fe - содержание $Fe_{\text{общ}}$, %; N - интенсивность интегрального потока зарегистрированного датчиком, имп/с.

Рассчитанные значения записываются в память (блок 10) и зонд поднимается по оси скважины на величину dh , после чего управление передается на блок 3, где проверяется глубина погружения зонда.

Результаты исследования приведены на графиках на рис. 4, 5.

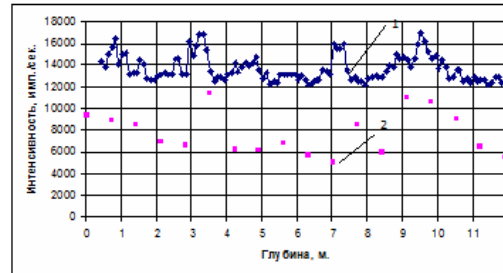


Рис. 4. График распределения измеренных интенсивностей скважины №11 по глубине: 1 - комбинированный каротажный зонд каротажной станции «Карьер-Кривбасс»; 2 - ручного каротажного зонда

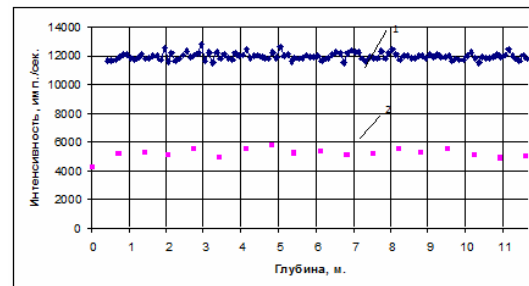


Рис. 5. График распределения измеренных интенсивностей скважины № 6 по глубине: 1 - комбинированный каротажный зонд каротажной станции «Карьер-Кривбасс»; 2 - ручного каротажного зонда

По графикам, приведенным на рис. 4,5 можно судить о сходимости изменения интенсивностей двух зондов.

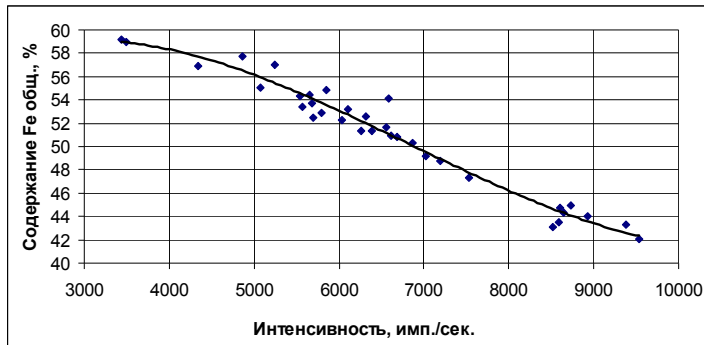


Рис. 6. График зависимости содержания Feобщ. от интенсивности интегрального потока ручного каротажного зонда

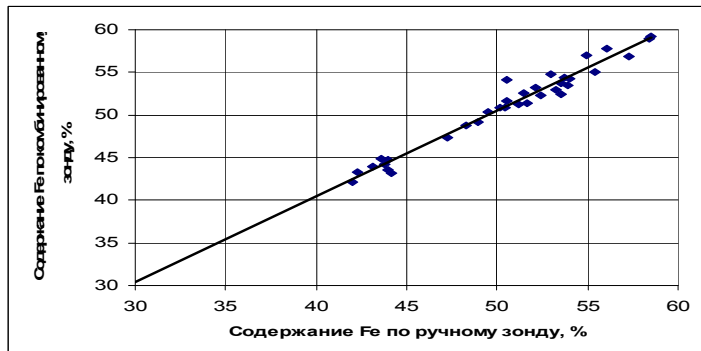


Рис. 7. График соответствия значений содержания комбинированного и ручного зонда

Из рис.7 можно судить о совпадении значений между зондами равномерно на всем диапазоне, с точностью, не превышающей заявленной в технических характеристиках каротажной станции «Карьер-

Кривбасс» и техническому заданию на разработку ручного каротажного зонда, и составляющей $\pm 1,5\%$.

Выводы и направление для дальнейших исследований. Исследовано взаимосвязь интенсивностей обеих каротажных зондов, что позволило получить коэффициенты калибровочного полинома для получения значений о содержании Fe_{общ.}

Рассчитаны и сопоставлены значения показаний комбинированного зонда каротажной станции и получены математически значения ручного каротажного зонда на этих глубинах.

Среднее квадратическое отклонение составило 0,93 % содержания железа общего.

Список литературы

1. Азарян А.А., Гриценко А.Н. Мобильная станция для каротажа взрывных скважин / Науковий висник Кременчуцького національного університету «Нові технології», 2011. - № 4. - С. 52-55.
2. Арцыбашев В.А. Гамма-метод измерения плотности. - М.: Атомиздат, 1965.
3. Балинова В.С. Статистика в вопросах и ответах / В.С. Балинова Учебн. пособ.. - М.: ТК. Велби, Изд-во Проспект, 2004. — 344 с
4. Воскобойников Г.М. Теоретические основы селективного гамма-гамма каротажа скважин / Г.М. Воскобойников // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. № 3. (1957).
5. Гриценко А.Н. Черкасов А.В., Швидкий А.В. Методика обработки данных по каротажу / А.Н. Гриценко, Черкасов А.В., Швидкий А.В. // Качество минерального сырья, 2011 - С. 216-221.
6. Марюта А.Н., Младецкий И.К., Новицкий П.А. Контроль качества железорудного сырья / А.Н. Марюта., И.К. Младецкий, П.А. Новицкий // К.: Техника 1976. - 5 с.
7. Филиппов Е.М. Апаратура рапдиоактивного каротажа скважин / Е.М. Филиппов //Сб. «За технический прогресс в геологоразведочных и топографических работах» // Госгеолотехиздат, 1959.
8. Gebauer H. Atomkernenergie, H.4, p. 135-138.
9. Timur A., Fdvances in well logging - J.Petrole Technology, 1984, 34, # 6, p. 1181-1185.
10. Zielder C.A., Bird L.L., Chlek D.J. X-ray rayleigh scattering method for analisisof heavy atoms in low Z media/ «Analyt. Chem.», 1959, vol. 31. - № 11, p. 1794-1978.

Рукопись поступила в редакцію 04.04.15

УДК 669.712: 628.4.03

В.Г. ГУБІНА, канд. геол.-мін. наук,
Інститут геохімії навколишнього середовища НАН і МНС України,
Г.Г. ГУБІН, Т.П. ЯРОШ, кандидати техн. наук, доц.,
Криворізький національний університет

ПРО РЕЧОВИННИЙ СКЛАД ЧЕРВОНИХ ШЛАМІВ

Світові родовища бокситів сильно відрізняються за хіміко-мінералогічним складом, що обумовлює застосування різних технологій їх переробки й одержання червоних шламів різного складу. На прикладі українських підприємств ВАТ «Миколаївський глиноземний завод» і ВАТ «Запорізький алюмінієвий комбінат» розглянуто речовинний склад червоних шламів глиноземного виробництва з метою вирішення питання їх подальшого використання.

У процесі тривалого зберігання шламів у шламосховищах змінюються їх властивості. Під час накопичення відходи піддаються впливу компонентів, які знаходяться в повітрі (кисень, діоксид вуглецю, агресивні техногенні речовини, що утворюються в технологічних процесах), природних і техногенних вод і мікроорганізмів. Приведені результати порівняльного аналізу фазово-мінералогічного складу свіжих червоних шламів, шламів, що зберігалися в шламонакопичувачі від декількох місяців до 30 років, а також спеціально відібраних шламів, що зберігалися в лабораторії в умовах, близьких до природних. Це дозволило виявити хіміко-мінералогічні особливості таких шламів.

Завдяки своєму речовинному складу червоні шлами треба розглядати не просто як відходи глиноземного виробництва, а як вторинну техногенну сировину, що потребує комплексної переробки до отримання з них товарних продуктів. Червоні шлами можна ефективно використовувати в чорній металургії, будівельній, скляній промисловості та сільському господарстві. Комплексний підхід до переробки вторинної сировини дозволить витягати і використовувати цінні для України кольорові метали і забезпечувати підвищення екологічної безпеки територіальних комплексів і відповідних технологій.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сучасні підприємства глиноземного виробництва, як вітчизняні, так і закордонні, не мають технології комплексної переробки бокситової сировини і складають відходи виробництва в шламонакопичувачах, вважаючи їх подальшу переробку економічно недоцільною. Залежно від хіміко-мінералогічного складу бокситів при виробництві 1 т глинозему за способом Байера утворюється 1,2-2,5 т червоних шламів. Наземний спосіб складування шламів, прийнятий в Україні і на більшості закордонних підприємств, призводить до відчуження величезних земельних ділянок під шламонакопичувачі, які представляють значну загрозу навколишньому середовищу.

В Україні червоні шлами як відходи виробництва утворюються на ВАТ «Миколаївський глиноземний завод» (далі МГЗ) і ВАТ «Запорізький алюмінієвий комбінат» (ЗалК).

Миколаївський глиноземний завод - одне з найбільших у Європі підприємств кольорової металургії, що входить до складу компанії «Російський алюміній». За рік тут виробляється 1 млн т глинозему. На двох шламосховищах МГЗ накопичилось вже більш ніж 30 млн м³ червоних шламів (шламосховище № 1 - 26,8 млн м³, шламосховище № 2 - 4,26 млн м³). Проектна потужність шламосховища № 1 практично вичерпана. У 2007 р. було введено в експлуатацію шламосховище № 2 за технологією «сухого складування» червоного шламу [1]. Передбачалося, що дана технологія дозволить мінімізувати можливий негативний вплив на навколишнє середовище і, в першу чергу, на гідросферу району. На підприємстві «Запорізький алюмінієвий комбінат» розташоване законсервоване шламосховище обсягом 5-6 млн м³, яке є практично повністю заповненим. У зв'язку з утворенням і накопиченням значної кількості червоних шламів і необхідністю вирішення екологічних проблем зростає значення їх комплексної утилізації.

Аналіз досліджень і публікацій. На сьогодні існує більше 1000 патентів і 3000 публікацій з переробки червоних шламів, що свідчить про унікальні властивості цього матеріалу. Основним компонентом шламів є оксиди заліза, які в умовах технологічного процесу виробництва глинозему розглядаються, в основному, як домішки бокситової сировини, що утрудняють відділення і промивання червоного шламу. Крім того, вони можуть взаємодіяти з лужними і алюмінатними розчинами, утворюючи ряд хімічних сполук. У результаті, окрім основного компонента - гематиту (Fe₂O₃), шлами є концентраторами багатьох цінних металів, таких, наприклад, як титан, кремній, алюміній, рідкісноземельні елементи [2].

Основною і постійною супутньою домішкою бокситової сировини є кремнезем, який у технологічному процесі практично повністю розчиняється, утворюючи силікат натрію. В свою

чергу, при підвищених температурах і довготривалім проведенні деяких процесів створюються сприятливі умови для взаємодії силікату натрію з компонентами лужно-алюмінатного розчину з утворенням малорозчинного гідроалюмосилікату натрію наступного хімічного складу $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($n=1,75 \div 2,00$). У глиноземній промисловості виявлено кілька різновидів гідроалюмосилікатів натрію - це нозеан, содаліт, канкриніт, цеоліт і ін. Вони відрізняються між собою впровадженням різних іонів, що перебувають в алюмінатному розчині, у каркас кристалічних решіток і ступенем насичення кремнеземом. Основним негативним наслідком утворення даних сполук є втрата корисних компонентів лужно-алюмінатного розчину з кремнеземом [3].

Сучасні діючі глиноземні підприємства переробляють боксити різних родовищ і мають індивідуальні технологічні схеми. В результаті відвальні червоні шлами суттєво відрізняються за хімічним і фазово-мінералогічним складом, що впливає на вибір технології їх подальшої утилізації. Для переробки червоних шламів запропоновані різні способи [4-9], проте для абсолютної більшості відомих пропозицій наявність вологи і луку в шламах є якщо не перешкодою для їх утилізації, то чинником, що погіршує якість отримуваних продуктів.

Підвищений вміст оксидів заліза, алюмінію і титану робить червоні шлами привабливою техногенною сировиною і, в першу чергу, для металургійної промисловості. Для переробки глиноземовмісних відходів виробництва алюмінію запропоновано їх уведення до складу комплексного флюсу, створеного на основі металургійних відходів, з метою використання в шихті для доменного або сталеплавильного виробництва. Для одержання з комплексного флюсу брикетів високої міцності необхідна наявність у суміші трьох оксидів: Fe_2O_3 , CaO і Al_2O_3 , що утворюють міцні алюмокальцієві сполуки типу $m\text{CaO} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3$ і браунміллерит $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. Зазначену умову забезпечують трикомпонентним складом шихти, що включає залізовмісні шлами, відсів вапна або вапновмісний пил газоочисток і факринт. Уведення до складу флюсу оксиду алюмінію в кількості 2,7-5,1% дозволяє досягти високу міцність флюсу в брикетованому виді і достатню рухливість і активність у розплавленому стані [10].

Червоні шлами можна використовувати як добавку при виробництві агломерату й окатишів із залізородного концентрату [11-13]. Наприклад, запропонована технологія з одержанням алюмозалізного (19,3-21% Al_2O_3 і 34,1-44,7% Fe) агломерату з основністю 0,8-2,6 і вмістом 3,9-5,5% TiO_2 . Отриманий глиноземистий агломерат пропонується використовувати в доменній плавці за двома варіантами: для одержання сплаву (феросиліцію) і високоглиноземистого шлаку для виробництва спеціальних цементів, а також для підшихтовки до звичайної доменної шихти з метою внесення в неї оксидів заліза, титану, кальцію і глинозему. Високоглиноземистий агломерат з підвищеним вмістом оксидів титану пропонується використовувати для зміцнення футерівки горна доменної печі. Високоглиноземистий шлак з вмістом близько 40% глинозему може бути також використаний у глиноземному виробництві. В Україні є можливості для масштабного опробування і впровадження технології агломерації і доменної плавки на агломератах, отриманих з червоного шламу. Однак впровадження такої технології потребує ретельної підготовки шламів, яка повинна включати зневоднювання та змішуванням шламів з вапном. Підготовлена шламовапняна суміш подібно до феритних сумішей буде позитивно впливати на технологію агломерації і якість агломерату при спіканні шихт як з добавкою, так і на основі шламів [13].

У даний час відомо ряд технологій рідкофазного відновлення, наприклад, Romelt, DIOS, Hismelt та ін., які дозволяють використовувати в якості залізородної частини шихти неокисовані тонкоподрібнені матеріали, а в якості палива і відновника використовують некоксовіне вугілля [14]. Даний спосіб переробки червоних шламів дозволяє одержати чавун, який направляється на сталеплавильний переділ або використовується в ливарному виробництві, та шлак, який можна використовувати для додаткового вилучення глинозему або як клінкер для отримання глиноземистого цементу.

Постановка завдання. Вирішення проблеми повної утилізації червоних шламів алюмінієвої промисловості можливо тільки при комплексному підході до їх переробки з одночасним підвищенням екологічної безпеки в цій галузі промисловості. Це ставить питання про необхідність проведення досліджень, спрямованих на вивчення фізико-хімічних і мінералогічних властивостей червоних шламів з визначенням їх металургійної цінності, а також вивчення змін, що супроводжують довготривале зберігання червоних шламів у шламонакопичувачах.

Викладення матеріалу та результати. Червоний шлам - це піщано-глиниста грудкова маса, пронизана оксидами заліза. Склад шламів залежить від вихідного бокситу і включає залізовмісні мінерали, які й визначають вміст шламу. Залежної від якості бокситу й особливостей його переробки червоний шлам містить, %: 40-55 Fe₂O₃, 14-18 Al₂O₃, 8-11 CaO, 5-15 SiO₂, 4-6 TiO₂, 2-4 Na₂O, 0,05 S, 0,2-0,5 P₂O₅.

Щільність червоного шламу - 2,8 кг/м³. Гранулометричний склад і питома поверхня червоного шламу залежать від чотирьох факторів: тонкості помелу бокситу, хімічного диспергування часток бокситу в процесі їх автоклавного вилуговування, розмірів фаз, що утворюються, і агрегації часток шламу в процесі відмивання і згущення під впливом коагулянтів-флокулянтів. У практиці переробки більшості типів бокситів за способом Байєра їх подрібнюють до крупності 60-80% фракції мінус 0,063 мм. Вміст вологи у такому шламі становить 40-60%.

У байєровському шламі залишаються вихідні залізовмісні мінерали. Крім них, у шламах присутні акцесорні мінерали, вміст яких у промислових бокситах становить до 1%, у шламі - 3%. Найбільше значення для байєровського шламу має гематит, який при температурі 240°C і концентрації лугів 300 г/л є баластним матеріалом. Він має найбільшу щільність і найбільший розмір часток при питомій поверхні 1,5 м²/г, що суттєво впливає на швидкість їх осадження та згущення в системі промивки.

Гетит та алюмогетит переходять у червоний шлам без значних змін, оскільки вони стійкі при температурі автоклавного вилуговування відповідно 150 і 210 °C. Але на МГЗ при температурі 220-240 °C вони вилуговуються найбільше.

Магнетит містить незначну кількість титану, він стійкий в умовах автоклавної обробки і тому кількість цього мінералу незначна.

Хлорит і шамозит повністю розкладаються в автоклавному процесі на алюмосилікати натрію та магнетит.

Гідроалюмосилікати натрію - характерна фаза для байєровського шламу. З цією фазою пов'язана основна кількість лугів у шламі (до 85 %).

За прийнятою технологією Байєра до сирової пульпи під час вилуговування додають вапняне молоко в кількості 3-5 % мас. по CaO від маси сухого бокситу з метою прискорення вилуговування та підвищення якості глинозему. Позитивна дія вапна пов'язана з його здатністю давати в умовах автоклавного вилуговування малорозчинні сполуки з технологічно шкідливими домішками: кремнієм, титаном, хромом та виводити їх з вапняково-алюмінатних розчинів у формі сполук гідрогранатів [15].

В шламах МГЗ вміст гідрогранатів становить 10-18 %, але може бути й більшим при наявності інших джерел кальцію в бокситі (кальциту). Гідрогранати нестійкі до впливу зовнішніх факторів і під впливом CO₂ повітря при сухому складуванні шламу або вуглекислоти, яка розчинена в підшлакочній воді, можуть переходити в гідрокарбоалюмінати, а при більш тривалому зберіганні процес доходить до повного розкладання гідрокарбонату на кальцит, аморфний гідроксид кремнію і гібсит.

Кварц у байєровському процесі не руйнується і в шламонакопичувачі не змінюється. Рутил, анатаз та інші титановмісні фази в байєровському процесі поведуться наступним чином: анатаз активно взаємодіє з алюмінатним розчином, а рутил - інертний. Галій і скандій знаходяться в алюмінієвих мінералах і тому потрапляють в алюмінатний розчин. Золото бокситу вільне, в процесі переробки потрапляє в червоний шлам, тому кількість його в розрахунку на тону всієї маси збільшується в порівнянні з бокситом [16].

Хімічний склад червоного шламу залежить від способів переробки бокситу. Саме гідроксиди алюмінію, заліза, оксиди титану, мінерали кремнію, натрієвий луг, а також спеціально введений у технологічний цикл оксид кальцію обумовлюють склад червоного шламу.

Вивчення хімічного і мінералогічного складу різних фракцій, виділених зі шламу від переробки гвінейського бокситу на МГЗ, показало, що у фракцію 250-100 мкм потрапляють кварц, гематит, карбонат кальцію; у фракції 100-50 мкм переважають гематит, алюмогетит, в якому 5-8% заліза ізоморфно заміщено алюмінієм, карбонат в асоціації з гідрогранатом; у фракції 50-10 мкм спостерігається гематит, алюмогематит, алюмогетит, в якому 7-12 % Fe заміщено Al, підвищується вміст гідрогранатів, а у фракції менше 10 мкм основу складають гідроалюмосилікати типу канкриніт, гідрогранат, вторинний карбонат, алюмогетит, в якому 25 % Fe заміщено Al, гідрогематит, рутил.

В процесі тривалого зберігання шламів у шламонакопичувачах, змінюються їх властивості. Під час накопичення відходи піддаються впливу компонентів, які знаходяться в повітрі (кисень, діоксид вуглецю, агресивні техногенні речовини, що утворюються в технологічних процесах), природних і техногенних вод і мікроорганізмів. На заповнених шламосховищах з'являється специфічна рослинність, що активно впливає на процеси міграції.

Сумарний вплив перерахованих факторів приводить до зміни мінеральних компонентів, що знаходяться в шламосховищах. Під час зберігання відходів змінюються їх проникність і дисперсність, можливе утворення нових мінеральних фаз. Карбонати розкладаються з виділенням вугільної кислоти, сульфідів руйнуються з утворенням оксидів, що супроводжується частковою дезінтеграцією мінеральних агрегатів. У процесі гіпергенезу нестійкі в цих умовах мінерали перетворюються в термодинамічно стійкі. Оксиди двовалентного заліза перетворюються в оксидгидроксид заліза; мінерали, які містять алюміній в тетраедричних позиціях, - в термодинамічно стійкі, в яких алюміній займає октаедричні позиції (глинисті мінерали і мінерали вільного глинозему).

У процесі гіпергенезу мінерали трансформуються під впливом градієнта концентрацій на поверхні розділу фаз мінерал-розчин, що супроводжується появою дифузних потоків крупних структуроутворюючих катіонів (Ca, Mg, Na, K та ін.), частково кремнекислоти з мінералу в дисперсному середу. Внаслідок цього відбувається інконгруентне розчинення. Вивільнена кремнекислота і крупні катіони можуть утворювати нові мінеральні фази.

Найважливішим компонентом у процесі гіпергенних змін порід в шламонакопичувачах є розчинений у воді діоксид вуглецю, який при взаємодії з водою утворює вугільну кислоту. Присутність останньої активізує винесення з алюмосилікатів лужних і лужноземельних катіонів, підвищує винос катіонів марганцю, кальцію, стронцію, барію - всіх тих елементів, бікарбонати яких більш розчинні.

На більш глибоких горизонтах шламонакопичувача, де концентрація вуглекислоти є значно меншою, розчинність майже всіх мінералів зменшується. На верхніх горизонтах тривалентне залізо стає майже нерухомим і накопичується у вигляді гідроксидів заліза різного ступеня гідратації, яке концентрується в залишковій фазі. Спільно з залізом в залишковій фазі концентруються гідроксиди алюмінію і титану.

На процеси в шламонакопичувачах впливає склад технічної води і особливо присутність техногенних розчинів. Крім того, хімічні перетворення в червоних шламах значно прискорюються під впливом температури, оскільки в літні місяці температура може значно підвищуватися.

В результаті порівняльного аналізу фазово-мінералогічного складу свіжих відвальних шламів і шламів, що зберігалися в шламонакопичувачі від декількох місяців до 30 років, а також спеціально відібраних шламів, що зберігалися в лабораторії в умовах, близьких до природних, отримані дані, що дозволили виявити наступні особливості шламів. Алюмогетит і гематит, що є основою відвального шламу МГЗ, в умовах шламонакопичувача не змінюються. Аналогічна картина спостерігається й у шламонакопичувачі ЗАЛК. Основними активними фазами байеровських шламів є гідрогранати кальцію, нозеан і канкриніт, які під впливом вуглекислого газу через 1-3 роки розкладаються на гідрокарбоалюмінат кальцію і аморфний кремнезем. На швидкість протікання цього процесу впливає кількість кремнезему в гідрогранаті, що сповільнює цей процес, і наявність ізоморфних домішок заліза і титану. Внаслідок більш високого насичення кремнеземом гідрогранати зі шламів МГЗ, як і інших байеровських шламів, стійкіші до розкладання, ніж гідрогранати після процесу спікання. Присутність гідрокарбоалюмінату кальцію добре фіксується рентгено-фазовим аналізом у лежалих шламах на «пляжах» шламосховища. Наступною стадією перетворення гідрокарбоалюмінату кальцію є розкладання його під впливом підвищеної температури повітря на карбонат кальцію і гідроаргіліт.

Слід зазначити, що хімічний склад всіх відвальних шламів змінюється згодом у бік зниження лужності й підвищення вмісту SiO_2 .

МГЗ переробляє низькокремнієві та високозалістисті боксити. Тому шлами від переробки такої сировини мають найменший зі всіх байеровських шламів вміст лугів (Na_2O - 1,5-2,0 %) і є найбільш високозалістистими в разових пробах (Fe_2O_3 - до 70 % мас.). Окрім зазначених сполук, вони містять домішки Cr_2O_3 та MnO .

ЗАЛК також переробляє імпортований боксит. Але на цьому підприємстві в технологічному циклі присутній процес спікання з вапном та содою. Сода дешевша за каустичні луки, що впливає на

зниження собівартості продукції. Шлам, який отримують у процесі спікання, промивають і відвантажують разом з байеровським. Тому він відрізняється від шламу МГЗ. З огляду на можливість вторинного використання шламу МГЗ є більш якісним у порівнянні зі шламом ЗАЛК.

Речовинний склад червоних шламів свідчить про доцільність їх використання для виробництва корисної продукції [17]. Найбільший практичний інтерес представляють методи утилізації червоних шламів з максимальним переведенням цінних компонентів в товарні продукти. Так, застосовуючи способи безкоксової металургії, можна отримувати металеве залізо (металізовані окатиші або чавун) і шлак. Останній годиться для вилучення глинозему гідрометалургійними методами, а також для виробництва цементу, будівельної кераміки, стінових матеріалів і для будівництва в якості в'язучої добавки.

Використання глибокої переробки червоних шламів з урахуванням їх мікрокомпонентного складу може забезпечити вилучення таких металів як скандій, галій, селен та ін.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Червоні шлами завдяки своєму речовинному складу треба розглядати не просто як відходи глиноземного виробництва, а як вторинну техногенну сировину, що потребує комплексної переробки до отримання з них товарних продуктів.

Комплексний підхід до переробки вторинної сировини дозволить витягати і використовувати цінні для України кольорові метали і забезпечувати підвищення екологічної безпеки територіальних комплексів і відповідних технологій.

Список літератури

1. Промислові відходи України. Проблеми та шляхи їх вирішення/ **Т.В. Тарасова, В.Г. Губіна, Л.П. Кващук та ін.** – К.: Логос, 2011. – 199 с.
2. **Толстокулакова А. В.** Исследование и разработка процессов извлечения железа из бокситовых руд и красных шламов: дис. ... кандидата техн. наук: 25.00.13 / Толстокулакова Анна Владимировна. – Иркутск, 2009. – 123 с.
3. **Логінова І.В., Кырчиков А.В., Лебедев В.А., Ордон С.Ф.** Изучение вопроса комплексной переработки бокситов Среднетиманского месторождения / Известия вузов. Цветная металлургия. - № 1. – 2013. – С. 27-32.
4. **Furman, J.E. Mauser, M.O. Butler and W.A. Stikney.** Utilization of Red Mud Residues From Alumina Production// U.S. Bureau of Mines Report of Investigation 7454. – 1970.
5. **Piga, F. Pochetti and L. Stoppa.** Recovering Metals From Red Mud Generated during Alumina Production// JOM 45 (11). – 1993. - pp. 55-59.
6. **Guceione.** “Red Mud”, a Solid Waste, Can Now Be Converted To High-Quality Steel// Eng. Min. J. 172 (9). – 1972. – pp. 136-138.
7. **V. Mishra, M. Slavic and D. Kirkpatrick.** Application of processed Red-Mud in Blast Furnaces// Proceedings the 2nd International Conference on RAMM 99. – 1999. – pp. 557-568.
8. **Корнеев В.И., Сусс А.Т., Цеховой А.Н.** Красные шламы (свойства складирование, применение). – М.: Металлургия, 1991. – 144 с.
9. **Утков В.А., Мешин В.В., Ланкин В.П., Тесля В.Г.** Промышленные способы переработки красных шламов// Состояние проблемы и направления использования в народном хозяйстве красного шлама. – Николаев. – 1999. – С. 11-13.
10. Пат. 75154 Україна, МПК C21C 7/04, C21B 3/00, C21B 5/02, C22B 9/00, C22B 1/00. Комплексний флюс для металургійного виробництва / **Ожогін В.В., Носков В.О., Томаш О.А., Васькевич М.Я., Чернова С.Г., Лозовий В.П., Зотов О.В., Левченко В.І., Безменов В.О.**; Призовський держ. техн. ун-т. – №2004010141; заявл. 09.01.2004; опубл. 15.03.2006, Бюл. № 3.
11. **Утков В.А., Леонтьев Л.И.** Повышение прочности агломератов и окатышей при помощи бокситового красного шлама // Сталь. – 2005. – № 9. – С. 2–4.
12. Пат. 2016099 РФ, МПК C22B 1/24. Способ производства железорудного агломерата / **Петров С.И.; Утков В.А.; Быткин В.Н.; Крымов Г.П.; Бастрыга И.М.; Николаев С.А.**; Всероссийский алюминиево-магниевый ин-т. – №4854395/02; заявл. 26.08.1990; опубл. 15.07.1994.
13. **Плотніков В.В., Ярош Т.П., Марасанова О.В.** Перспективи утилізації промислових відходів у металургійному виробництві// Вісник Криворізького національного університету. – Випуск 32. – 2012. – С. 215-219.
14. **Губін Г.В., Півень В.А.** Сучасні промислові способи безкоксової металургії заліза. – Кривий Ріг, 2010. – 336 с.
15. Производство глинозема / **А.И. Лайнер, Н.И. Еремин, Ю.А. Лайнер, И.З. Певзнер.** – М.: Металлургия, 1978. – 344 с.
16. **Добровольская Т.И.** Техногенные минералы в глиноземном производстве // Техногенные россыпи. Проблемы. Решения. Труды Первой Международной научно-практической конференции. - Симферополь, 2000. – С. 55-59.
17. **Губіна В.Г., Кадошніков В.М.** Червоний шлак Миколаївського глиноземного заводу – цінна техногенна сировина // Геолого-мінералогічний вісник. – 2005. – № 2. – С. 122-126.

УДК 504.5

Е.В. ЧАСОВА, канд. хімім. наук, доц., В.В. ІВЧУК, канд. біолог. наук, доц.
Криворізький національний університет

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ СУРФАКТАНТІВ РІЗНОЇ ПРИРОДИ ПОХОДЖЕННЯ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ВАЖКІ МЕТАЛИ

Розглянуті можливості використання біосурфактантів, як нових перспективних речовин природного походження, у технологіях біологічної ремедіації ґрунтів. Показані механізми вилучення важких металів з ґрунту за допомогою біосурфактантів. Біосурфактанти мають ряд переваг перед синтетичними аналогами – природне походження, низька токсичність, біодеградабельність, висока активність в екстремальних умовах зовнішнього середовища, а також можливість отримання на нетрадиційних та відносно дешевих джерелах сировини. Комплекси кадмій-рамноліпід стійкі при pH = 6.0-7.0, а невеликі розміри їх везикул полегшують рух в ґрунті. Слід зазначити, що зазвичай присутні в ґрунті катіони (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) практично не конкурують з важкими металами за комплексоутворення з рамноліпідами. Зв'язування важких металів з лігандами катіонних біосурфактантів базується на формуванні координаційних сполук. При цьому метали діють як кислота Льюїса (акцептор електронів), а органічні ліганди – як основа Льюїса (донор електронів). Експериментальні дані з очищення ґрунту, забрудненого кадмієм і свинцем, за допомогою обробки аесцином (біосурфактант, що синтезується *Aesculus hippocastanum* L.) показали, що метали інтенсивно мігрують у водну фазу ґрунту залежно від значення pH середовища.

Додавання біосурфактантів в ґрунт, забруднений важкими металами і органічними поллютантами, сприяє одночасній десорбції органічних забруднювачів і важких металів. В експериментах рамноліпідний біосурфактант знижував токсичність важких металів і прискорював процес деградації нафтопродуктів. Можливий механізм даного процесу полягає у зв'язуванні металу з мицелами сурфактанту, які містять солюбілізовані молекули вуглецю. Сурфактин, що продукується *V. subtilis*, ефективний у видаленні важких металів з ґрунту, забрудненого сумішшю Cu^{2+} , Zn^{2+} і вуглеводнів. Трегалозоліпідний біосурфактант, що синтезується *Rhodococcus ruber*, успішно використовується для десорбції нафти з ґрунту і біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів. В даний час досліджується можливість застосування бактеріальних сурфактантів для біоремедіації ґрунтів, забруднених поряд з нафтовими вуглеводнями такими токсичними металами, як уран, кадмій, свинець і цинк.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР) входять до числа ксенобіотиків, потенційно небезпечних для навколишнього середовища. Інтенсивне виробництво та застосування детергентів обумовлює присутність СПАР в якості постійного компонента відходів та викидів різних галузей промисловості і сільського господарства. Насичення ними біосфери може призвести до незворотних наслідків зважаючи на їх багатоплановий негативний вплив на живі організми [1].

Збільшення обсягів активного видобутку корисних копалин і хімічного виробництва призвело до накопичення в гідросфері СПАР і важких металів (ВМ), які мають істотний вплив на функціонування живих систем різних екосистем. Скидання СПАР і солей важких металів носять залповий характер з подальшим їх акумулюванням гідросферою. Завдяки здатності акумулювати різні типи поллютантів, водні рослини є ефективними маркерами екологічного стану гідросфери. Для розуміння механізмів накопичення та впливу поллютантів на живі системи важливим є аналіз змін у структурі рослини на клітинному рівні [10, 11].

Зв'язуючою ланкою між атмосферою, гідросферою, літосферою і живими організмами є ґрунт. Ґрунт - природний фільтр для техногенних забруднювачів, особливо ВМ, які впливають на його біологічні властивості. При цьому спостерігається зміна загальної чисельності ґрунтових мікроорганізмів, звуження біорізноманіття, зміна структури мікробіоценозів і зниження ферментативної активності. Присутність ВМ змінює консервативні ознаки ґрунтів: гумусний стан, структуру, показник кислотності, що призводить до часткової або повної втрати родючості. Вміст ВМ у верхніх шарах ґрунту визначається близькістю до локальних джерел забруднення і перенесенням поллютантів нижніми шарами атмосфери. Важкі метали швидко накопичуються в ґрунті і повільно виводяться: час виведення Zn - 500, Cd - 1000, Cu - 1500, Pb - до декількох тисяч років. У ґрунтах ВМ присутні у водорозчинній, іонообмінній і слабо адсорбованій формі. Вони виявляються в декількох пулах ґрунту: розчиненими в ґрунтового розчині; такими, що займають сайти обміну на неорганічних компонентах ґрунту; міцно адсорбованими з ґрунтовими частками; асоційованими з нерозчинною органічною речовиною ґрунту; такими, що випали в осад у вигляді твердих частинок; присутніми в структурі вторинних мінералів; присутніми в структурі первинних мінералів. Характер взаємодії ВМ з ґрунтовими компонентами обумовлений типом мінералів. Метали, інтродуковані в навколишнє середовище в результаті виробничої

діяльності людини, асоціюються з першими шістьма пулами, в той час як «природні» метали можуть асоціюватися з будь-яким з пулів ґрунту залежно від геологічної історії даного району [4].

Аналіз досліджень і публікацій. У зв'язку зі збільшенням антропогенного впливу, забруднення навколишнього середовища ВМ, до яких можна віднести Hg, Pb, Cd, Cu, Zn і деякі інші, стає однією з гострих екологічних проблем сучасності. Потрапляючи різними шляхами в навколишнє середовище, ВМ надходять спочатку в рослини, а потім - в організми тварин і людини. Серед неорганічних забруднювачів ВМ є найбільш токсичними і представляють серйозну загрозу для багатьох форм життя. Раніше нами вже розглядався вплив важких металів [6] та СПАР [7] на екологію оточуючого середовища та людини. На наш погляд, значний інтерес мають екологічні аспекти забруднення різних об'єктів СПАР та ВМ при їх сумісній присутності. В останні два десятиліття значно зріс інтерес до екологічних аспектів забруднення водних об'єктів СПАР, одержаними з вуглеводнів нафти і солям ВМ. Це обумовлено, з одного боку, зростаючими масштабами виробництва та обсягами використання цих сполук у різних галузях промисловості і сільського господарства, а з іншого - широким діапазоном негативного впливу СПАР як на водні екосистеми, так і на організм людини, а також їх стійкістю до біодеградації. При цьому найбільш небезпечними для живих організмів є катіонні СПАР [3].

Активні форми кисню (АФК), що утворюються при надходженні полютантів в організм, здатні пошкоджувати клітинні мембрани та ініціювати процеси перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ), а це може призвести до розвитку окисного стресу. У клітинах існують антиоксидантні системи, що включають ферменти (каталазу, пероксидазу (ПО), супероксиддисмутазу (СОД) та ін.) і низькомолекулярні сполуки, які забезпечують захист живих організмів від АФК. На сьогодні відповідні реакції вищих водних рослин, які є об'єктом біотестування і біоіндикації природних вод, на вплив ксенобіотиків залишаються маловивченими. Відсутні відомості про можливість виведення полютантів з організмів вищих водних рослин [6].

Дослідження прісноводного макрофіту куширу зануреного (*Ceratophyllum demersum* L.) показують, що катіонні СПАР є більш агресивним полютантом, ніж іони свинцю. Після інкубації в середовищі іонів свинцю у рослин дослідної групи спостерігалися ознаки хлорозу, що проходять після періоду реабілітації. Вплив 1% катіонних СПАР призводив до фрагментації рослини аж до окремого листа, оточених осадам пластівців полютанту, при цьому реабілітація не пройшла. Обопільна дія ксенобіотиків викликала хлороз і фрагментацію рослин на окремі мутовки, які здатні до подальшого вегетативного розмноження, осаду катіонних СПАР не спостерігалося. Динаміка ферментативної активності, вмісту малонового діальдегіду (МДА) і фенольних сполук свідчить про різноспрямований характер дії іонів свинцю і катіонних СПАР; в обопільній дії переважають ефекти катіонних СПАР. Каталазна активність рослин після дії іонів свинцю знижується в 2 рази, після реабілітації рівень ферментативної активності перевищує контрольні значення в 1,5 рази. Інкубація рослин в середовищі катіонних СПАР призводить до того, що каталазна активність у дослідній групі перевищила контрольні значення в 18 разів. У той час як на п'яту добу реабілітації, ферментативна активність знизилася і склала близько 70% від контрольних значень. Очевидний різноспрямований характер дії ксенобіотиків. Можливо, під час інкубації каталазна активність інгібувалась внаслідок надходження іонів свинцю всередину пероксисом, де зосереджений великий пул ферменту каталази. У період реабілітації, мабуть, відбувалося видалення іонів свинцю з цих органел, що призводило до відновлення рівня каталазної активності до нормальних фізіологічних значень. Відзначається багаторазове підвищення каталазної активності в період інкубації рослин в середовищі 1% катіонних СПАР. Синтетичні поверхнево-активні речовини мають властивість утворювати плівки на межі розділу фаз. Можливо, плівки катіонних СПАР на поверхні води і клітини перешкоджали нормальному диханню рослини, тому багаторазове підвищення каталазної активності слід розглядати як компенсаторний механізм. Зниження ферментативної активності на п'яту добу реабілітації на 25% від контрольних значень, може бути обумовлено виснаженням пулу каталази. Динаміка каталазної активності в досліді з обопільним впливом ксенобіотиків була схожа з такою при впливі тільки 1% катіонних СПАР, що говорить про останні як більш потужні токсиканти. Після трьох діб інкубації ферментативна активність зросла в 6 разів в порівнянні з контролем, а на п'яту добу реабілітації каталазна активність склала 80% від контрольних значень. Таким чином, іони свинцю, ймовірно, пом'якшують дію катіонних СПАР [5].

Динаміка активності ПО в тканинах *S. demersum* після впливу полютантів змінюється. Вплив іонів свинцю призводив до значного зниження активності ПО в дослідній групі щодо контролю на 70%. У період реабілітації спостерігалось подальше зниження рівня активності ПО дослідної групи в порівнянні з контрольними значеннями – на величину 85%. Після інкубації рослин в середовищі катіонних СПАР активність ПО дослідної групи зросла в 2 рази щодо контролю, а в післястресовий період, навпаки, відбувалося зниження величини даного показника на 60% у порівнянні з контрольними значеннями. Обопільна дія ксенобіотиків призводила до багаторазового підвищення рівня активності ПО в дослідній групі рослин. Так, в період інкубації рослин в середовищі полютантів активність ПО перевищувала контрольні значення в 2 рази, а під час реабілітації - в 19 разів. З літературних даних відомо, що двовалентні іони ВМ у високих концентраціях здатні частково або повністю витіснити метали з активного центру ферментів, внаслідок чого втрачається їх активність. У випадку ферменту ПО, мабуть, відбувалося витіснення іонів кальцію з молекул ферменту іонами свинцю, що й призводило до значного інгібування активності ПО в тканинах *S. demersum*. Таким чином, проявлявся прямий вплив полютанту на молекули ферменту. Після реабілітації рослин куширу в чистій воді активність ПО у дослідній групі ще більш знизилася щодо контролю, а також у порівнянні з пробами, дослідженими на 3 добу експерименту, - в 4 і 2 рази відповідно. Такий ефект можна пояснити накопиченням іонів свинцю в мітохондріях і пластидах, де, згідно з літературними даними, сконцентрований великий пул ферменту ПО. Оскільки виведення металу з органел, оточених двома мембранами, було ускладнено, то високі концентрації свинцю (100 мкМ/л), що знаходяться всередині даних органел, мабуть, не дозволяли рослині відновлювати активність ПО через 5 днів після перенесення в чисту воду. Подальше зниження рівня активності ПО в дослідній групі рослин, що спостерігається в період реабілітації, могло бути викликано триваючим інгібуванням ферменту ПО або іонами свинцю безпосередньо, або високими концентраціями АФК [5, 7].

Токсичний ефект СПАР на активність ПО може проявлятися по-різному. У літературних джерелах показано, що СПАР здатні не тільки викликати активацію ферменту ПО, а й призводити до інгібування його активності, впливаючи як на молекули ферменту безпосередньо, так і на його мембранне оточення, або на стан субстрату. Після видалення катіонних СПАР з води (період реабілітації) активність ПО не відновлювалася до нормального фізіологічного рівня, тому передбачається, що відбувається необоротна денатурація даного ферменту під впливом катіонних СПАР. Можливо, мав місце непрямий вплив катіонних СПАР на фермент ПО: індукування в рослинах окисного стресу, викликаного солубілізацією катіонними СПАР білків і ліпідів клітинних мембран і розвитком процесів ПОЛ, супроводжувалося утворенням великої кількості АФК, які й пошкоджували молекули ферменту. Подальше зниження рівня активності ПО в період реабілітації, мабуть, було обумовлено солубілізацією катіонними СПАР мембран мітохондрій і пластид, де зосереджений великий пул ферменту ПО, з наступним проникненням ксенобіотику всередину цих органел і пошкодженням молекул ферменту. В результаті фермент втрачав свої нативні властивості, що й призводило до інгібування його активності. Одночасна дія ксенобіотиків призводила до багаторазового підвищення рівня активності ПО в дослідній групі рослин. Динаміка зміни концентрації ферменту в період інкубації була схожа з такою при впливі тільки катіонних СПАР, а отже, механізм дії полютантів в обох випадках, мабуть, був багато в чому схожий. Після 5 днів реабілітації рослин в чистій воді активність ПО зросла у 18 разів порівняно з відповідними показниками контрольної групи. Такий ефект можна пояснити солубілізацією катіонними СПАР мембран мітохондрій і пластид, у результаті чого, мабуть, посилювалося проникнення іонів свинцю всередину цих органел і розвивався окиснювальний стрес [6].

Дослідження показали, що ПО активність знизилася на третю добу інкубації у присутності 100 мкМ/л іонів свинцю на 92% порівняно з контролем, однак після закінчення п'яти днів реабілітації ферментативна активність досягала контрольних значень. Інкубація протягом трьох днів в присутності 1% катіонних СПАР призвела до значного зростання ПО активності в 3 рази і її різкого зниження в реабілітаційний період на 52 % від контролю. Обопільна дія ксенобіотиків призвела до багаторазового зростання рівня ферментативної активності на третю добу інкубації і п'яту добу реабілітації - в 7 і 11 разів відповідно. Концентрація фенольних сполук достовірно відрізнялася від контрольних значень тільки в експерименті з катіонними СПАР і на етапі впливу поєднання ксенобіотиків на 15, 16 і 12% вище контрольних значень. Прості фенольні сполуки можуть брати участь у регуляції клітинного метаболізму і в біосинтетичних процесах.

Багато фенольних сполук в мономолекулярній формі виконують функції дихальних катализаторів і беруть участь в окисно-відновних процесах клітин, при цьому функцію їх окиснення виконують поліфенолази і пероксидази. При порушенні стану редокс-рівноваги клітин фенольні сполуки перетворюються в дубильні речовини [5,6].

Експериментальні дані показують, що дія іонів свинцю порушувала клітинну рівновагу, але система відновлювалася після видалення ксенобіотику. Катіонні СПАР і обопільна дія токсикантів порушували рівновагу клітини без подальшого відновлення метаболізму. Катіонні СПАР руйнували клітинні мембрани, приводячи до дефрагментації рослини, тому, можливо, підвищувався вміст фенольних сполук для зміцнення клітинної стінки. Можливо, багаторазове підвищення активності ПО слугувало відповіддю клітини на зростаючі потреби в диханні, так як катіонні СПАР утворюють плівку на стеблах і листках, перешкоджаючи проникненню кисню всередину. Вміст МДА - кінцевого продукту ПОЛ - дозволяє судити про рівень окисного стресу.

Було відмічено, що під час впливу іонів свинцю вміст МДА знижувався нижче контрольних значень на 68 %, а під час реабілітації - на 22 %. Можна припустити, що антиоксидантна система впоралася з окиснювальним стресом, викликаним токсичною дією іонів свинцю. У досліді з катіонними СПАР вміст МДА спочатку підвищився на 39 %, проте в післястресовий період величина цього показника знизилася на 82 % відносно контролю. Враховуючи дані за всіма показниками, можна зробити висновок про необоротне порушення метаболізму *C. demersum* у випадку впливу 1 % катіонних СПАР. Водночас обопільна дія ксенобіотиків призводила до зростання вмісту МДА в 24 рази в стресовий період і на 71 % під час реабілітації. Одночасна дія ксенобіотиків викликала, мабуть, сильний окиснювальний стрес, але рослина впоралася з ним, багаторазово підвищивши активність ферментів антиоксидантної системи захисту. Ймовірно, боротьбі сприяло і руйнування мембран, що приводить до значного виходу ферментів з органел [7].

Накопичення ВМ у ґрунті зумовлено впливом ряду взаємопов'язаних процесів, що включають кругообіг органічних та неорганічних речовини, окиснювально-відновні реакції, осадження/розчинення і адсорбцію/десорбцію.

Ступінь адсорбції катіонів металів корелює зі значеннями рН і окиснювально-відновного потенціалу (ОВП), вмістом глини, ґрунтової органічної речовини, оксидів заліза і марганцю, карбонату кальцію. Інтенсивність адсорбції аніонів металів корелює з вмістом оксидів заліза і марганцю, а також значеннями рН і ОВП.

Метали в ґрунті знаходяться у вигляді вільних іонів (Cd^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{3+}) і різноманітних розчинних комплексів з неорганічними або органічними лігандами ($CdSO_4$, $ZnCl_2$, $CdCl_2$), а також асоційовані з рухомим колоїдним матеріалом. Сукупність металоорганічних компонентів в ґрунті охарактеризована гірше, ніж неорганічних комплексів через складність визначення великого числа органічних лігандів, присутніх в ґрунті.

Гумусові субстанції та інші біогенні речовини забезпечують ділянки (функціональні групи, такі як карбоксильні, фенольні, спиртові, гідроксильні та аміногрупи) сорбції ВМ і, в результаті хелатування, утворюють розчинні у воді комплекси з металами, підвищуючи ступінь їх рухливості. Більшість аніонів, а також катіони та гідроксиди практично всіх ВМ значною мірою поглинаються ґрунтом за механізмом специфічної сорбції.

Поглинання ґрунтами металів, що знаходяться у формі катіонів, також може бути обумовлено осадженням важкорозчинних сполук з розчину і, меншою мірою, специфічною сорбцією, фізичною адсорбцією, а також біологічними процесами. Для аніонів велику роль відіграють процеси специфічної сорбції, осадження важкорозчинних сполук, у меншій мірі – неспецифічна сорбція, фізична адсорбція і біологічне поглинання. Чим міцніше ґрунт утримує метали, тим активніше вони будуть переходити з ґрунтового розчину в тверду фазу і, отже, тим вище буферна здатність ґрунту.

На величину буферної здатності ґрунтів впливають значення рН і ОВП, оскільки з ними пов'язані заряд поверхні твердої фази ґрунту, а також фізичний стан забруднюючих речовин і розчинність солей, до складу яких вони входять [8].

Постановка завдання. Розглянути можливості використання біосурфактантів, як нових перспективних речовин природного походження, у технологіях біологічної ремедіації ґрунтів. Показати механізми вилучення важких металів з ґрунту за допомогою біосурфактантів.

Викладення матеріалу та результати. В даний час найбільш розроблені методи добування ВМ з промислових і побутових стічних вод, а також їх опадів.

Вони включають мембранні технології, зворотний осмос, електрохімічні методи, цементування, адсорбцію активованим вугіллям і твердими відходами (тирса, кора, пінокераміка і текстильні глини), випаровування, розбавлення, використання іонообмінних смол, а також відмивання ВМ синтетичними сурфактантами. Ефективність методу залежить від властивостей ґрунту, ступеня адаптації рослин, що ростуть на ньому і цілого ряду інших факторів.

Вибір конкретної технології для обробки забрудненої ділянки залежить від хімічної структури забруднюючих домішок та інших характеристик.

Очищення ґрунтів, забруднених іонами ВМ, традиційно здійснюють із застосуванням земляних робіт - зняття пластів забрудненого ґрунту (екскавація) з подальшим розміщенням в місцях складування небезпечних відходів або на ділянках для рекультивації [2,3].

Основні способи ремедіації ґрунтів, забруднених ВМ, можна розділити на три групи: обмеження, *ex situ* та *in situ* обробка. До методів обмеження поширення забруднювача в ґрунті можна віднести побудову геоконтейнерів, механічну ізоляцію, герметизацію і вітрифікацію.

Дані методи сприяють утриманню забруднювача в строго визначеному місці і запобігають інтродукції високотоксичних іонів ВМ в об'єкти природного середовища.

До методів *ex situ* можна віднести фізичну сепарацію, відмивання і пірометалургійну обробку ґрунту, забрудненого ВМ. Застосування даних методів обмежено, оскільки для їх реалізації необхідні спеціально обладнані майданчики.

Третя група методів - *in situ*, зокрема побудова ізолюючих водопроникних бар'єрів, електрокінетична обробка, відмивання ґрунту, біологічне вилуговування та фіторемердіація. Правильно підібране поєднання даних методів дозволяє ефективно відновити ґрунт, забруднений ВМ.

На жаль, застосування біологічних методів сьогодні обмежується вирощуванням трав'яних культур (фіторемердіація), які згодом скошують і відвозять в місця складування, вирішуючи локальну проблему ремедіації.

Для зниження ступеня токсичності забрудненого ґрунту здійснюють вилуговування легкорухомих і переведення інших ВМ в нерухому форму, оскільки трансформація багатьох ВМ ($\text{Hg}^{2+} \rightarrow \text{CH}_3\text{-Hg}^+$) часто приводить до утворення більш токсичних сполук [6].

Слід зазначити, що застосовувані технології обмеження поширення ВМ у ґрунті (зокрема механічна ізоляція, герметизація, водопроникні бар'єри) не можуть повністю видалити ці небезпечні ксенобіотики, лише стабілізуючи їх у забрудненому середовищі.

Дані методи очищення не завжди ефективні і менш рентабельні, порівняно з екологічно безпечними біологічними методами (застосування біогенних сурфактантів мікробного походження) обробки ґрунту, забрудненого ВМ. Існує думка, що біологічні способи ремедіації ґрунтів повинні з часом замінити такі традиційно використовувані методи, як вивіз забрудненого матеріалу на звалища або екстракцію з використанням органічних кислот і синтетичних сурфактантів.

Існують критерії, що дозволяють вибрати сполуки, що володіють високими металохелатуючими здібностями, для збільшення мобільності ВМ: висока спорідненість із забрудненням; значна рухливість в ґрунті (стійкість до агрегування і низька ступінь адсорбції при проходженні через пористі середовища); відносно тривалий час існування; нетоксичність і безпеку для навколишнього середовища.

Усім перерахованим вимогам повністю задовольняють біосурфактанти, що синтезуються мікроорганізмами.

Переваги біосурфактантів перед синтетичними аналогами – природне походження, низька токсичність, біодеградабельність, висока активність в екстремальних умовах зовнішнього середовища, а також можливість отримання на нетрадиційних та відносно дешевих джерелах сировини.

Можливість використання біосурфактантів для вилучення ВМ з ґрунту багато в чому залежить від нашого розуміння механізмів утворення комплексів «сурфактант-метал». Показано, що ефективність комплексоутворення іонів кадмію з 5 мМ розчином рамноліпідів складає 92 %. Експериментальні дані можна порівняти з даними комплексоутворення Cd^{2+} з екзополімерами представників *Arthrobacter* і *Klebsiella*.

Комплекси Cd-рамноліпід стійкі при рН = 6,0-7,0, а невеликі розміри їх везикул полегшують рух в ґрунті. Слід зазначити, що зазвичай присутні в ґрунті катіони (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}) практично не конкурують з ВМ за комплексоутворення з рамноліпідами [8].

Ліганди біосурфактантів взаємодіють з іонами ВМ у ґрунті, зв'язуючи дані забруднювачі, що зазвичай розсіяні в природному середовищі і є стійкими до мікробного розкладання.

Можна відзначити, що біосурфактанти можуть зв'язувати іони ВМ, залишаючись рухомими в ґрунтових середовищах і збільшуючи тим самим рухливість ВМ.

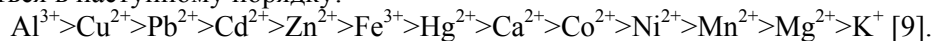
Зв'язування ВМ з лігандами катіонних біосурфактантів базується на формуванні координаційних сполук. При цьому метали діють як кислота Льюїса (акцептор електронів), а органічні ліганди - як основа Льюїса (донор електронів).

Міцність хімічного зв'язку між металом і лігандом визначається кількісно через константи умовної стабільності (КУС) комплексів - металоорганічний ліганд. Утворення комплексу відбувається, коли ліганд утворює координаційні зв'язки з металом за допомогою більш однієї пари загальнодоступних електронів, формуючи кільцеву структуру.

Комплексоутворення ВМ можливо з фульвовими і гуміновими кислотами ґрунту, а також мулом стічних вод.

Однак слід зазначити, що бактеріальні біосурфактанти, зокрема рамноліпіди, успішно конкурують з природними лігандами за комплексоутворення з більшістю ВМ.

Так, значення КУС комплексів рамноліпідів з ВМ аналогічні або перевищують такі для фульвової, щавлевої, оцтової та лимонної кислот. Величини КУС комплексів рамноліпід-метал розташовуються в наступному порядку:



При виборі оптимального способу очищення забрудненого ВМ ґрунту необхідно враховувати екологічну безпеку використовуваних реагентів. Застосування синтетичних лігандів небажано внаслідок їх токсичності і низькою деградабельності, незважаючи на високі показники КУС даних сполук. Існує два передбачуваних механізми вилучення ВМ з ґрунту за допомогою біосурфактантів.

Перший - утворення комплексів біосурфактантних молекул з вільними іонами металу, що перебувають у розчині, що знижує його хімічну активність в ґрунтовому середовищі. Другий механізм заснований на збільшенні ступеня солюбілізації ВМ, сорбованих ґрунтом, в результаті їх прямого контакту з біосурфактантами, що призводить до зниження міжфазового натягу на поверхні розділу фаз тверда речовина-розчин. Найбільш ймовірно, що іони металів приєднуються до зовнішньої негативно зарядженої поверхні сурфактантної міцели. Проте можлива деяка хімічна спорідненість ВМ з неполярною частиною сурфактантної міцели, що мають відмінну від сферичної форму поверхні.

Метали мають більш високу спорідненість з міцелами при низьких концентраціях сурфактанту, що обумовлює можливість більш ефективного відмивання ґрунту за використання зниженої (до 0,3%) концентрації рамноліпиду. При високих концентраціях сурфактанту збільшується розмір міцел, що знижує ступінь пакування активних аніонних головок і скорочує час утримання металів на міцелах. Біосурфактанти виводять ВМ з ґрунтового розчину ефективніше, ніж глини.

При цьому ефективність вилучення металів розчинами біосурфактантів залежить від типу ґрунту, характеру і рівня забруднення, показника кислотності середовища. Експериментальні дані з очищення ґрунту, забрудненого кадмієм і свинцем, за допомогою обробки аесцином (біосурфактант, що синтезуються *Aesculus hippocastanum* L.) показали, що метали інтенсивно мігрують у водну фазу ґрунту залежно від значення рН середовища [8-10].

Складну екологічну проблему представляє комплексне забруднення ґрунту органічними речовинами і ВМ. Так, більше 40% нафтозабруднених ґрунтів містять високі концентрації ВМ, таких як As, Hg, V, Pb, Zn, Ni і Mo. Ділянки, забруднені сумішшю металів і нафтових вуглеводнів, ставлять унікальні завдання перед ремедіацією.

Можна припустити, що додавання біосурфактантів в ґрунт, забруднений ВМ і органічними поллютантами, сприятиме одночасній десорбції органічних забруднювачів і ВМ. В експериментах рамноліпідний біосурфактант знижував токсичність ВМ і прискорював процес деградації нафтопродуктів.

Можливий механізм даного процесу полягає у зв'язуванні металу з міцелами сурфактанту, які містять солюбілізовані молекули вуглецю. Багатьма дослідниками показано, що біосурфактанти збільшують швидкість деградації гідрофобних органічних забруднювачів ґрунту і сприяють видаленню з нього солей Cd^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} та Pb^{2+} . Інгибування процесу мінералізації фенантрени іонами Cd^{2+} знижується в результаті додавання рамноліпиду, який достовірно зменшує ступінь токсичності даного ВМ відносно ґрунтової мікрофлори. Механізм зниження токсичності, мабуть, включає формування комплексів Cd-рамноліпід і взаємодію рамноліпиду з поверхнею мікробних клітин. Сурфактин, що продукується *B. subtilis*, ефективний у видаленні ВМ з ґрунту, забрудненого сумішшю Cu^{2+} , Zn^{2+} і вуглеводнів.

Трегалозоліпідний біосурфактант, що синтезується *Rhodococcus ruber*, успішно використовується для десорбції нафти з ґрунту і біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів.

У даний час досліджується можливість застосування бактеріальних сурфактантів для біоремедіації ґрунтів, забруднених поряд з нафтовими вуглеводнями такими токсичними металами, як U, Cd, b і Zn [9,12].

Висновки та напрямки подальших досліджень. Таким чином, ступінь поширення ВМ в ґрунтовому та водному середовищі залежить від цілого ряду взаємообумовлених фізико-хімічних і біологічних факторів, тому відносний розподіл ВМ між абіотичними і біотичними компонентами ґрунту і водного середовища динамічний і варіабельний.

Найбільш ефективні та рентабельні біологічні методи обробки забрудненого ґрунту і водного середовища постійно удосконалюються і стають дешевшими, оскільки існує значна потреба в їх розвитку. Технологія вилучення ВМ з ґрунту, заснована на застосуванні біосурфактантів, є екологічно безпечною і перспективною альтернативою традиційним фізико-хімічним методам.

З урахуванням потенційної ефективності використання біосурфактантів для біоремедіації забруднених ВМ ґрунтів розвиток даної технології вимагає більш детального дослідження, як-то: ступеня вибірконості біосурфактантів відносно ВМ в розчинах і ґрунтових системах та ультрафільтрації комплексу сурфактант-полутант (вуглеводень і метал), також механізмів взаємодії іонів ВМ з сурфактантними міцелами в комплексі метал-біосурфактант.

При проведенні біоремедіації необхідно також враховувати той факт, що на вилучення ВМ з ґрунту впливають: хімічна структура, розмір міцели біосурфактанту, тип і значення рН ґрунту, склад і ступінь забруднення та інші фактори.

Список літератури

1. Айздайчер Н.А. Токсическое действие детергентов на водоросль *Plagioselmis prolunga* (Cryptophyta) / Н.А. Айздайчер, Ж.В. Маркина // Биол. моря. – 2006. – Т. 32, № 1. – С. 50-54.
2. Захаров В.П. Оптические методы для экологического картографирования городских территорий / В.П. Захаров, Е.В. Тимченко // Краткие сообщения по физике ФИАН. – 2010. – № 7. – С. 47-54.
3. Ившина И.Б. Применение экологически безопасной экспресс-технологии очистки нефтезагрязненных почв и ґрунтов / И.Б. Ившина, М.С. Куюкина, С.М. Костарев // Нефтяное хозяйство. – 2003. – № 9. – С. 116-119.
4. Колесников С.И. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на эколого-биологические свойства чернозема обыкновенного / С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, В.Ф. Вальков // Экология. – 2000. – № 3. – С. 193-201.
5. Макурина О.Н. Исследования влияния ионов кадмия и некоторых поверхностно-активных веществ на содержание пигментов в тканях водного растения *Sagittaria demersum* / О.Н. Макурина, А.А. Косицына // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – Т. 11, № 1(4). – С. 733-736.
6. Часова Э.В. Влияние антропогенных загрязнений на химические и биохимические изменения почв Криворожья / Э.В. Часова, Л.Д. Ермак, В.В. Ивчук, Л.П. Луценко // Вісник Криворізького технічного університету. – 2011. – Вип. 27. – С. 123-127.
7. Часова Е.В. Застосування синтетичних сурфактантів у промисловості та їх вплив на екологію людини / Е.В. Часова, В.В. Івчук // Збірник статей учасників XII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інноваційний потенціал світової науки – XXI сторіччя», Т.2., Запоріжжя 2014, С. 13-16.
8. Jouili H. Plant peroxidases: Biomarkers of metallic stress / H. Jouili, H. Bouazizi, E.E. Ferjani // Acta Physiol. Plant. – 2011. – V. 33. – P. 2075-2082.
9. Mohd M. Role of nitric oxide in regulation of H₂O₂ mediating tolerance of plants to abiotic stress: A synergistic signaling approach / M. Mohd, A.K. Taqi, M. Firoz // J. Stress Physiol. Biochem. – 2011. – V. 7, N 2. – P. 34-74.
10. Wang S. Enhanced mobilization of arsenic and heavy metals from mine tailings by humic acid / S. Wang, C.N. Mulligan // Chemosphere. – 2009. – Vol. 74. – P. 274-279.
11. Wang S. Rhamnolipid biosurfactant-enhanced soil flushing for the removal of arsenic and heavy metals from mine tailings / S. Wang, C.N. Mulligan // Process Biochem. – 2009. – Vol. 44. – P. 296-301.
12. Zakharov V.P. Ecological monitoring of megapolis on the basis of differential back-scattering control of the wood culture / V.P. Zakharov, E.V. Timchenko // Laser Physics. – 2009. – V. 16, N 6. – P. 1366-1372.

Рукопис подано до редакції 10.04.15

УДК 622.7: 622.3

К.В. НИКОЛАЄНКО, канд. техн. наук, доц., Ю.К. ЗАВЕРЮХА, магістрантка
Криворізький національний університет

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АГЛОРУДИ ПІДЗЕМНОГО ВИДОБУТКУ

Розглянуто питання підвищення якості аглоруди з гематитових руд Шахтоуправління ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» шляхом виводу з технології продукту в якому в процесі дроблення та грохочення вихідної руди по існуючій технологічній схемі дробарно-сортувальної фабрики, концентруються засмічуючі різновиди і наступного сухого магнітного збагачення поточної аглоруди з отриманням концентрату з вмістом заліза не менше 58,0 %. Вивчено речовинний склад вихідної руди підземного видобутку Шахтоуправління та визначено її різновиди, які засмічують кінцеву товарну продукцію. Визначено продукт в якому в процесі дроблення та грохочення вихідної руди по існуючій технологічній схемі дробарно-сортувальної фабрики, концентруються засмічуючі різновиди. Запропоновано вивести з технологічного процесу цей продукт, що дозволить підвищити якість товарної аглоруди на 2,6 %. Вивчено можливість подальшого підвищення якості аглоруди, отриманої після виводу з існуючої технологічної схеми дробарно-сортувальної фабрики засмічуючих різновидів, сухою магнітною сепарацією на сепараторах з індукцією магнітного поля 0,7 Тл. Визначено крупність аглоруди, яка піддається сухій магнітній сепарації. Виконано дослідження поділу вузьких класів аглоруди на магнітному сепараторі. Встановлено, що при магнітній сепарації в полі 0,7 Тл, крім магнітних продуктів високої якості, отримуються багаті промпродукти, які потребують подальшого збагачення. Вивчена можливість їх подальшого збагачення в сепараторах з індукцією магнітного поля 0,9-1,3 Тл. Визначено величину індукції магнітного поля для отримання якісних показників поділу. Встановлено, що суха магнітна сепарація аглоруди дозволяє додатково підвищити її якість на 2,6 %. Отримані результати дозволили виявити нові параметри та технологічні вимоги щодо рекомендації вдосконалення конструкцій високоінтенсивних магнітних сепараторів для збагачення гематитових залізних руд шахтного видобутку. Розроблено технологію збагачення із застосуванням виводу з існуючої технологічної схеми дробарно-сортувальної фабрики засмічуючих різновидів та наступною високоінтенсивною сухою магнітною сепарацією поточної аглоруди.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Питання пов'язане з підвищенням конкурентоспроможності вітчизняних виробників залізородної продукції за рахунок підвищення якості аглоруди пришахтних дробарно-сортувальних фабрик, є актуальним. Одним з таких родовищ є гематитові руди підземного видобутку Шахтоуправління ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Аналіз досліджень і публікацій. Свого часу проведено досліді зі збагачення гематитових руд магнітним та флотаційним методами. Застосуванню флотаційного методу збагачення заважають недостатньо вивчені екологічні наслідки в густонаселений районах. Крім того, як показав досвід роботи збагачувальних фабрик комбінатів, цей метод не дозволяє досягнути планових показників якості та виходу кінцевих продуктів збагачення.

Магнітний метод використовувався для збагачення бідних гематитових руд України в різних варіантах (високоінтенсивна мокра магнітна сепарація на КГЗКОР та ГЗК комбінату «АрселорМіттал Кривий Ріг», суха магнітна сепарація при виробництві агломераційної руди на устаткуванні фірми «Укрекологія»).

Для вирішення завдання по збагаченню гематит-мартитових руд шахтного видобутку, які використовуються для виробництва агломерату, в даний час важливе значення має створення технічних рішень по підвищенню якості кінцевої продукції, які можливо реалізувати на існуючих дробарно-сортувальних фабриках, без суттєвих капітальних вкладень.

Постановка завдання. Головним для ефективного збагачення є достатньо селективне розділення компонентів гематитових руд.

Для вирішення задачі виробництва з гематитових руд підземного видобутку концентрату з вмістом заліза загального не менше 58 %, є необхідним створення умов для ефективного видалення нерудних мінералів в процесі їх дроблення та грохочення і наступного сухого магнітного збагачення.

Викладення матеріалу та результати. Дослідження вихідної руди показало, що вона представляє собою гематит-мартитовий різновид з відношенням вказаних рудних мінералів 48,6 та 25,5 % відповідно.

Було визначено породи та руди, які засмічують товарну продукцію в процесі дроблення та грохочення вихідної руди, при отриманні товарної аглоруди та такі, які потребують подальшої

переробки. Це «окрасковані» сланці та метапісчаник, кількість яких зростає в надрешітних продуктах грохочення технологічної схеми та знижує якість кінцевої аглоруди і класи крупності +10 та 10-0 мм аглоруди, які відрізняються по вмісту рудної фази та заліза загального.

Вивчення відібраних продуктів показало, що величина рудної фази та вміст в них заліза загального складає відповідно:

надрешітний продукт контрольного грохочення III стадії дроблення - 7,6 та 24,6 % відповідно;

клас +10 мм аглоруди - 71,1 та 55,0% відповідно;

клас 10-0 мм аглоруди - 96,0 та 56,2% відповідно.

Дослідження показали, що засмічуючі породи можливо видалити в процесі дроблення та грохочення видобутої руди, при розмиканні замкнутого циклу III стадії дроблення з виведенням в хвості надрешітного продукту контрольного грохочення, що дає можливість підвищити вміст заліза в аглоруді на 2,6 % з 53,2 до 55,8 %.

Було проведено дослідження, та визначена доцільність сухого магнітного збагачення аглоруди отриманої після розмикання замкнутого циклу III стадії дроблення, з вмістом заліза 55,8 %. При цьому аглоруда була розділена на класи крупності +10 мм та 10-0 мм.

З матеріалу крупністю 10-0 мм, відсіяного з аглоруди, можливо отримати (табл. 1) в магнітному полі 0,7 Тл магнітний продукт з вмістом заліза 59,15-60,55 %. Сумарний вміст заліза в магнітному продукті склав 59,26 % при виході його від операції 71,8 % та вилученні 75,7 %.

Таблиця 1

Показники розділення аглоруди крупністю 10-0 мм в магнітному полі 0,7 Тл

Класи крупності, мм	Продукти	Показники розділення, %		
		вихід	вміст заліза	вилучення
10-7	вихідний	100	55,6	100
	магнітний	45,0	60,55	49,0
	промпродукт	45,0	56,19	45,5
	немагнітний	10,0	30,67	5,5
7-0	вихідний	100	56,3	100
	магнітний	75,4	59,15	79,2
	промпродукт	23,5	49,18	20,5
	немагнітний	1,1	14,39	0,3
10-0	вихідний	100	56,2	100
	магнітний	71,8	59,26	75,7
	промпродукт	26,0	50,68	23,4
	немагнітний	2,2	21,57	0,9

З аглоруди крупністю +10 мм, доподрібненої до 10-0 мм, можливо отримати (табл. 2) в магнітному полі 0,7 Тл магнітні продукти з вмістом заліза 58,35-62,91%. Сумарний вміст заліза в магнітному продукті склав 60% при виході його від операції 50% і вилученні 56,4%.

Однак в обох випадках магнітного збагачення аглоруди має місце наявність багатих промпродуктів з вмістом заліза 50,68-53,4 % при їх виході від операції 26,0-35,1 % і вилученні 23,4-35,2 %.

Дані промпродукти були піддані подальшому магнітному збагаченню в полях 0,9-1,3 Тл, кожен окремо і в суміші.

Аналіз проведених досліджень показав, що при магнітному збагаченні промпродуктів в полі до 1,3 Тл можливе отримання магнітних продуктів з вмістом заліза 55,8-56,4 % при їх виході від операції 78,8-84,7 % і вилученні 87,5-89,5 %. Вміст заліза в хвостах склав 21,57-29,7 %.

Отже, для поліпшення якісних показників аглоруди Шахтоуправління рекомендується:

1. Розімкнути цикл доподрібнення в III стадії дроблення.
2. Магнітному збагаченню піддавати аглоруду, попередньо розкласифікувавши її по класу 10 мм і доподрібнивши клас + 10 мм до 10-0 мм.
3. Магнітне збагачення вести в два етапи:

перший - при індукції 0,7 Тл з виділенням мартитових різновидів;

другий - при індукції 1,3 Тл з виділенням залишків мартиту і гематитових різновидів.

За результатами досліджень була розроблена технологія збагачення із застосуванням розмикання замкнутого циклу III стадії дроблення з виведенням в хвості надрешітного продукту контрольного грохочення та наступною високоінтенсивною сухою магнітною сепарацією поточної аглоруди з додробленням класу +10 мм, яка дозволяє з існуючої вихідної руди шахтного

видобутку з вмістом заліза 53,2 % отримати аглоруду з вмістом заліза 58,4 % при виході від вихідної 84,5 % та вилученні заліза 92,8 %. Вміст заліза в хвостах складе 24,7 %.

Таблиця 2

Показники розділення класу +10 мм аглоруди, до подрібненої до крупності 10-0 мм, в магнітному полі 0,7Тл

Класи крупності, мм	Продукти	Показники розділення, %		
		вихід	вміст заліза загального	вилучення
10-5	вихідний	100	51,1	100
	магнітний	35,5	62,91	43,7
	промпродукт	40,3	53,54	42,2
	немагнітний	24,2	29,78	14,1
5-0	вихідний	100	55,4	100
	магнітний	65,6	58,35	69,1
	промпродукт	29,4	53,29	28,3
	немагнітний	5,0	29,19	2,6
10-0	вихідний	100	53,2	100
	магнітний	50,0	60,0	56,4
	промпродукт	35,1	53,4	35,2
	немагнітний	14,9	29,7	8,4

Рекомендована технологічна схема наведена на рис. 1.



Рис. 1. Рекомендована технологія для підвищення якості руди підземного видобутку Шахтоуправління

Мінеральний аналіз отриманих кінцевих магнітних продуктів (збагачена аглоруда) показав, що величина рудної фази в них в порівнянні з вихідною аглорудою підвищується на 7,01-8,46 % (з 79,39 до 86,4-87,85 %). Кількість нерудної фази в немагнітному продукті (хвості збагачення) при цьому досягає 61,07 %.

За результатами досліджень виявлено нові параметри та технологічні вимоги щодо рекомендації вдосконалення конструкцій високоінтенсивних магнітних сепараторів для збагачення гематитових залізних руд шахтного видобутку.

Висновки та напрямок подальших досліджень.

Отже, використання комбінації операцій розмикання замкнутого циклу III стадії дроблення з виведенням в хвості надрешітного продукту контрольного грохочення, та наступна високоінтенсивна суха магнітна сепарація поточної аглоруди дозволяє суттєво (на 5,2 %) підвищити якість кінцевої аглоруди та отримати товарну продукцію з вмістом заліза більше 58 %.

Напрямок наступних досліджень, є подальше підвищення якості аглоруди за рахунок її класифікації на вузькі класи, з їх збагаченням.

Список літератури

1. Предпроектные исследования и разработка технологических схем обогащения агломерационных руд подземных рудников Кривбасса, обеспечивающих повышение массовой доли железа в товарной продукции на 5-8%. Отчет института «Механобчермет». Кривой Рог. 1993.
2. В.П. Мовчан, М.М. Бережний. Основы металлургии / Мовчан В.П., Бережний М.М. // Днепропетровськ, «Пороги». 2001.
3. Пути повышения качества аглоруды подземной добычи Кривбасса" / Прилипенко В.Д., Дробот В.А., Авраменко А.А. и др. // Сб. материалов МИСИС, Москва, 5 Конгресс обогатителей стран СНГ. – 23-25 марта 2005 г. – Т.4.
4. Скляр Л.В., Николаенко К.В., Олейник Т.А. Повышение качества бедных кусковых руд шахтной добычи Кривбасса методом отсадки / Скляр Л.В., Николаенко К.В., Олейник Т.А. // Качество минерального сырья. – 2005. – С. 87-89
5. Сухое магнитное обогащение гематит-мартитовых руд Криворожского бассейна / Ширяев А.А., Самоткал Э.В., Заболотный С.А. и др. // Кривий Ріг: Видавничий дім, 2009. – 248 с.

6. **И.Флорек** Современные направления развития магнитного обогащения минерального сырья и материалов / **Флорек И.** // Обогащение руд, №1, 1992.
7. **Кармазин В.И., Кармазин В.В.** Магнитные методы обогащения руд / **Кармазин В.И., Кармазин В.В.** // М., Недра, 1984.
8. **Кармазин В.И.** Обогащение руд черных металлов / **Кармазин В.И.** // М., Недра, 1982.
9. **Кармазин В.И., Кармазин В.В.** Магнитные методы обогащения / **Кармазин В.И., Кармазин В.В.** // М., Недра, 1978.
10. **Лазаренко Е.К., Гершойг Ю.Г., Бучинская Н.И.** и др. Минералогия Криворожского бассейна / **Е.К. Лазаренко, Ю.Г. Гершойг, Н.И. Бучинская** // Киев: Наукова думка, 1977 – 544 с.
11. Permroll Separator Eerrous Wheel Separator: Проспекты/ Bateman Equipment Inc, 1987.
12. **A.M. Turkenich.** A novel method for improvement of quality of a magnetite concentrate // Magnetic end Electrical Separation. – 2001. – Vol. 10, №4. – P. 207–208.
13. **Grosh A.G., Daughney V.F.** High-Tension Separation of Wabush Mines Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, 1967, vol.60, № 667.

Рукопис подано до редакції 14.04.15

УДК 622.788: 004.032.26

А.С. КУЗЬМЕНКО, ст. преподаватель, М.Л. БАРАНОВСКАЯ, канд. техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЧАШЕВЫМ ОКОМКОВАТЕЛЕМ

Чашевый окомкователь является сложной, с точки зрения автоматического управления, машиной. Большое количество входящих (влажность шихты, скорость вращения чаши, угол наклона чаши, расход шихты и воды в чашу), исходящих (диаметр, прочность и влажность окатыша) параметров и внешних воздействий (температура и влажность воздуха, содержание железа в шихте) зависят друг от друга не линейно и в некоторых случаях не явно, что создает большие трудности при управлении чашевым окомкователем. Определению подходящей системы автоматического управления чашевым окомкователем посвящена серия работ, включая эту. В данной работе обоснован выбор направления поиска подходящей системы управления. Для этого составлена математическая модель одноконтурной системы управления приводом вращения чаши чашевого окомкователя. В модели для сравнения автоматических систем управления использована классический ПИД регулятор и однослойная нейронная сеть обученная по алгоритму «дельта-правила». Произведено сравнение систем управления при разных входящих воздействиях. Определены основные параметры переходных процессов (время первого согласования t_y , перерегулирование σ , время переходного процесса $t_{\text{ин}}$) и найдены коэффициенты ошибок позиционирования c_0 , скорости c_1 и ускорения c_2 для каждого типа системы управления. Показаны закономерности, по которым найдены соответствующие коэффициенты ошибок. Для наглядности работы разных систем управления приведены графики ошибок c_0 , c_1 и c_2 .

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. При производстве окатышей технологический процесс окомкования не является энергоемким. Но качество подготовки окатышей существенно повышает энергопотребление на стадии обжига. На процесс окомкования в чашевом окомкователе влияют много факторов, среди которых: содержание железа в шихте, основность шихты, крупность шихты, расход шихты в чашу, угол наклона чаши, скорость вращения чаши, влажность шихты. Своевременное реагирование при управлении чашевым окомкователем на отклонение параметров значительно повысит качество сырых окатышей, что в дальнейшем приведет к сокращению энергозатрат на производство окатышей в целом [1,2].

Анализ исследований и публикаций. При повышении требований к качеству готового продукта управление агрегатами без автоматизированных систем невозможно [10]. Эффективное управление может быть достигнуто при использовании многоуровневых систем автоматизации с применением средств вычислительной техники - автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) [11]. В этом направлении существует много научных работ как по исследованию всего технологического процесса фабрик окомкования [3,4,5,6,12], так и по процессам подготовки исходного сырья (добавок) и формирования (дозирования) шихты для производства сырых и готовых окатышей [7,8,9,14].

Постановка задачи. Определить возможность и целесообразность использования классических и гибридных нейронных сетей для управления чашевым окомкователем.

Изложение материала и результаты. В качестве анализа объекта управления, в теории автоматического управления, принято использовать дифференциальные уравнения. Они описывают свойства системы и позволяют оценить поведение при изменении входных параметров.

Различают два основных режима работы системы автоматического управления:

установившийся режим работы, при котором составляющие вектора состояния системы не зависят от времени их измерения;

динамический режим работы, при котором составляющие вектора состояния системы являются функциями времени.

Как установившийся, так и динамический режимы работы линейной системы могут существовать, если подавать на систему сигналы, изменяющиеся во времени. Разница состоит в том, что в переходном процессе само воздействие или некоторые его производные содержат ступенчатые изменения. В течении некоторого времени после ступенчатого изменения величины или ее производной, в системе происходит переходный процесс, а после его окончания система работает в установившемся режиме до появления новых воздействий или изменений в структуре системы.

Одним из основных требований, предъявляемых к системам управления, является обеспечение необходимой точности во всех режимах работы. В установившемся режиме работы системы управления качество ее работы может быть оценено по статической характеристике системы.

Важной характеристикой САК является зависимость между значением управляющего параметра и величиной внешнего воздействия. По виду зависимости между значением управляющего воздействия и внешними воздействиями системы делят на статические и астатические.

Систему называют статической применительно к внешнему воздействию, если при воздействии, стремящемся со временем достичь некоторого значения, ошибка также стремится достичь устойчивого значения. Поэтому статическая система автоматического управления не может обеспечить постоянство управляемого параметра при переменной нагрузке.

Система автоматического управления называется астатической, если при постоянном входном воздействии ошибка управления стремится к нулю независимо от величины воздействия. Если понятие статическая система является абсолютным, то понятие астатическая САУ справедливо только в отношении определенного компонента вектора исходного состояния системы. Астатические системы автоматического управления характеризуются разным порядком астатизма в зависимости от числа интегрирующих звеньев в разомкнутом контуре.

Одним из основных требований к системе автоматического управления частотным окомкователем является обеспечение необходимой точности работы во всех режимах. В установившемся режиме работы САУ качество ее работы можно оценить по статической характеристике системы и коэффициентам ошибок [13]. Для каждого контролируемого параметра работы частотного окомкователя можно определить коэффициент ошибки, разложив в ряд Тейлора передаточную функцию $F_e(s)$ по ошибке, которая обусловлена воздействием

$$F_e(s) = \frac{E(s)}{X(s)} = F_e(0) + \frac{F_e'(s)|_{s=0}}{1!} s + \frac{F_e''(s)|_{s=0}}{2!} s^2 + \dots = c_0 + c_1 s + \frac{c_2}{2} s^2 + \dots \quad (1)$$

где c_0 - коэффициент ошибки положения; c_1 - коэффициент ошибки скорости; c_2 - коэффициент ошибки ускорения.

Исходя из (1), поведение ошибки регулирования во времени может быть представлено рядом [13]

$$e(t) = c_0 x(t) + c_1 x'(t) + c_2 x''(t)/2 + \dots \quad (2)$$

Если исходить из выражения (2), то при заданной максимальной ошибке управления e_m с использованием принципа равных воздействий коэффициенты находят [13]:

X_m - максимально допустимое отклонение сигнала задания для системы управления частотным окомкователем, при котором обеспечивается необходимая точность: $X_m < e_m / (3c_0)$;

$\max(dx/dt)$ - максимальная скорость изменения сигнала задания: $\max(dx/dt) < e_m / (3c_1)$;

$\max(d^2x/dt^2)$ - максимально допустимое ускорение сигнала: $\max(d^2x/dt^2) < 2 e_m / (3c_2)$.

Таким образом, коэффициенты c_0 , c_1 и c_2 определяют точность и быстродействие системы. Значения ошибок указывают на порядок астатизма системы. В случае статичной системы ошибка c_0 будет иметь значение, отличное от нуля. Для системы с первым порядком астатизма ошибка c_0 будет равняться нулю, а ошибки высших порядков будут иметь не нулевые значения. Физический смысл ошибок для нашей системы электропривода чаши будет следующим: c_0 – ошибка по скорости вращения чаши, а c_1 – ошибка по ускорению чаши.

Модель системы управления по одному управляющему воздействию, скорости вращения чаши окомкователя, для нахождения коэффициентов c_0 , c_1 и c_2 показана на рис. 1.

Переключатели Switch1 и Switch2 отвечают за форму сигнала задания. При постоянном сигнале задания график переходного процесса по скорости показан на рис 2а. Действительно, при t стремящегося к ∞ по окончании переходного процесса входной сигнал $x(t)=1$, а его производные $x'(t)=0$ и $x''(t)=0$. Поэтому, исходя из (2) имеем $e(t)=c_0$. Для данного сигнала управления коэффициент c_0 равен 0.

Для определения коэффициента ошибки по скорости c_1 сделаем замену входного сигнала со ступенчатого (Step) на линейно-возрастающий (Ramp) согласно зависимости $x(t) = l_0(t) \cdot t$, где $l_0(t)$ – одиночная ступенчатая функция Хэвисайда.

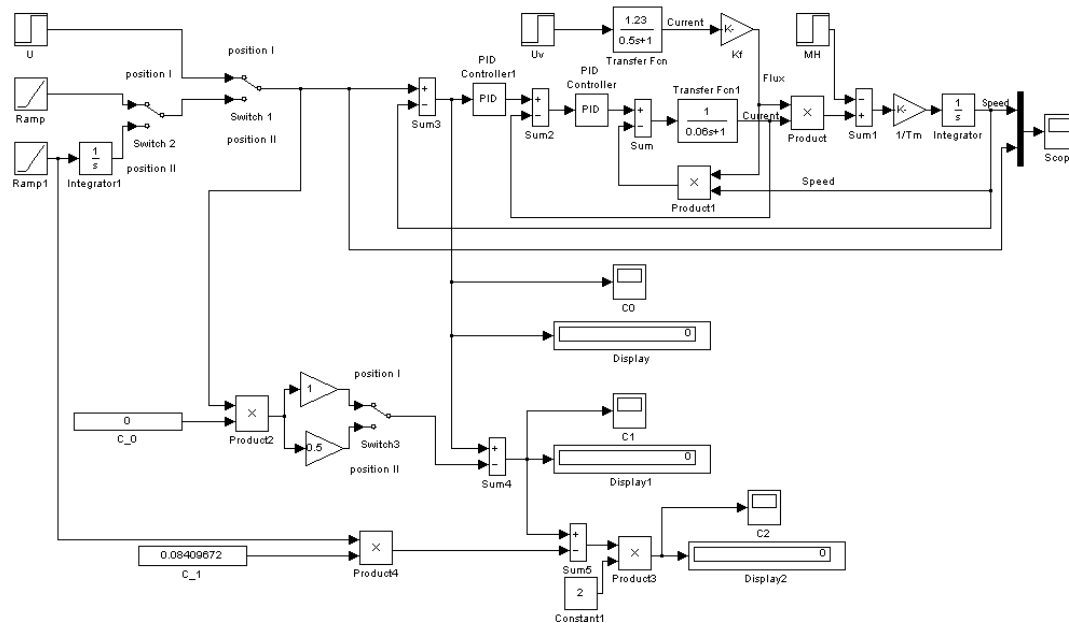


Рис. 1. Модель для нахождения коэффициентов c_0 , c_1 и c_2 с использованием классических ПИД-регуляторов

По окончании переходного процесса $x'(t) = 1$, $x''(t)=0$, учитывая (2), получаем [13]

$$e(t) = c_0 l_0(t) \cdot t + c_1, \tag{3}$$

тогда

$$c_1 = e(t) - c_0 l_0(t) \cdot t. \tag{4}$$

Определение коэффициента ошибки по ускорению c_2 выполним следующим образом: на исследуемую САУ подадим сигнал параболической формы: $x(t)=l_0(t) \cdot t^2/2$. По окончании переходного процесса производные примут следующие значения: $x'(t)=t$, $x''(t)=1$, а старшие производные степени k для всех $k>2$ будут равняться нулю $x^{(k)}(t)=0$. Таким образом, в установившемся режиме выражение (2) для ошибки примет следующий вид

$$e(t) = c_0 t^2/2 + c_1 l_0(t) \cdot t + c_2/2 + \dots \tag{5}$$

Отсюда находим [13] значение c_2

$$c_2 = 2(e(t) - c_0 t^2/2 - c_1 l_0(t) \cdot t) \tag{6}$$

Для нахождения коэффициента ошибки c_1 и c_2 в нашей схеме необходимо переключатели сигналов задания переключить соответственно Switch1 в положение II и Switch23 в положение

1. При этом значение коэффициента ошибки $c_1=0,084$, а $c_2=0,0236$, что видно по соответствующим графикам на рис. 2б и рис. 2в.

Анализируя переходные процессы, опишем их основные параметры: время первого согласования $t_y=0,133$ с, перерегулирование $\sigma=55,7\%$ и время переходного процесса $t_{\text{пп}}=2$ с.

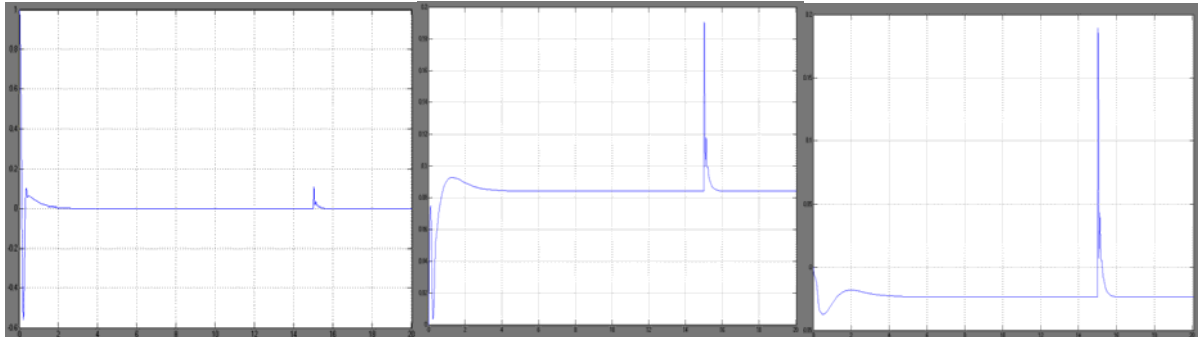


Рис 2. Переходные процессы для ошибки c_0 , c_1 и c_2 при управлении скоростью вращения чаши с помощью ПИД регуляторов

При рассмотрении работы системы управления по одному каналу - скорости вращения чаши, в модели электропривода вместо ПИД регулятора будет присутствовать классическая нейронная сеть, обученная по самому простому алгоритму - дельта-правилу.

Оставим без изменений модель электропривода вращения чаши окомкователя для проведения сравнительного анализа, определения точности ее работы и сравнения ранее полученных результатов.

Результаты проведения моделирования следующие:

коэффициент ошибки по позиционированию принимает значение $c_0=1,69e^{-6}$, что сопоставимо с погрешностью моделирования, поэтому ее можно считать равной нулю (рис. 3а);

коэффициент ошибки по скорости $c_1=0,1$ (рис. 3б);

коэффициент ошибки по ускорению $c_2=0,1621$ (рис. 3в).

Переходный процесс для системы управления на основе нейронной сети характеризуется следующими параметрами: время первого согласования $t_y=0,125$ с, перерегулирование $\sigma=21\%$ и время переходного процесса $t_{\text{пп}}=2$ с.

Таким образом, коэффициенты ошибок системы управления характеризуют ее точность и быстродействие при любом типе сигнала, что позволяет определять динамические ошибки управления и использовать их при обучении сети в реальном времени.

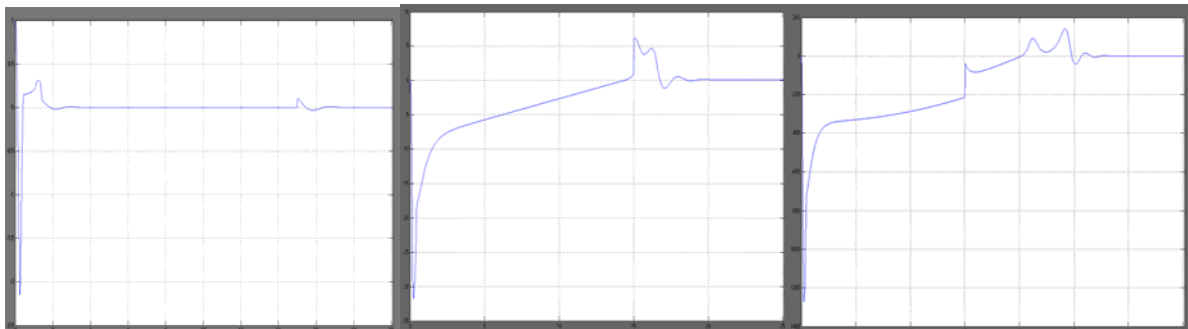


Рис 3. Переходные процессы для ошибки c_0 , c_1 и c_2 при управлении скоростью вращения чаши с помощью нейронной сети

Выводы и направление дальнейших исследований. Анализируя работу двух рассмотренных систем управления с использованием разных регуляторов по найденным значениям ошибок, видно, что более качественно работает система управления с использованием нейронной сети. Качество переходных процессов так же лучше во втором варианте.

Удобное определение коэффициентов ошибок регулирования c_0 , c_1 и c_2 в реальном времени позволяет использовать их при онлайн обучении нейронной сети.

Дальнейшие исследования будут направлены на создание способа обучения нейронной сети на основе коэффициентов ошибок регулирования c_0 , c_1 и c_2 . Сравнение качества регулирования с использованием разных алгоритмов обучения даст возможность определиться с наилучшей конфигурацией нейронной сети и алгоритмом обучения.

Список литературы

1. **Шокін В.П., Кузьменко А.С.** Засоби підвищення ефективності роботи чашевого огрудкувача // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг. –2013.-№34. –С.53-56.
2. **Таравский М.Ф., Шумилов К.А., Трухин Г.М.** и др. Исследование процесса окомкования железорудной шихты и разработка алгоритма его управления в автоматическом режиме// Автоматизация виробничих процесів. - 1997. - № 2. - С. 58 - 65.
3. **Федоровский Н.В.** Автоматическое управление технологическими процессами окускования сыпучих материалов. - К.: Техніка, 1976. - 223 с.
4. **Дементьева Е.М.** Метод и этапы построения математического описания технологических процессов производства окатышей при разработке АСУ ТП фабрики окомкования// Научные основы построения АСУ ТП окускования сыпучих материалов. - К.: Наукова думка, 1980. - С.38 - 57.
5. **Богаенко И.Н., Бурляй И.Ю., Грабовский Г.Г., Рюмшин Н.А., Таравский М.Ф., Шумилов К.А.** Разработка и проектирование АСУ ТП фабрик окомкования горно-обогатительных комбинатов. - К.: НВК "КИА", 2002. - 228 с.
6. **Федоровский Н.В.** Принцип построения АСУ ТП на агломерационных и окомковательных фабриках// Проблемы автоматизации процессов окускования сыпучих материалов. – М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1985. - С.4 -5.
7. **Журавлев Ф.М., Малышева Т.Я.** Окатыши из концентратов железистых кварцитов. - М.: Металлургия, 1991. - 127 с.
8. **Игнатов Н.В., Сулименко Е.И., Иващенко В.П.** и др. Перспектива производства окускованного металлургического сырья горно-металлургического комплекса "Криворожсталь"// Теория и практика металлургии. - 2001. - № 4. - С.10 - 13.
9. **Сидоренко В.Д., Таравский М.Ф., Коваленко Е.Н., Евдокимов П.И.** Управляющее логическое устройство для загрузки бункеров // Разработка систем автоматизации окускования железных руд и концентратов. - К.: Институт автоматизации, 1978. - С.58 - 64.
10. **Tischner G, Uhlig I.** Steuerung von Ghargen prozessen // ATP 41. – 1999. - №4. – P. 20-29.
11. **Uhlig R. Und Bruns M.** Automatisierung von Chargenprozessen // R. Oldenbourg Verlag, 1995.
12. **Peter Both, Oliver Berender, Gerhard Kleeman, Michael Schlaak** Modellgestützte Processführung Chem //Ing.-Teclin.-2000.-72, № 4. - с.48-49.
13. **Федосов Б.Т.** Об оценке качества линейных САР с использованием программ моделирования. - http://model.exponenta.ru/bt/bt_0004.html, Рудный, Казахстан, 2003.
14. **Shchokin V.** Automatization of agglomerative production on the base of application of Neuro - Fuzzy controlling systems of the bottom level / Vadym Shchokin, Viktoriia Tkachuk // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. –№ 6. –

Рукопис поступила в редакцию 14.04.15

УДК 622.27

С.В. ПИСЬМЕННИЙ, канд. техн. наук, доц., О.Б. ТОМАШЕВСЬКИЙ, магістрант
Криворізький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОЇ ФОРМИ ОЧИСНОЇ КАМЕРИ ПРИ РОЗРОБЦІ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ КРИВОРІЗЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО БАСЕЙНУ

За результатами виконаного аналізу існуючих запасів Криворізького залізорудного басейну встановлено, що розвіданих запасів залізних руд нараховується понад 23,5 млрд т, з них перспективних до розробки підземним способом близько 13,5 млрд т. В умовах діючих підприємств з підземним видобутком залізних руд нараховується понад 5,0 млрд т магнетитових кварцитів. З метою збереження денної поверхні, а також головних розкривних виробок встановлено, що розробка магнетитових кварцитів в умовах діючих підприємств з підземним способом видобутку доцільна системами з закладкою виробленого простору. При застосуванні даного класу систем розробки виникає проблема стійкості очисних камер у період від початку її відробки до повної її закладання твердочими сумішами. В лабораторних умовах на моделях з використанням еквівалентного матеріалу досліджували як впливає термін існування на стійкість очисних камер прямокутної, шагрової та склепистої форм. За результатами лабораторних досліджень встановлено, що раціональна форма очисної камери з умови її стійкості та терміну існування є склепінна у верхній її частині. Достовірність результатів моделювання підтверджується високою збіжністю отриманих значень.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Криворізький залізорудний басейн представлений покладами багатих і бідних руд. Розробка родовищ Криворізького басейну на даний час здійснюється відкритим і підземним способами. В умовах діючих залізорудних підприємств з підземним способом розробки загальна кількість балансових запасів багатих руд складає 1,5 млрд т, а розвіданих бідних понад 5,0 млрд т.

Для подальшого успішного функціонування підземних гірничих підприємств з видобутком багатих руд необхідно виконати модернізацію та технічне переоснащення комплексів підйому, вентиляції, водовідливу, а також переглянути існуючі способи видобутку корисних копалин, а також розробка бідних руд (магнетитових кварцитів).

Розробка магнетитових кварцитів дозволить отримати додатково значні запаси, але їх розробка традиційними існуючими технологія зробить видобуток не ефективним. Для збереження денної поверхні необхідно застосовувати систему розробки з закладкою виробленого простору. При використанні твердочої закладки необхідно забезпечити стійкість очисним камерам на термін доки твердіюча суміш не набере необхідну межу міцності.

Таким чином, при застосуванні камерних систем розробки з закладкою забезпечення очисним камерам додаткової стійкості є актуальним питанням, яке потребує вирішення.

Аналіз досліджень і публікацій. Криворізький залізорудний басейн розташований в районі річки Інгулець і лівих приток річок Саксагань та Жовта. Він складається комплексом кристалічних порід залізистої формації, що залягають серед гранітів вузькою смугою метаморфічних порід, витягнутих з півдня на північ в субмеридіальному напрямку, протяжністю понад 100 км і є складовою частиною Криворізько-Кременчугської структурно-фаціальній зони.

Комплекс порід Криворізької серії зім'ятий в складки меридіонального простягання і утворює велику складчасту структуру, яка складається з наступних серій свит: Новокриворізька (Nk), Скелюватська (Sk), Саксаганська (Sx), Гданцівська (Gd) та Глеюватська (Gl).

Основною рудоносною товщею, що розробляється відкритим та підземним способами є Саксаганська свита (PR_1Sx), яка представлена сім'ю сланцевими та сім'ю залізистими пластами, які чергуються між собою. Залізисті пласти складені мартитовими, гетіт-гематит-мартитовими, силікат-карбонат-магнетитовими, магнетитовими, силікат-магнетитовими та іншими рудами потужністю від 4 до 150 м та з середнім вмістом заліза 58-62 % та бідних руд (магнетитових кварцитів) - 26-35 %.

На теперішній час в Криворізькому залізорудному басейні успішно функціонує 7 гірничо-видобувних підприємств, з них: 5 - з відкритим способом розробки і 4 - підземним способом, табл. 1.1 [1-7].

З табл. 1.1 видно, що у межах діючих підприємств зосереджено близько 8,78 млрд т балансових запасів багатих і бідних руд, які можливо відпрацювати існуючими технологіями. Розробка 7,68 млрд т потребує удосконалення технології, або перехід на комбіновану відкрито-

підземну розробку при видобутку бідних руд, або будування другої ступені розкриття при розробці багатих руд підземним способом.

Запасів залізистих кварцитів в межах діючих підприємств з відкритим та підземним способами складають біля 10,8 млрд т, у тому числі балансових запасів нараховується понад 7,65 млрд т. Відробку 3,2 млрд т запасів магнетитових кварцитів, які не доцільно розробляти на теперішній час відкритим способом, доцільно відпрацьовувати комбінованою відкрито-підземною розробкою, що дозволить гірничим підприємствам подовжити свою роботу ще на 50-100 років.

Таблиця 1

Залізородні гірничо-видобувні підприємства та запаси залізних руд Криворізького басейну станом на 2012 р.

Гірничо-видобувне підприємство	Гірничо-видобувний комплекс	Глибина гірничих робіт, м	Запаси в межах родовища, млн.т	
			балансові	забалансові
Розробка бідних руд				
ПАТ "ПівнГЗК"	Ганнівський кар'єр	275	500	340
	Першотравневий кар'єр	400	710	480
	Шахта "Першотравнева"*	920	550	650
ПАТ "ІнГЗК"	Інгулецький кар'єр	395-440	440	140
ПАТ "ПівдГЗК"	Південний кар'єр	325-350	1800	600
ПАТ "ЦГЗК"	Глєватський кар'єр	395	710	350
	Петровський кар'єр	305		
	Артемовський кар'єр	185		
	Шахта ім.Орджонікідзе	527	110	120
	Шахта "Гігант-Глибока"*	710	180	295
ПАТ"АрселорМіттал Кривий Ріг"	Кар'єр №2-біс	225	2650	235
	Кар'єр №3	300		
Разом			7650	3210
Розробка багатих руд				
ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг"	Шахта ім. Артема №1	1045	120	400
ПАТ "Свраз Суха Балка"	Шахта "Ювілейна"	1260	160	-
	Шахта ім. Фрунзе	1135	40	-
ПАТ "Кривбасзалізрудком"	Шахта "Родіна"	1390	160	1150
	Шахта "Октябрська"	1265	570	2860
	Шахта ім.Леніна	1350	80	60
	Шахта "Гвардійська"	1270	100	400
Разом			1130	4470
Поклади магнетитових кварцитів (законсервовані)				
Міжруднична дільниця №1	між ш."Родіна" та ш."Октябрська"	до 1500	-	880
Міжруднична дільниця №2	між ш. ім. Фрунзе та ш."Ювілейна"	до 1500	-	1250
Міжруднична дільниця №3	між ш. "Ювілейна" та ш. "Гвардійська"	до 1500	-	2000
Міжруднична дільниця №4	між ш. "Гвардійська" та ш. ім. Леніна	до 1500	-	1370
Міжруднична дільниця №5	між ш. ім. Леніна та ПівнГЗК	до 1500	-	1500
Разом			-	7000
Всього			8780	14680

Примітка: * - суха консервація гірничо-видобувного комплексу

Балансові запаси багатих залізних руд, підраховані до глибини 1500-2100 м, становлять понад 5,6 млрд т, у тому числі промислових категорій - 1,13 млрд т. Неосвоєними з цих запасів, є лише Східно-Скелюватська ділянка та частина родовищ НкГЗК, яка виступає охоронним цілком річки Інгулець.

Шахтні поля Криворізького басейну мають неоднакову забезпеченість запасами багатих залізних руд. Протягом найближчих 30 років шахти південної групи допрацюють свої запаси, в той час як деякі рудники північної групи працюватимуть більше 30 років. Зі збільшенням глибини розробки значною мірою погіршуються геологічні та гірничотехнічні умови; зменшуються запаси багатих руд; знижується якість залізної руди, підвищується горський тиск, що викликає збільшення трудових і матеріальних витрат, значно збільшуються витрати на додаткову

проходку виробок, підземний транспорт, вентиляцію, водовідлив, шахтний підйом та ін.

Загальні прогнози запаси залізистих кварцитів тільки в полях діючих шахт та в міжрудникових ділянках Саксаганської світи становлять близько 43,0 млрд т, у тому числі магнетитових кварцитів близько - 14,68 млрд т (з бортовим вмістом заліза магнетитового 20%). У полях діючих шахт магнетитові кварцити залягають, в основному, в лежачому боці покладів багатих руд і в окремих випадках, наприклад, на шахтах "Ювілейна, "Гвардійська" та ім. Леніна - в одних стратиграфічних горизонтах.

Постановка завдання. Одним із заходів щодо збільшення запасів залізорудної сировини та термінів забезпеченості ними рудників є залучення у видобуток підземним способом магнетитових кварцитів, що залягають у полях діючих шахт і в проміжках між ними з подальшим їх збагаченням. Для видобутку магнетитових кварцитів в полях існуючих шахт, де є резерви підйомних можливостей, достатньо пройти додаткові відкотні виробки від існуючих і нині вже не використовуваних квершлагів, оскільки видобуток цих кварцитів може бути розпочато з глибини нижче зони окислення.

Слід враховувати те, що діючі стволи шахт перетинають товщу магнетитових кварцитів, а поверхня в районі їх розташування густо забудована технологічними комплексами шахт, під'їзними залізничними коліями та шляхами Придніпровської залізниці, житловими та соціально-культурними об'єктами. У разі відпрацювання магнетитових кварцитів відкритим або підземним способом системами з масовим обваленням руди та денної поверхні, зазначені вище об'єкти на поверхні необхідно перенести на інші ділянки.

Альтернативною системою розробки яка забезпечить збереження денної поверхні при видобутку магнетитових кварцитів є камерна система розробки з закладкою виробленого простору. Застосування камерних систем розробки потребує забезпечення додаткової стійкості порід що налягають.

Отже, необхідно вирішити актуальне питання щодо розробки магнетитових кварцитів Криворізького залізрудного басейну підземним способом шляхом обґрунтування форми очисної камери, що дозволить збільшити строк її існування та забезпечити високі показники вилучення.

Викладення матеріалу та результати. З метою визначення стійких параметрів очисної камери різних форм використовуємо фізичне моделювання з використанням еквівалентних матеріалів на стаціонарних моделях. Аналіз методів моделювання, заснованих на теорії подібності [8-10], приводить до висновку, що для моделювання на статичних моделях необхідно дотримуватись масштаб моделювання [10-12]. Усі розміри досліджуваної системи в натурі й розміри її в моделі будуть змінені у певну кількість разів. Масштаб моделювання C_1 визначається за виразом

$$l'_n / l'_m = l''_n / l''_m = \dots = l^i_n / l^i_m = C_1, \quad (1)$$

де l_m, l_n - лінійні розміри відповідно у моделі й натурі.

У процесі моделювання повне дотримання всіх критеріїв подібності, що забезпечують подібність механічних процесів, неможливо, тому необхідно виділити й забезпечити пропорційність фізичних констант, що мають вирішальне значення для досліджуваного явища.

При моделюванні необхідно дотримання початкового стану системи й подібності умов на границях. Перше (початковий стан системи) досягається дотриманням масштабу моделювання, коефіцієнта розрихлення матеріалу моделі й природи. Друге (умова подоби на границях) – дотриманням коефіцієнта тертя на контактах матеріалу зі стінками моделі. Для цього збільшують шорсткість стінок моделі. Кращим способом досягти відповідності граничних умов є наклеювання матеріалу, що моделюється, на стінки моделі.

Для визначення зсуву порід, а так само навантажень, тиску, які виникають у процесі переміщення гірського масиву, необхідно дотримуватись динамічної подібності. При цьому повинна бути дотримана умова стійкості матеріалів

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} \rho + c, \quad (2)$$

де τ - дотичне напруження на заданій площині, т/м²; σ_n - нормальне напруження на заданій площині, т/м²; ρ - кут внутрішнього тертя корисної копалини, град.; c - зчеплення порід.

Основною умовою динамічної подоби є дотримання куту внутрішнього тертя корисної копалини та зчеплення порід, що можливо досягти тільки прикладенням на модель зовнішнього

навантаження. Розрахунок зовнішнього навантаження P_m , яке необхідно прикласти при моделюванні, визначають за формулою, запропонованою Кузнецовим Г.Н. [11]

$$P_m = (P_n l_n^3 \gamma_n) / (l_m^3 \gamma_m), \quad (3)$$

де P_m, P_n - зовнішнє навантаження відповідно в моделі й натурі, т/м²; γ_n, γ_m - об'ємна вага руди відповідно у натурі й моделі, т/м³.

Можливість застосування виразу (3) можливо обґрунтувати тим, що масштаб моделювання виконується тільки для лінійних розмірів моделі й не відповідає в повному обсязі для гранулометричного складу.

Коефіцієнти й кути опору руху руди визначалися за методикою [12-14]. Коефіцієнт опору у цьому випадку визначається за різницею дії сил ваги й сил опору зразку за формулою

$$f = (l_1 \sin \alpha) / (l_1 \cos \alpha + l_2) = h/L = \operatorname{tg} \varphi, \quad (4)$$

де l_1 - довжина похилої площини, м; l_2 - довжина горизонтальної ділянки шляху, що проходять зразки породи по інерції, м; α - кут нахилу площини, град; h - висота скочування зразка, м; L - проекція сумарного шляху, пройденого зразками на горизонтальну площину, м; φ - кут опору руху, град.

Величина f і φ визначалися для окремих зразків руди (породи) різного гранулометричного складу, для суміші зразків одного розміру, а також для сумішей зразків різного гранулометричного складу. В результаті отриманих даних в процесі лабораторних досліджень побудовані залежності зміни складу еквівалентного матеріалу для отримання наступних параметрів: межі міцності на стискання; модуля пружності та коефіцієнта Пуассона, рис. 1.

Після ув'язування всіх перерахованих факторів, масштаб моделювання приймаємо 1:100, при цьому підбір еквівалентних матеріалів виконується на підставі теорії подібності з урахуванням необхідних встановлених значень див. рис. 1.

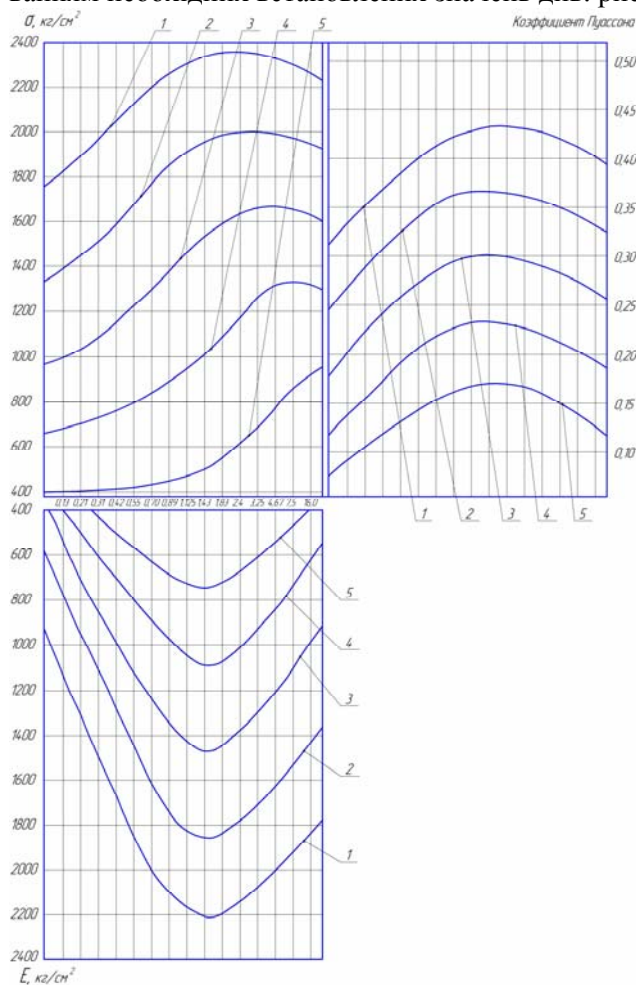


Рис. 1. Номограма по визначенню кількісного складу компонентів еквівалентних матеріалів: 1-5 - склад парафіну відповідно 2,4; 2,2; 2,0; 1,8 и 1,6 %

Тимчасовий опір досліджуваних зразків на стискання виконували відповідно до прийнятого міжнародного стандарту для визначення міцності порід при одноосьовому стиску. Тимчасовий опір досліджуваних зразків визначається за формулою, Н/м²

$$G_{cm} = P/S, \quad (5)$$

де P - руйнівне навантаження, Н; S - площа поперечного перерізу зразка, м².

У лабораторіях ДВНЗ "Криворізький національний університет" були проведені дослідження по стійкості камер різної форми.

При проведенні дослідів гірський масив замінюється еквівалентним матеріалом. Геометричний масштаб моделювання був прийнятий 1:100, а масштаб часу становив 1:10. Еквівалентний матеріал з урахуванням масштабу моделювання підбирався згідно фізико-механічним властивостям гірських порід ш. "Октябрська".

Всього було проведено 8 серій лабораторних експериментів, які відрізняються між собою: формою очисної камери і межею міцності на одноосьовий стиск. Кожен досвід повторювався 3-5 разів. Надійність

отриманих результатів при моделюванні на еквівалентних матеріалах за теоремою множення

ймовірностей незалежних подій визначалася за виразом

$$P = P_1 \times P_2 \times P_3 \dots P_n = \sum_{i=1}^n P_n \quad (6)$$

Згідно виконаним розрахунками вертикальний та горизонтальний тиск в моделі приймався відповідно 13,2 і 6,4 кг/см². Радіус склепіння у верхній частині очисної камери визначався за умовою стійкої граничної рівноваги по будь-якому майданчику. Умова стійкої граничної рівноваги описується законом Кулона і має вигляд

$$\tau_{xz} \geq \tau_0 + \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \rho, \quad (7)$$

де τ_{xz} - зсувні сили, т/м²; τ_0 - початкове опір зсуву, т/м²; σ_n - нормальне напруження на заданому майданчику, т/м²; ρ - кут внутрішнього тертя порід, град.

Значення координат плавно огинає кривої визначається інтегралом

$$y = -c \int \frac{x^{2k-1} dx}{(b^2 - x^2)^{r/2}}, \quad \begin{cases} k > 0,5; \\ 0 < r < 2. \end{cases} \quad (8)$$

Параметри очисної камери склепінної форми, максимально наближені до максимально-допустимої межі стійкої рівноваги визначаються за формулами

$$e^2 = 2 \cdot P_z \cdot h, \quad h^2 = 2 \cdot P_e \cdot e, \quad (9)$$

де h і b - вертикальна і горизонтальна піввісь кривої, м; P_z, P_e - радіуси максимально-допустимого сталого відповідно горизонтального і вертикального оголень очисної камери параболічної форми, м (згідно дослідно-промисловим випробуванням для умов Криворізького залізорудного басейну становлять $P_z=1-6$ м, $P_e=30-90$ м).

У лабораторну модель заковувався еквівалентний матеріал, який навантажували зовнішнім навантаженням визначеної з формули (4) з урахуванням масштабу моделювання (1). Через 3 доби, з боку задньої стінки вирізали еквівалентний матеріал, створюючи необхідну форму очисної камери і об'єм, а далі протягом 36 діб (що відповідає 12 міс. в натурі) спостерігали за поведінкою моделі. Згідно виразу (9) визначасмо параметри очисної камери. Вихідні дані моделювання наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Вихідні данні при моделюванні

Параметри очисної камери, см			Міцність руди	Радіус склепіння, см	Об'єм очисної камери, см ³
висота	довжина	ширина			
90	50	10	8	-	45000
90	50	10	10	-	45000
30	150	10	8	-	45000
30	150	10	10	-	45000
90	75/25	10	8	-	45000
90	75/25	10	10	-	45000
75	50	10	8	90/6	45000
75	50	10	10	90/6	45000

Результати моделювання стійкості очисних камери протягом їх існування від 12 діб (4 міс.) до 36 діб (12 міс.) приведені в табл. 3.

Після 15 діб спостерігалася сколювання еквівалентного матеріалу у верхній частині очисної камери прямокутної форми, та надання їй у верхній частині склепінної форми. Зі збільшенням часу існування очисної камери до 36 діб. форма компенсаційної камери приймає вигляд еліпсоїду, що підтверджують дослідження виконані Куликовим. Слід зазначити, що при зменшенні міцності гірського масиву з 10 до 8, обсяг очисної камери збільшився відповідно в 1,5-1,6 рази із збереженням її стійкості в часі до 12 міс. Після 18-30 діб залежно від межі міцності еквівалентного матеріалу спостерігається сколювання матеріалу не тільки у верхній частині, а й з боку її боків.

Дослідження очисної камери шатрової форми в процесі моделювання показали, що руйнування еквівалентного матеріалу по контуру камери проходить менш інтенсивно порівняно з камерами прямокутної форми. Слід зазначити, що після 30 діб камера шатрової форми приймає вигляд параболічної форми, а її обсяг, збільшується не більше ніж в 1,1-1,2 рази протягом 36 діб (1 року) існування.

Результати моделювання стійкості очисних камер

Об'єм очисної камери після її існування, діб (міс)				
12 (4)	18 (6)	24 (8)	30 (10)	36 (12)
45000	47000	58000	62000	68000
45000	45000	47000	55000	66000
48000	55000	67000	73000	80000
46000	54000	66000	72000	78000
45000	45000	47000	48000	50000
45000	45000	45000	46000	49000
45000	45000	45000	45000	45000
45000	45000	45000	45000	45000

Висновки та напрямок подальших досліджень. Очисна камера склепінної форми зберігає свою стійкість, а її руйнування відбувається лише у верхній її частині.

Лабораторними дослідженнями встановлено, що руйнівна сила, що діє з боків очисної камери, буде мінімальною.

Формування очисної камери склепінної форми підвищує стійкість камери без порушення еквівалентного матеріалу по її периметру. З табл. 3 видно, що протягом 36 діб камера склепінної форми збільшилася в обсязі не більше ніж в 1,1 рази.

У результаті проведених лабораторних досліджень із застосуванням еквівалентних матеріалів встановлено, що найбільш стійкими є очисні камери шатрової і склепінної форм, які забезпечують стійкість гірничому масиву протягом 36 діб або в натурі 1 рік.

Проведеними лабораторними дослідженнями встановлено, що при відпрацюванні запасів сформовані в масиві камери прямокутної форми будуть зруйновані протягом 6 міс.

Через 1,5 міс. відбувається незначне сколювання в середній частині вертикального цілика висячого боку. Після чого відбувається інтенсивне розшарування ціликів і після 16-17 міс. повне їх руйнування.

Формування камер шатрової або склепінної форми у верхній її частині забезпечують стійкість протягом 16-17 міс. При цьому, міцність порід в ціликах знижується з 125 МПа до 95-118 МПа.

Список літератури

1. <http://geonews.com.ua>.
2. <http://www.photoukraine.com>.
3. Пути совершенствования качества металлургического сырья на шахтах Кривбасса / **В.С.Гирин, Н.К.Кравцов, В.А.Витряк** // Разраб.рудн.месторожд. – Кривой Рог: КТУ. – 2000. – Вып. 70. – С. 10-13.
4. SWOT-анализ ОАО "КЖРК" – залог успешной работы железорудных шахт Кривбасса в условиях глобального рынка / **Письменный С.В., Б.Н.Андреев, Бровко Д.В., Кривошеин С.В., Петрик Н.Н.** // Форум гірників 2010: Материали між. конф. (21-23 жовтня 2010 р.). – Дніпропетровськ: НГУ, 2010. – С.189-193.
5. Современное состояние и перспективы развития предприятий по добыче и переработке железорудного и флюсового сырья в Украине / **В.А.Колосов, В.П.Воловик, Н.И.Дядечкин** // Горн.журн. – 2000. – №6. – С. 162-168.
6. Перспективы поддержания производственных мощностей шахт и карьеров Кривбасса/ **Б.Н.Андреев, С.В.Письменный, Д.В.Бровко**// Минск. – 2013. – С.115-120.
7. Комбіновані способи подальшої розробки залізрудних родовищ Криворізького басейну / **М.І.Ступнік, С.В.Письменный**// Гірничий вісник: науково-технічний збірник. Кривий Ріг, 2012. – Вип. 95(1). – С. 3-7.
8. Горная энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1987., Т.3, с. 372-373.
9. **Мартынов В.К., Кудрявцев М.С., Зайцев Н.М. и др.** К вопросу о переносе результатов моделирования выпуска руды на натуре // Разраб. рудн. месторождений. – К.: Техніка. – 1970. – Вып. 10. – С. 13.
10. **Ржевский В.В.** Физико-технические параметры горных пород. – М.: Наука, 1975.
11. **Насонов И.Д.** Моделирование горных процессов. – М.: Недра, 1978. – 256 с.
12. **Куликов В.В.** Выпуск руды. – М.: Недра, 1980. – 303 с.
13. **Корж В.А.** Эквивалентные параметры кусков обрушенной руды в блоке// Разраб. рудн. месторожд. – Кривой Рог: КТУ, 1996. – № 59. – С. 52-59.
14. **Именитов В.Р.** Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений. Учебное пособие для вузов, 3-е изд., пераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 504 с.
Рукопис подано до редакції 14.04.15

УДК 622.647.7+621.928.23+621.976.5

Ю.Г. ГОРБАЧОВ, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ НОВОГО ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

У роботі відзначено численні переваги вібраційних технологій та техніки в порівнянні з традиційними. Коливальні впливи, прикладені до твердих тіл, дисперсних середовищ, пульпи та рідин, надають їм нові різноманітні властивості, які примушують швидше та якісніше виконувати ті чи інші дії. Зроблено оцінку актуальності теми дослідження. На підставі аналізу науково-технічної інформації розглянуто аспекти використання вібраційних ефектів для інтенсифікації виробничих процесів в гірничій та гірничозбагачувальній промисловості, зокрема для обробки різноманітних дисперсних середовищ. Аналіз використання вібраційних ефектів в гірничозбагачувальній промисловості свідчить про те, що вібраційні машини застосовуються здебільшого для операцій переміщення, навантаження та грохочення насипних матеріалів (віброживильники, віброконвеєри, віброгрохоти). Зроблено висновок про значні перспективи розширення сфери застосування вібраційної техніки в підготовчих, основних та допоміжних процесах збагачення мінеральної сировини. Проведені дослідження довели можливість розробки нових конструкцій дробильно-помольного обладнання з вібраційними приводами, які забезпечують високі показники призначення та надійності, вібраційних машин для підвищення ефективності процесів гравітаційного збагачення у важких середовищах, віброустаткування для транспортування гірничої маси і продуктів її переробки, пульпи різних ступенів жорсткості, обладнання для радіометричного збагачення руди в рухомому рудопотоці, для вібраційної зміцнювальної обробки сирих окатишів, інтенсифікації випуску насипних матеріалів з різноманітних ємностей, полегшення процесу впровадження робочих органів гірничого та гірничозбагачувального обладнання в породу тощо. Практичне застосування переваг вібраційних технологій дасть можливість суттєво підвищити ефективність багатьох підготовчих, основних та допоміжних технологічних процесів збагачення.

Проблема та її зв'язок з науковими та технічними задачами. Бурхливий розвиток в останні десятиріччя вібраційних технологій та техніки, що їх використовує, пов'язаний із суттєвими перевагами, які вони забезпечують. Коливальні впливи, прикладені до твердих тіл, дисперсних середовищ, пульпи та рідин, надають їм нові різноманітні властивості, які примушують швидше та якісніше виконувати ті чи інші дії.

У гірничій промисловості за допомогою вібрацій з успіхом інтенсифікують різні виробничі процеси, отримують нові позитивні результати під час видобутку та переробки корисних копалин.

Проте величезна різноманітність способів та прийомів переробки сировини, що застосовуються при збагаченні корисних копалин, відкриває надзвичайно широке поле діяльності для вібрації, яке в багатьох випадках досі лишається незайманим. Тому пошук нових сфер прикладення вібраційних технологій в гірничо-збагачувальній галузі, розробка та впровадження нової техніки, що їх реалізує, є дуже важливим та актуальним науковим завданням.

Отже, актуальність теми роботи не викликає сумнівів.

Аналіз досліджень та публікацій. Як відомо, впливаючи на дисперсне середовище вібраціями різної інтенсивності, можна вибірково змінювати його властивості, причому часто в протилежних напрямках [1]. Наприклад, коливання з віброприскореннями, що не перевищують прискорення вільного падіння, але близькими до нього, підвищують рухомість часток насипного матеріалу, зменшують зазори між ними, ущільнюючи таким чином матеріал. Навпаки, при зростанні інтенсивності вібрацій, коли віброприскорення стають більше за g , частки матеріалу починають хаотично рухатися, зазори між ними збільшуються, тобто матеріал розпушується.

Такі різноманітні стани дисперсного середовища використовують як з метою щільного укладання насипних матеріалів під час навантаження їх в різного роду ємності, так і для змішування, транспортування, класифікації та інших супутніх їм операцій.

Аналіз використання вібраційних ефектів в гірничозбагачувальній промисловості свідчить про те, що вібраційні машини застосовуються здебільшого для операцій переміщення, навантаження та грохочення насипних матеріалів (віброживильники, віброконвеєри, віброгрохоти) [1-4]. Їх подальше удосконалення йде в основному в таких напрямках [5-9]:

створення нових конструкцій віброприводів з регульованими параметрами вібрації (амплітудою, частотою, величиною та напрямком дії змушеного зусилля) з метою реалізації найбільш раціональних режимів роботи в умовах експлуатації, що змінюються;

розробка віброприводів, які забезпечують повільне проходження машини через резонансну зону в перехідних режимах роботи (під час розгону та вибігу) з метою зниження навантажень на корпусні конструкції та підшипникові вузли;

створення блокових уніфікованих конструкцій віброприводів для агрегатного використання на робочих органах вібромашин значної площі;

підвищення надійності машин в цілому та віброприводів зокрема, особливо їх підшипникових вузлів, які здебільшого визначають довговічність вібротехніки;

створення ефективних елементів віброізоляції і цілком врівноважених вібромашин для зниження динамічних навантажень на фундаменти та інші несучі конструкції.

Проте можливості для використання вібраційних технологій з метою підвищення ефективності процесів збагачення мінеральної сировини цим, на наш погляд, далеко не вичерпуються. Існує багато операцій підготовчих, основних та допоміжних процесів збагачення, де вони можуть забезпечити отримання нових позитивних результатів, підвищити продуктивність роботи, поліпшити умови праці обслуговуючого персоналу.

Постановка завдання. Метою роботи є аналіз можливостей та оцінка перспектив використання вібраційних ефектів для створення нового гірничозбагачувального обладнання.

Викладення матеріалу і результати. Без сумніву, недостатнім є рівень впровадження нових, прогресивних конструкцій дробильно-помольного устаткування, що використовує вібраційні ефекти. Наприклад, шоківі та конусні дробарки традиційних конструкцій, які широко застосовуються в гірничій промисловості, досить вразливі в ситуаціях потрапляння до них сторонніх металевих предметів, а їх запуск під навантаженням або зовсім неможливий, або пов'язаний із значними пусковими моментами і потребує додаткових суттєвих витрат енергії. У той же час для дробарок, оснащених вібраційними приводами інерційного типу, таких проблем просто не існує. Відсутність кінематичних зв'язків між робочими елементами інерційних віброприводів (дебалансами) та дробильними щоками (конусами) захищає ці приводи від поламок під час різкого зростання навантажень у випадку потрапляння предметів, які не дробляться. Що ж стосується запуску подібних конструкцій під навантаженням, то такий режим не лише є цілком можливим, але й взагалі може вважатися штатним. Крім того, висока частота коливань вібраційних щік чи конусів забезпечує підвищення ступеня дроблення у порівнянні зі звичайними конструкціями та захищає від налипання на них в'язких матеріалів. При цьому скорочуються питомі витрати енергії на одиницю ступеня дроблення, з'являються можливості створення цілком врівноважених конструкцій, що не потребують масивних фундаментів [1]. Дуже великі перспективи мають також вібраційні конструкції помольного обладнання, які поки що, на жаль, не отримали належної уваги в гірничозбагачувальній промисловості. Проте вони можуть забезпечити суттєве скорочення витрат металу та інших матеріалів, а також необхідних виробничих площ в порівнянні з традиційними кульовими та стрижневими млинами з обертовими камерами тієї ж потужності [10].

Значні можливості використання вібраційних ефектів в основних процесах збагачення. Наприклад, вплив коливань певних режимів на рідини викликає змінення їх питомої ваги, що може бути застосовано в процесах важкосередовищного гравітаційного збагачення.

Для залізної руди Криворізького басейну вельми актуально використання радіометричних методів сепарації, зокрема гамма-абсорбційного. Справа в тім, що при просвічуванні шматків руди гамма-випромінюванням будь-якого радіоактивного джерела вони послаблюють його інтенсивність (поглинають певну частину випромінювання) пропорційно вмісту заліза в них. Завдяки цьому з'являється реальна можливість контролю цих шматків з метою виявлення екземплярів як дуже високої якості (які не потребують збагачення і придатні до безпосереднього металургійного переділу), так і відверто бідних, які слід відправити у відходи. Така операція найбільш доречна до збагачувальної фабрики у вигляді контролю рудопотоку, що поступає з шахти чи кар'єру. Для суттєвого звуження його обсягу (тобто для скорочення числа контрольованих шматків) можна використати ще одну корисну в даному випадку якість криворізької руди. В ній, як правило, більш бідні представники зосереджені у великих фракціях рудопотоку і навпаки. Це пояснюється тим фактом, що шматки багатих руд не такі міцні і в результаті численних перевантажень в процесі транспортування від очисного вибою до збагачувальної фабрики руйнуються швидше, ніж більш міцніші бідні руди і породи. Тому цілком можливо відділення від загального рудопотоку фракції, скажімо, -200 мм (вона спрямовується далі на збагачувальну

фабрику) і контроль решти рудопотоку (фракції +200 мм; її в його загальному обсязі приблизно 10-15%) описаним вище методом. Кондиційні шматки також відправляються на збагачення, а некондиція - у відходи. Для розділення загального рудопотоку спочатку на ці дві фракції, а потім фракції +200 мм на необхідну кількість паралельних потоків для подальшого радіометричного контролю кожного шматка добре підійдуть вібраційні установки, а саме: спеціального типу грохот і робочий орган сепаратора [11].

Надзвичайно неоглядні можливості застосування вібрації в допоміжних процесах збагачувального виробництва.

Величезною проблемою в усіх без винятку галузях господарства є ускладнений випуск насипних матеріалів з ємностей. І особливо вона актуальна для дробильних, збагачувальних, агломераційних, огрудкувальних та брикетних фабрик. Ці виробництва, як правило, представляють собою лінії послідовно встановленого технологічного обладнання, сполученого транспортними засобами та проміжними ємностями (бункерами) для зберігання, накопичення, усереднення мінеральної сировини та продуктів її переробки. Крім того, бункери відіграють роль акумуляційних ємностей, що згладжують невідповідності в темпах роботи устаткування, яке вони з'єднують, шляхом створення резервів часу. Ці резерви можуть бути використані на відновлення працездатності машин, що вийшли з ладу, без зупинки решти технологічного обладнання. Це значно підвищує рівень надійності виробництва в цілому.

Проте, як вже було зауважено, випуск насипних матеріалів з ємностей суттєво ускладнюється через їх злежування та ущільнення під дією тиску вище лежачих шарів матеріалу, утворення зависань та склепінь в районі випускних отворів. При випуску вологих матеріалів та таких, що схильні до налипання (особливо в зимових умовах, коли температура навколишнього середовища падає нижче нуля), ці проблеми зростають багаторазово. Незважаючи на величезну кількість існуючих технічних рішень, спрямованих на інтенсифікацію процесу випуску насипних матеріалів з ємностей, в тому числі за допомогою вібраційних засобів обвалення зависань та зводів [12], проблема досі далека від вирішення і розробка нових, по-справжньому ефективних засобів вібраційного спонукання випуску лишається дуже важливою та актуальною.

Що стосується транспортних механізмів згаданих підприємств, то провідну роль тут відіграють стрічкові конвеєри. Надійність цього обладнання визначається головним чином надійністю стрічки та роликкоопор, а вони залежать від правильної їх експлуатації і, не в останню чергу, від раціональності організації процесів завантаження та розвантаження конвеєрів. І тут вібраційні конструкції можуть забезпечити найкращі умови реалізації цих процесів. Мова йде про вібраційні завантажувальні та розвантажувальні пристрої, засоби для вібраційного очищення стрічки від налипливого матеріалу тощо.

Хороші перспективи розширення використання вібрації для полегшення транспортування пульпи (особливо з високим ступенем жорсткості) по трубопроводах. Практичний досвід застосування таких вібраційних установок для транспортування закладних сумішей свідчить про те, що певні режими коливань трубопроводів суттєво знижують опори руху ними пульпи (за рахунок зменшення коефіцієнтів тертя у пристінних шарах) і дають можливість в декілька разів збільшити відстань самопливного переміщення пульпи в горизонтальній ділянці трубопроводу під дією тиску підпору у вертикальній [13]. Отже, вібрації забезпечують суттєве зниження витрат енергії на транспортування пульпи.

Взагалі, спроможність коливань певних параметрів зменшувати коефіцієнти тертя між частками насипного матеріалу, а також між ними та елементами вібраційної машини чи її робочого органу використовується далеко не в тому ступені, якого вона заслуговує. Добре відомо, наприклад, що впровадження ковшів навантажувальних машин та екскаваторів у штабелі гірничої маси, бурильного інструменту в породу значно полегшується за умови їх вібрування [1].

Цей ефект може бути з успіхом використаний на багатьох установках збагачувальних фабрик та фабрик окускування руд і концентратів. Мова йде про різного роду змішувачі (роторні, шнекові), гвинтові конвеєри та інші подібні машини, в яких робочі органи змушені долати значні опори дисперсного середовища. Останнім часом для порід із агломерацією та огрудкуванням залізвмісних матеріалів все ширше використовується такий спосіб окускування, як брикетування, що раніше застосовувався лише для вугілля. Процес пресування рудної брикетної шихти без зв'язуючих домішок потребує вельми значних тисків, для зниження яких доречно попереднє ущільнення (підпресування) матеріалу. Для такої операції використовуються різні пристрої, є досвід

застосування і вібраційних [14]. Подальша розробка та удосконалення подібних конструкцій мають хороші перспективи.

І, нарешті, така дуже перспективна можливість використання переваг вібраційних технологій як вібраційна зміцнювальна обробка сирих окатишів. В огрудкувальному виробництві окатиші отримують на барабанних або чашкових огрудкувачах. Проте, гранули, що сходять з них, погано пристосовані для подальшого тривалого зберігання, транспортування та використання внаслідок високої вологості і низької міцності. Тому вони підлягають зміцнювальному випалу або іншим подібним операціям. Але шлях від огрудкувача до випалювальної печі пов'язаний із численними переважними операціями, падіннями та ударами сирих окатишів і, незважаючи на теоретичні вимоги до міцності в сирому вигляді, яка має забезпечити їх цілісність на цьому шляху, на практиці все не так ідеально і багато гранул цей процес не витримують. Утворюється значна кількість бою, який потрібно повертати знову в операції підготовки і власне огрудкування. Отже, проблема недостатньої міцності сирих окатишів цілком реальна і потребує ефективного технічного рішення. З огляду, вона може бути з успіхом вирішена з використанням вібраційних технологій.

У машинобудуванні широке розповсюдження отримали прийоми поверхневого зміцнення сталевих деталей шляхом багаторазових ударних впливів відповідних інструментів або оброблювальних тіл. У результаті такого так названого наклепу на поверхні деталі утворюється щось на кшталт зміцненої оболонки невеликої товщини, яка добре опирається процесам абразивного зношення, корозії та явищу втомленості металу. За аналогією така обробка може суттєво зміцнити сирій окатиш, що доведено відповідними експериментальними дослідженнями [15].

На поверхні гранули, оброблені численними ударами під час її транспортування з перекошенням по вібраційній площині зміцнювальної установки утворюється міцна кірка, яка перешкоджає діям руйнівальних впливів на шляху до печі. Крім того, вібраційна обробка сирого окатиша витісняє зайву вологу з його середини на поверхню, що зменшує небезпеку розриву гранули в печі в результаті швидкого нагріву і перетворення внутрішньої вологи на пару. Зміцнювальна вібраційна обробка підвищує міцність як сирого, так і випаленого окатиша, суттєво зменшує утворення дріб'язку при виробництві гранул.

Висновки і напрямки подальших досліджень. Викладений матеріал переконливо свідчить на користь доцільності розширення галузей використання вібрацій в гірничозбагачувальному виробництві. Практичне застосування переваг вібраційних технологій дасть можливість суттєво підвищити ефективність багатьох підготовчих, основних та допоміжних технологічних процесів збагачення.

Список літератури

1. Гончаревич І.Ф. Вибротехника в горном производстве. – М.: Недра, 1992, - 319 с.
2. Гончаревич І.Ф., Гудушаури Э.Г. Некоторые аспекты современного развития вибрационной техники / Проблемы машиностроения и надежности машин. – М.: 2008, №5, - с. 116-120.
3. Потураев В.Н. Вибрационная техника и технологии в энергоемких производствах. – Дн-ск: НГА Украины, 2002, - 190 с.
4. Іскович-Лотоцький Р.Д., Обертюх Р.Р., Севостьянов І.В. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій. – Вінниця: Універсум, 2006, - 291 с.
5. Blechman I.I., Blechman L.I., Vaisberg L.A., Ivanov K.S. Revisiting the models of vibration screening process / Vibroengineering PROCEDIA, 2014, V. 3, PP. 169-174.
6. Blechman I.I., Sorokin V.S. On the separation of fast and slow motions in mechanical systems with high-frequency modulation of the dissipation coefficient / Journal of sound and vibration, 2010, T. 329, №23.
7. Рагульскис К. Вибротехника 50. – Каунас: Vibroengineering, 2013, - 204 с. (на лит. яз.).
8. Яцун С.Ф., Сафаров Д.И., Мищенко В.Я., Локтионова О.Г. Вибрационные машины и технологии. – Баку: 2004, - 408 с.
9. Вопросы вибрационных технологий / Межвуз. сб. научн. статей. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2001, - 166 с.
10. Лесин А.Д. Современное помольное оборудование. Вибрационные мельницы. Обзорная информация. – М.: 1989. – 98 с.
11. Kawarma I., Kalnitski A., Gorbachov Y., Kondratenko V. Ocena wydajności systemu transportowego “podajnic – wibrazyjnyqdstawa” w podziemnych kopalniach rud / Prace Naukowe Inatytuty Gornictwa Politechniki Wroclawskiej/ - Wroclaw: 1990, nr. 12, pp. 173-176.
12. Варсанюфьев В.Д. Вибрационные бункерные устройства на горных предприятиях. – М.: Недра, 1984.
13. Байконуров О.А., Мельников В.А., Кунакбаев Ш.У. и др. Перспективы применения вибросамотечного трубопроводного транспорта твердеющей закладки. – Горн. журн., 1980, №5. – с. 20-22.
14. Равич Б.М. Брикетирование руд. - М.: Недра, 1982. – 183 с.
15. А.с. 1617962 (СССР) Линия для производства железорудных окатышей / И.И. Каварма, А.М. Кальницкий, В.Ф. Кондратенко, Ю.Г. Горбачев, А.Л. Мондрус, Н.Н. Кумченко. - 1992.

Рукопис подано до редакції 17.04.15

УДК 681.51:622.788

В.Й. ЛОБОВ, канд. техн. наук, доц., К.В. ЛОБОВА, студентка,
Криворізький національний університет

САК РІВНОМІРНОСТІ НАГРІВУ ШАРУ ОБКОТИШІВ НА КОНВЕЄРНІЙ ВИПАЛЮВАЛЬНІЙ МАШИНІ

Проведення досліджень в області створення ефективних методів та засобів автоматизації процесу обпалу обкотишів на конвеєрній опалювальній машині є актуальною задачею. Для вирішення цієї задачі запропонована структура САК рівномірності нагріву поверхні шару обкотишів, в якій використовується плавне керування витратами природного газу на кожному із основних пальників. Одночасно для їх запуску застосовують полум'я пілотних пальників, що функціонують за принципом бінарного керування (увімкнено, вимкнено). Дросельними заслінками, що приводяться у рух синхронними сервоприводами регулюються витрати газу на основних пальниках. Як показали дослідження, використання таких виконавчих механізмів із управлінням за зворотним від'ємним зв'язком дозволяє точно визначати положення регулюючих органів. Для керування подачею природного газу на пілотні пальники достатньо використати клапани з електромагнітними приводами, що здатні займати лише два фіксовані положення.

Принцип роботи САК полягає у підтриманні температури заданих точок поверхні шару обкотишів на заданому користувачем рівні. Контроль температури ведеться на основі даних, отриманих з чотирьох опорних точок поверхні обкотишів. В основу розглянутого проекту автоматизації АСУ ТП покладені функціональна схема керування процесом обпалювання обкотишів, оновлена матеріально-технічна база існуючої системи регулювання, в якій використовуються сучасні первинні перетворювачі, великі інтегральні схеми, спеціалізовані контролери та інша елементна база.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Внаслідок спалювання природного газу на конвеєрній опалювальній машині змінюється температура нагріву шару обкотишів, так як на цей процес впливає кількість виділеної теплоти. За рахунок потоку теплого повітря, що надходить до зони обпалювання із зон рекуперації та охолодження, теплота від згоряння газу повинно рівномірно поширюється по всьому шару обкотишів. Однак, при роботі пальників існує ймовірність нерівномірного нагріву обкотишів, адже зони, що знаходяться під безпосереднім впливом пальників, отримують більше тепла, ніж центральна частина шару обкотишів. Подібна ситуація також виникає і при нерівномірній газопроникності шару обкотишів або при зміні швидкості переміщення палет опалювальної машини, тощо [1-3]. Окрім цього, при автоматизації процесу обпалювання залізрудних окислених обкотишів у печі конвеєрній опалювальній машині актуальною є також проблема економії енергоресурсів, оскільки витрати на паливо суттєво впливають на собівартість готової продукції.

Найпростіші способи економії енергоресурсів - це зменшення теплопровідності вогнетривких матеріалів, зниження їх теплової інерції, тощо. В цьому напрямі значну роль відіграло використання в тепло відгороджувальних конструкціях волокнистих матеріалів та виробів на їх основі. За останні 30 років у цьому напрямі було зроблено достатньо суттєвих відкриттів. Зменшити витрати палива дозволяє також використання сучасних пальників і систем регулювання, в яких передбачена можливість активної рециркуляції продуктів згоряння та вирівнювання температурного поля печі з відносною похибкою до 5 °С.

Особливо ефективним є комплексне вирішення питання - заміна традиційної шамотної цегли виробами на основі волокна, встановлення радіаційно-конвективних рекуператорів і використання сучасних пальників із автоматизованою системою регулювання подачі палива. Комплекс таких рішень дозволяє не лише зменшити витрати палива на 20-25 %, але й збільшити продуктивність теплового агрегату до 20 %. Проміж тим, використання високотемпературних волокон та виробів на їх основі, що здатні витримувати високі температури (до 1500°С) та мати низьку теплопровідність, дозволила створити принципово нові конструкції печей, а застосування сучасних первинних перетворювачів, великих інтегральних схем, мікропроцесорів, спеціалізованих контролерів та іншої елементної бази, дають можливість оснастити конвеєрні опалювальні машини новітніми системами автоматичного керування (САК).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасний стан автоматизації конвеєрної опалювальної машини не дає у повній мірі визначити основні термічні режимів роботи [3,4]. Складність зняття реальних показників температурного режиму обпалення у шарі обкотишів не дозволяє отримати контрольовані дані, які можуть бути використані для введення у САК процесів термічної обробки обкотишів на конвеєрній опалювальній машині. На сьогодні активно прово-

дяться дослідження в області створення ефективних методів та засобів, що дозволять вирішити дану проблему [1-10].

Постановка завдання. Метою роботи є необхідність обґрунтування і розробка САК, яка забезпечує рівномірність нагріву шару обкотишів вздовж ширини конвеєрних палет у печі.

Викладення матеріалу та результати. У запропонованій САК використовуємо плавне керування витратами природного газу на кожному із основних пальників. Для їх запуску застосовують полум'я пілотних пальників, що функціонують за принципом бінарного керування (увімкнено, вимкнено). Витрати газу на основних пальниках (надалі просто пальники) регулюються дросельними заслінками, що приводяться у рух синхронними сервоприводами [11]. Використання виконавчих механізмів із управлінням за зворотним від'ємним зв'язком дозволяє точно визначати положення регулюючих органів. Для керування подачею природного газу на пілотні пальники достатньо використати клапани з електромагнітними приводами, що здатні займати лише два фіксовані положення.

Принцип роботи САК полягає у підтриманні температури заданих точок поверхні шару обкотишів на визначеному користувачем рівні. Контроль температури ведеться на основі даних, отриманих з чотирьох опорних точок поверхні обкотишів. На практиці для зчитування температури доцільно використовувати пірометри часткового випромінювання «Термоскоп-600-1С» [12]. Опорні точки обираються рівномірно розподіленими вздовж лінії, що сполучає центри зон безпосереднього впливу обох пальників, причому крайні дві розташовуються на відстані від боків конвеєру для запобігання впливу на покази пірометрів температур бічної постелі.

На рис. 1, а наведено схематичне розташування опорних точок 1-4 на поверхні досліджуваної ділянки шару обкотишів.

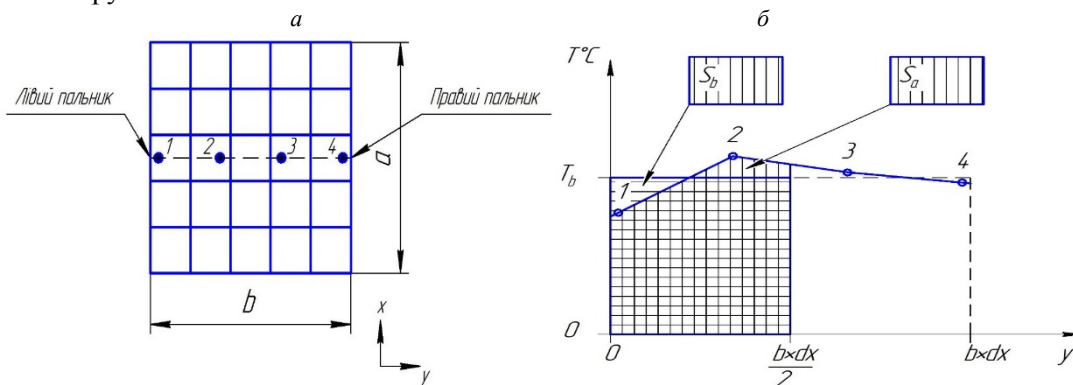


Рис. 1. Розташування опорних точок на поверхні досліджуваної ділянки шару обкотишів a і представлення бажаного та виміряних значень температур обкотишів у зоні впливу лівого пальника у вигляді площ S_a та S_b б

Вхідною величиною САК є бажане значення температури в опорних точках. Вихідними величинами виступають виміряні за допомогою пірометрів температури в опорних точках поверхні шару обкотишів.

Структурна схема досліджуваної моделі САК наведена на рис. 2а. У наведеній структурній схемі як об'єкт керування вибрано модель розподілу температур у шарі обкотишів, що описана у [13], однак на практиці дане місце займатиме реальний об'єкт керування. На вхід САК подається бажане значення температури, що задовольняє технологічним умовам обпалювання обкотишів. Керуючий елемент порівнює отримані з вимірювального елемента значення температур в опорних точках із бажаним та формує керуючі сигнали, що несуть у собі інформацію стосовно змін витрат природного газу на лівому та правому пальниках.

Відповідно до них виконавчі механізми, представлені синхронними сервоприводами, плавно змінюють положення регулюючих органів (дросельних заслонок) на кожному з пальників, що спричинює зміни витрат газу.

Для забезпечення оптимального співвідношення «повітря-газ» в залежності від витрат природного газу регулюється надходження повітря до форкамер та безпосередньо до самих пальників.

На структурній схемі блок розрахунку пропорцій «повітря-газ» не зображений, адже в моделі об'єкту керування вважається, що повітря надходить в оптимальній для повного згоряння палива кількості.

У результаті згоряння палива на виході об'єкту керування формується температурне поле, окремі значення якого фіксуються вимірювальним елементом (групою з чотирьох пірметрів).

Результати вимірювання повторно надсилаються до керуючого елемента. САК має два незалежні контури керування для лівого та правого пальників, у кожному з яких окремо регулюються витрати природного газу. Для забезпечення стійкості перехідних процесів у контурах керування використовуються ПІД-регулятори.

На структурній схемі регулятори не винесені в окремі блоки, а вважаються складовими частинами загального керуючого елемента. Функціональну схему САК рівномірності нагріву шару обкотишів наведено на рис. 2б.

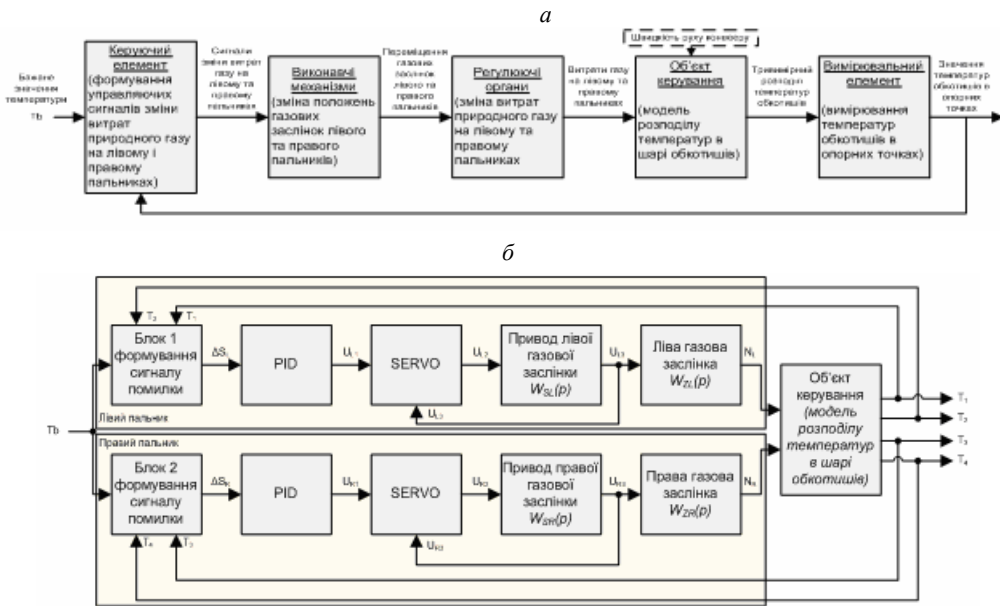


Рис. 2. Структурна *a* і функціональна *б* схеми САК рівномірності нагріву шару обкотишів

Керуючі сигнали в обох контурах керування формуються на основі значень температур опорних точок: T_1, T_2 - в контурі керування лівого пальника, T_3, T_4 - у контурі керування правого пальника. Бажане значення температури поверхні шару обкотишів задається на вході САК величиною T_b [°C]. Оскільки в розроблюваній системі контури керування кожним пальником є однаковими та незалежними один від одного, то детально розглянемо лише формування витрат природного газу на лівому пальнику.

Для визначення помилки регулювання температури обкотишів у зоні безпосереднього впливу лівого пальника необхідно обчислити різницю між бажаним та вимірним значеннями температури. З цієї причини представимо останні у вигляді площ фігур, що наведено на рис. 1б.

Фігура обмежена осями координат T та y , а також прямими $T=T_b$ та $y=b \cdot dx/2$ має площу S_b , значення якої пропорційне бажаній температурі обкотишів. Відповідно до вимірних температур в опорних точках 1 та 2, координати яких по осі y відомі наперед, обчислюється значення площі S_b . Значення помилки роботи системи ΔS_L розраховується за формулою (1)

$$\Delta S_L = S_a - S_b \quad (1)$$

Варто зазначити, що у випадку рівності ΔS_L нулевій, температури в опорних точках 1 та 2 не обов'язково відповідають бажаному значенню, оскільки при обчисленні площі S_a нестача температури в точці 1 компенсується її надлишком в точці 2 та навпаки. Однак у такому випадку витрати природного газу залишаються незмінними, адже нерівномірність температурного поля самостійно виправиться за рахунок теплообміну.

На основі значення помилки регулювання ΔS_L ПІД-регулятор формує керуючий сигнал U_{L1} , що надходить на вхід блоку SERVO, який на практиці виступає складовою частиною синхро-

ного сервоприводу, однак для наочності в схемі він винесений окремим блоком. SERVO формує кут повороту осі електроприводу U_{L2} , значення якого вимірюється в радіанах та змінюється в межах, що здатні забезпечити діапазон зміни ступеня відкритості заслонки U_{L3} від 0 до 100%.

В основі зміни кута повороту лежить принцип трьох позиційного регулювання [15]. У блоці SERVO використовується керування за зворотним від'ємним зв'язком, а тому для його коректної роботи необхідно отримувати значення ступеня відкритості заслінки U_{L3} .

Відповідно до змін кута повороту U_{L2} електропривод газової заслінки лівого пальника змінює її положення. Передаточна функція приводу $W_{SL}(p)$ описується коливальною ланкою. Оскільки при реалізації розробленої САК в середовищі Simulink привод задається окремим блоком із вбудованої бібліотеки, то немає необхідності наперед обчислювати параметри його передаточної функції. Вихідною величиною блоку електроприводу є ступінь відкритості заслінки, що визначається величиною U_{L3} та вимірюється у відсотках (100% - максимальна пропускна спроможність дросельної заслонки).

Передаточна функція газової заслінки лівого пальника $W_{SL}(p)$ може бути представлена у вигляді пропорційної ланки з коефіцієнтом підсилення, що відповідає її максимальній пропускній спроможності. Відповідно до значення величини U_{L3} на виході блоку заслонки формуються витрати природного газу N_L , $\text{м}^3/\text{год}$.

Подібним чином відбувається формування значення витрат газу на правому пальнику N_R . Однак в цьому випадку для обчислення помилки роботи системи використовуються температури T_3, T_4 . Сформовані витрати природного газу N_L та N_R надходять на вхід об'єкту керування, що представлений розробленою раніше моделлю розподілу температур в шарі обкотишів [13].

На виході об'єкту керування отримуємо значення температур в чотирьох опорних точках (рис. 1) T_1, T_2, T_3, T_4 . Для визначення зміни температури на кінець інтервалу часу dt кожного блоку шару обкотишів, що знаходяться в зонах безпосереднього впливу лівого або правого пальників необхідно використати формули

$$\Delta T_L = \frac{Q_{KL}}{c_o \cdot m_o \cdot n_e} = \frac{K_e \cdot KKД_{\text{п}} \cdot N_L \cdot q_2 \cdot dt}{c_o \cdot m_o \cdot n_e}$$

$$\Delta T_R = \frac{Q_{KR}}{c_o \cdot m_o \cdot n_e} = \frac{K_e \cdot KKД_{\text{п}} \cdot N_R \cdot q_2 \cdot dt}{c_o \cdot m_o \cdot n_e}$$

де c_o, m_o - питома теплоємність і маса блоку.

В залежності від швидкості руху конвеєрних палет позиції вибраних для дослідження горизонтальних рядків поступово переміщуються від початку до кінця газоповітряної камери.

Графік зміни у часі розподілу температур вздовж ширини конвеєрної стрічки на поверхні шару обкотишів у межах досліджуваної газоповітряної камери надано на рис. 3.

Висновок. Розроблена САК призначена для контролю рівномірності нагріву поверхні шару обкотишів вздовж ширини конвеєрних палет у печі в межах однієї газоповітряної камери.

Система представлена двома незалежними контурами керування для лівого та правого пальників, у кожному із яких окремо контролюються витрати природного газу.

Методика розрахунку величини помилки регулювання температури обкотишів виконана на основі її геометричної інтерпретації. Для забезпечення стійкості перехідних процесів використано ПД-регулятори.

В якості вимірювальних елементів запропоновано використовувати систему із чотирьох пірометрів часткового випромінювання «Термоскоп-600-1С».

В розробленій САК використано плавне керування витратами природного газу на основних пальниках та бінарне керування - на пілотних.

Регулюючі органи представлені дросельними заслінками. В якості виконавчих механізмів запропоновано використовувати синхронні сервоприводи.

В основу зміни кута повороту осі приводу покладено принцип трьох позиційного регулювання.

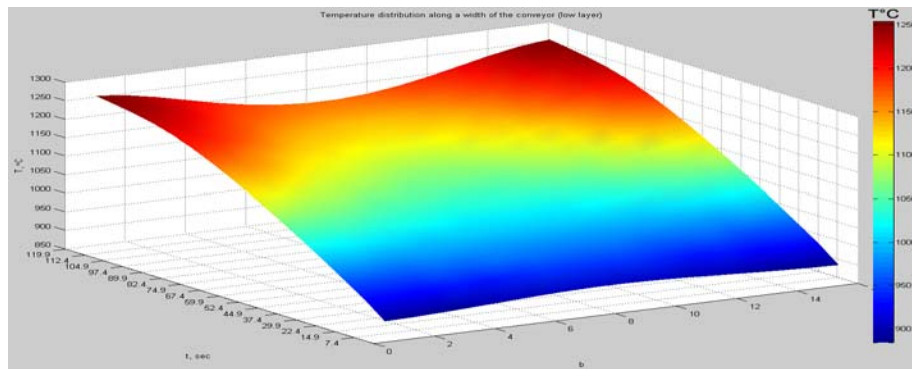


Рис. 3. Графік зміни у часі розподілу температур вздовж ширини конвеєрної стрічки на поверхні шару обкотишів у межах досліджуваної газоповітряної камери

Список літератури

1. Интеллектуализации управления: Монография / **Ю.И. Ерёмченко, Л.М. Боева, Л.А. Кузнецов, В.Б. Крахт.** – Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2005. – 408 с.
2. Повышение эффективности АСУ горно-металлургического производства на основе **Буткарев А.П.** Математические модели для управления процессом производства окатышей на конвейерной машине / **А.П. Буткарев, А.А.**
3. **Буткарев Г.М. Майзель, Е.В. Некрасова** // Сталь. – 2000. – № 3. – С. 10-13. Интенсификация производства и улучшение качества сырых окатышей / **Ю.С. Юсфин, Н.Ф. Пашков, Л.К. Антоненко.** – М.: Metallurgiya, 1994. – 240 с.
4. **Буткарев А.А.** Методология исследования и оптимизации конструктивных и режимных параметров тепло-технических схем обжиговых конвейерных машин для термообработки железорудных окатышей с целью повышения производительности, снижения расхода топлива и электроэнергии / **А.А. Буткарев** // Печные агрегаты и энергосберегающие технологии в металлургии и машиностроении: труды IV международной научно-практической конференции (3-4 апреля 2008 г., МИСиС). – Москва, 2008. – С. 90.
5. **Цаплин А.И.** Моделирование теплофизических процессов и объектов в металлургии: учеб. пособие / **А.И. Цаплин, И.Л. Никулин.** – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. унив., 2011. – 299 с.
6. **Пирматов Д.С.** Повышение эффективности управления обжигом окатышей в конвейерной обжиговой машине [Текст] / **В.А. Кривонос, Д.С. Пирматов** // Материалы научно-технической конференции информационные технологии в металлургии и машиностроении. Днепропетровск, 26-28 марта 2013 г. - Днепропетровск: НацМетАУ, 2013. - С.50-52.
7. **Боковиков Б.А.** Математическое моделирование динамики процесса обжига окатышей на конвейерной машине / **Б.А. Боковиков, В.М. Малкин, М.И. Найдич** // Металлургическая теплотехника. – 2002. - № 8. – С. 25-31.
8. **Рубан С.А., Лобов В.Й.** Розробка принципів керування температурним режимом процесу випалювання котунів з використанням прогнозуючих ANFIS-моделей [Текст] // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. – 2008. – С. 69-74.
9. **Пирматов Д.С.** Математическая модель тепловой обработки окатышей в обжиговой машине [Текст] // Сборник трудов всероссийской конференции: Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве НТ-2010. – Воронеж, 2010. – С. 88-89.
10. **Рубан С.А.** Комп'ютерне моделювання алгоритму оптимального керування температурним режимом випалювання котунів з використанням прогнозуючих ANFIS-моделей / **С.А. Рубан, В.И. Лобов** // Вісник КТУ: зб. наук. праць. –Кривий Ріг: КТУ, 2008. – Вип. 21. – С. 150
11. Електронний ресурс: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Сервопривод>.
12. Електронний ресурс: <http://www.infratest.ru/product/fixed/15.html>.
13. **Лобов В.Й., Котляр М.О.** Моделювання розподілу температур у шарі залізорудних обкотишів газоповітряної камери в конвеєрних печах фабрики огрудкування //журнал "Научный вестник Национального горного университета"– 2015. – № 2.

Рукопис подано до редакції 17.04.15

УДК 622.79: 622.793

Т.А. ОЛІЙНИК, д-р техн. наук, проф., Л.В. СКЛЯР, канд. техн. наук, доц.,
М.О. ОЛІЙНИК, аспірант, П.С. ДРОЖЕВСЬКА, магістрант
Криворізький національний університет

ОБГРУНТУВАННЯ МЕХАНІЗМУ ЗАКРІПЛЕННЯ АНІОННОГО ФЛОКУЛЯНТУ НА ПОВЕРХНІ ЧАСТОЧОК ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ ПАТ «ПІВНГЗК»

Сьогодні досить актуальним технічним та екологічним завданням є зменшення об'єму відходів гірничо-збагачувальних підприємств, які щорічно складаються в хвостосховища. Виходом з цієї ситуації може бути скорочення об'ємів відходів збагачення руд на ГЗК за рахунок зменшення в них вмісту вологи. Для швидкого і повного виходу вологи з тонко-дисперсних суспензій, до яких відносяться відходи збагачувальних фабрик, їх доцільно обробляти реагентом-флокулянтном. У зв'язку з цим обгрунтування нових режимів флокуляції тонкодисперсної сировини за рахунок застосування аніонних та катіонних флокулянтів для скорочення об'ємів хвостосховищ та очищення стічних вод ПАТ «ПІВНГЗК» є актуальним практичним завданням. У роботі приведено результати розробки технології згущення відходів збагачення магнетитових кварцитів ПАТ «ПІВНГЗК» для цього був проведений підбір оптимального флокулянта, що проводився в лабораторних умовах за загальноприйнятою. Підбір оптимального флокулянта проводився в лабораторних умовах за загальноприйнятою методикою в стандартних циліндрах, по кінетиці відстоювання після етапів змішування і утворення пластівців. Вивчалась флокулююча дія слабо-аніонного Magnafloc338. Вивчення процесу утворення флокулу проводилось на хвостах ПАТ «ПІВНГЗК». Лабораторні дослідження суспензії відходів показали, що вміст твердих домішок склав 10195 мг/л. В результаті проведених досліджень встановлено, що для осадження мінеральних частинок у суспензіях відходів без флокулянта необхідно до 50 хв., а з флокулянтном для осадження мінеральних частинок достатньо 3 хв.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сьогодні досить актуальним технічним та екологічним завданням є зменшення об'єму відходів гірничо-збагачувальних підприємств, які щорічно складаються в хвостосховища.

Вода хвостосховищ характеризується високим рівнем мінералізації (до 10-12 г/л) і підвищеним вмістом важких металів. Унаслідок того, що хвостосховища підіймаються над місцевістю, відбувається постійна міграція різних мінеральних включень та важких металів у ґрунтові води прилеглих територій. Одночасно має місце значне перевантаження хвостосховищ технічною суспензією, що може призвести до прориву дамби та затоплення прилеглих територій промисловою суспензією, тобто до екологічної катастрофи. Виходом з цієї ситуації може бути скорочення об'ємів відходів збагачення руд на ГЗК за рахунок зменшення в них вмісту вологи. Для швидкого і повного виходу вологи з тонко-дисперсних суспензій, до яких відносяться відходи збагачувальних фабрик, їх доцільно обробляти реагентом-флокулянтном [1].

У зв'язку з цим обгрунтування нових режимів флокуляції тонко-дисперсної сировини за рахунок застосування аніонних та катіонних флокулянтів для скорочення об'ємів хвостосховищ та очищення стічних вод ПАТ «ПІВНГЗК» є актуальним практичним завданням.

Аналіз досліджень і публікацій. Під флокуляцією необхідно мати на увазі агрегацію частинок, що спричинюється поверхнево-активними речовинами і супроводжується гідрофобізацією поверхні частинок (або, принаймні, частини її) [2].

В рідких дисперсних системах (золях, суспензіях, емульсіях, латексах) флокуляція викликається спеціальними добавками - флокулянтами і реагентами, котрі ліофобізують поверхню частинок, а також тепловим, механічним та іншими зовнішніми впливами. У присутності флокулянтів та ліофобізуючих реагентів відбувається зчеплення частинок дисперсної фази й виникнення просторів дисперсних структур [3].

Сьогодні висловлено багато різних припущень про механізм утворення агрегатів твердих частинок високомолекулярними речовинами. Процес адсорбції відбувається у дві стадії:

спочатку кожна макромолекула прикріплюється кількома сегментами до однієї частинки (первинна адсорбція);

потім вільні сегменти закріплюються на поверхні інших частинок, пов'язуючи їх полімерними мітками (вторинна адсорбція) [4].

Можливі різні механізми закріплення макромолекул флокулянтів на поверхні частинок. Флокулянтами називають природні або синтетичні хімічні сполуки, які при введенні в дисперс-

ну систему можуть утворювати механічні зв'язки між частинками твердої фази і викликати, завдяки цьому, дестабілізацію системи [5].

Неіоногенні поліелектроліти закріплюються на частинках за допомогою полярних груп (найчастіше гідроксильних) завдяки утворенню водневих зв'язків між воднем гідроксилу і киснем, азотом та іншими атомами, що знаходяться на поверхні частинок. Наявність водневих зв'язків встановлено експериментально за допомогою інфрачервоної спектроскопії. Хоча енергія водневого зв'язку значно менше енергії хімічного зв'язку, велика кількість гідроксильних груп сприяє міцному закріпленню молекул флокулянта.

Аніонні флокулянти здатні закріплюватися на поверхні часток не тільки за допомогою водневих зв'язків, а й завдяки хімічній взаємодії (хемосорбції) аніонів з катіонами, що знаходяться на поверхні частинок.

Катіонні поліелектроліти, крім утворення агрегатів за механізмами, аналогічним вищевикладеним, сприяють флокуляції завдяки нейтралізації негативного заряду частинок.

Слід зазначити, що флокуляція тонкодисперсних частинок може бути досягнута тільки за допомогою вимушеного градієнта швидкості і нерівномірного відстоювання. Частинки в рідині можуть об'єднуватися разом за допомогою вимушеного градієнта швидкості. Частинки, що швидко рухаються, досягнуть повільних в певному полі швидкостей. Якщо частинки, що стикаються, агрегують, то утворюється більша частка, яку легше видалити з пульпи за допомогою гравітаційного розділення. У разі флокуляції, яка відбувається завдяки нерівномірному осадженню, більші частинки досягають більш дрібних частинок в процесі гравітаційного осадження. Коли дві частинки стикаються і злипаються, утворюється більша частка, яка осідає в суспензії, що зневоднюється, з більшою швидкістю, ніж вихідні частинки.

Для пояснення флокулюючої дії водорозчинних полімерів (у тому числі й (спів) полімерів акриламід) на частинки дисперсної фази використовують, головним чином, два механізми [6].

Перший - механізм нейтралізації флокуляції. Він пов'язаний зі зниженням ефективного заряду і потенціалу частинок дисперсної фази (ДФ) при адсорбції на них макроіонів. Цей механізм по суті аналогічний коагуляції нейтралізації. Більшість авторів слідом за Ла Мером [7,8] віддають перевагу другому (мостовому) механізму. Згідно [7,8] макромолекули адсорбованого флокулянта утворюють своєрідні містки між дисперсними частинками, пов'язуючи їх в єдиний ансамбль - флокули.

Місткова модель флокуляції припускає, що, по-перше, окремі сегменти макромолекул адсорбуються на активних центрах частинок дисперсної фази (ДФ), і, по-друге, що знаходяться в глибині розчину хвості і петлі полімеру закріплюються на вільних ділянках інших частинок. У цьому випадку важливо, щоб довжина петель і хвостів перевищувала радіус дії електростатичних сил відштовхування [7,9,10,11].

Прихильники теорії флокуляції нейтралізації вважають, що макромолекули флокулянта зв'язуються з поверхнею часток дисперсної фази (ДФ), розвертаючись на ній з утворенням великої кількості контактів, і формують ділянки з високою щільністю зарядів, створюючи тим самим так звану «мозаїчну» структуру поверхні. При цьому флокуляція настає в результаті нейтралізації поверхневого заряду під дією Ван-Дер-Вальсових електростатичних сил [12,13].

У чистому вигляді ця модель може здійснюватися тільки для олігомерів і тільки в разі різноманітних зарядів полімеру і поверхні частинок дисперсної фази (ДФ).

Внесок кожного з механізмів в бруто-процес флокуляції залежить від цілого ряду чинників, оскільки навіть для однієї і тієї ж конкретної системи дисперсної фази (ДФ) - поліелектроліт залежно від кількості реагенту і концентрації локалізованих центрів адсорбції на частинках може переважати мостовий або механізм нейтралізації [14,15,16]. Утворення містків є основною причиною флокуляції у випадках однойменно заряджених частинок і макромолекул, а також для полімерів високої молекулярної маси. Тільки мостовий механізм може пояснити найбільш важливі закономірності флокуляції, а саме флокуляцію незарядженими полімерами, зростання ефекту флокуляції при підвищенні молекулярної маси полімерів, та ін. [17,18,19]. Тому цілком природно, що процес флокуляції безпосередньо залежить від здатності макромолекул поліелектролітів адсорбуватися на поверхні частинок дисперсної фази (ДФ).

Характерною особливістю адсорбції макромолекул є те, що кількість абсорбуючого полімеру зазвичай у багато разів перевершує кількість, необхідну для утворення мономолекулярного шару. Більшість теорій припускає, що полімерна ланцюг знаходиться у вигляді послідовно-

тей сегментів, безпосередньо контактують з поверхнею часток дисперсної фази (ДФ) і простягаються в розчин петель і хвостів.

У першому шарі поблизу поверхні частинок дисперсної фази (ДФ) щільність сегментів висока.

У другому, пухкому, шарі звернених у розчин хвостів і петель концентрація сегментів істотно менше, і тяжіння сегментів до поверхні частинок дисперсної фази (ДФ) невелика. Цей шар має значно більшу товщину, ніж перший.

Передбачається стрибкоподібне зміна щільності сегментів на кордоні шарів і постійне зменшення її в міру віддалення від поверхні. З підвищенням концентрації полімеру посилюється конкуренція між адсорбує макромолекулами, що призводить до зменшення розмірів пов'язаних з поверхнею сегментів і зростання величини петель і хвостів.

Адсорбція високомолекулярних сполук в більшості випадків носить незворотній характер, тому що одночасний розрив всіх численних контактів макромолекули з поверхнею частинок малоймовірний.

Сили, що викликають адсорбцію, можуть мати різну природу. У загальному випадку це можуть бути Ван-Дер-Вальсові або міжмолекулярні сили - іонні та ковалентні. Адсорбція поліелектролітів (на відміну від адсорбції незаряджених полімерів) відрізняється ще й тим, що тут на процес адсорбції істотний вплив роблять електростатичні сили взаємодії між полімером і часткою. У багатьох системах ці сили можуть відігравати вирішальну роль у процесах адсорбції та флокуляції.

Швидкість і величина адсорбції залежать від багатьох факторів: хімічної природи і концентрації адсорбенту і адсорбату, складу і властивостей розчинника і температури. Велике значення мають характеристики полімеру, такі як молекулярна маса, щільність зарядів, гнучкість і рухливість макромолекули в цілому і окремих її частин (сегментів) та ін. Вплив молекулярної маси полімеру (М) на величину адсорбції виражено зазвичай в тим більшою мірою, чим вище жорсткість макромолекулярного клубка. У більшості робіт відзначається збільшення адсорбції із зростанням молекулярної маси полімеру (М). Присутні в дисперсійному середовищі органічні сполуки й неорганічні солі здатні значною мірою пригнічувати адсорбцію поліелектролітів в результаті конкурентної адсорбції та інших причин. У ряді випадків адсорбція при введенні добавок, навпаки, зростає. Зміна температури впливає на адсорбцію поліелектролітів насамперед у зв'язку зі зміною гнучкості і рухливості макромолекул у розчині. Температура впливає також на розчинність полімеру, термодинамічну якість розчинника, на конкуруючу з адсорбцією полімеру адсорбцію розчинника. Вплив полімерів на стійкість дисперсної фази середовища визначається їх адсорбцією на поверхні дисперсної фази і параметрами адсорбційних шарів, що сформувались. Адсорбція макромолекул полімеру - перша фаза флокуляції, багато в чому визначає умови і ступінь протікання даного процесу. Для правильного розуміння механізму флокуляції та управління їм необхідно мати дані про питому адсорбції ВМС на поверхні дисперсної фази і про структуру адсорбційних шарів. У поняття структури адсорбційних шарів входять такі величини, як загальна величина адсорбції, ступінь заповнення поверхні полімерів, число пов'язаних з поверхнею сегментів (ланок) і товщина адсорбційного шару.

Постановка завдання. Метою цієї роботи є обґрунтування нових режимів флокуляції тонко-дисперсної сировини для розробки технології згущення відходів збагачення магнетитових – кварцитів ПАТ «ПівнігЗК».

Викладення матеріалу та результати. Підбір оптимального флокулянта проводився в лабораторних умовах за загальноприйнятою методикою в стандартних циліндрах, по кінетиці відстоювання після етапів змішування і утворення пластівців.

Вивчалась флокулююча дія слабо-аніонного Magnafloc 338.

Вивчення процесу утворення флокул проводилось на хвостах ПАТ «ПівнігЗК».

Лабораторні дослідження суспензії відходів показали, що вміст твердих домішок склав 10195 мг/л. У результаті проведених досліджень встановлено, що для осадження мінеральних частинок у суспензіях відходів без флокулянта необхідно до 50 хв., а з флокулянтом для осадження мінеральних частинок достатньо 3 хв.

Встановлено, що витрати флокулянта Magnafloc 338, при якому досягається максимальний ефект флокуляції, суттєво залежить від концентрації суспензії і катастрофічно збільшується з 6-

8 г/т до 60-80 г/т при переході від розбавлених (25-50 г/л) до концентрованих (100-150 г/л) суспензій [1].

Оптимальна доза флокулянта визначалася технологічним аналізом (пробне флокулювання в циліндрі місткістю 1 л) і становила в різні періоди від 3 до 9 мг/л. Робочий діапазон рН досліджуваного флокулянта 1-14, що відповідає технологічним вимогам процесу нейтралізації, що відбувається при рН=9,5-11.

Для обґрунтування механізму дії флокулянта визначалася кількість адсорбованого полімеру. Для вимірювання товщини адсорбційного шару в досліджуваному процесі використовувався метод віскозиметрії. Вимірювання в'язкості водного розчину «Магнофлок338» проводили у віскозиметрі з навитим капіляром і висячим рівнем [20].

Діаметр капіляра 1,1 мм, довжина 770 мм, обсяг вимірювального кульки 4,5 мл.

Залежність кількості адсорбованого полімеру від молекулярної маси (М) дає цінну інформацію про структуру адсорбційних полімерних шарів, про число центрів адсорбції на одиницю площі і енергії зв'язку на одну молекулу. Оскільки визначені на досвіді величини адсорбції являють собою питому адсорбцію полімеру (Г) багатьох фракцій, то за допомогою звичайних вимірювань рівноважної концентрації високомолекулярних сполук (ВМС) в розчиннику не можна зробити висновок про переважної адсорбції тієї чи іншої фракції полімеру і відповідно про міцність зв'язку з поверхнею молекул певного розміру. Молекулярно-масовий розподіл даного полімеру в розчині і в поверхневому шарі може відрізнятись, тому наведені у більшості робіт залежно адсорбції від питому адсорбцію полімеру (Г) слід розглядати лише як наближені. Більш правильні дані про характер залежності Г можна отримати при вивченні переважної, або витискаючої, адсорбції, контролюючи молекулярно-масовий розподіл ВМС в рівноважному розчині до і після адсорбції, а також при використанні в досліді зразків розсортованих по фракціям (з вузьким молекулярно-масовим розподілом молекул в межах фракцій) полімерів [1,5].

Частіше в якості причини флокуляції розглядають утворення полімерних містків між дисперсними частками через макромолекули адсорбованого високомолекулярного з'єднання. За допомогою даного механізму запропонованого Ла Мером [13], вдається пояснити, що при флокуляції дисперсійними неіонними і зарядженими полімерами спостерігається утворення в присутності високомолекулярних сполук ВМС об'ємистих і пухких опадів, зростання флокулюючої дії полімерів у міру збільшення їх молекулярної маси.

При цьому чим вище молекулярна маса (М), тим більше розміри пов'язаних з поверхнею полімерних клубків або довше входять в рідку фазу петлі і хвости, тобто більше вірогідність контакту периферійних сегментів адсорбованої макромолекули з сусідніми частинками. Визначено, що для «Magnafloc 338» вона становить $3,8 \times 10^6$.

Механізм взаємодії полімеру з твердою поверхнею мінеральних часток являє собою фізико-хімічний процес, результатом якого є адсорбція молекул полімеру і зниження ζ -потенціалу. Вимірювання зниження ζ -потенціалу проводили за допомогою плоскої комірки для мікроелектрофорезу.

Відомо, що в силу взаємного відштовхування суспендованих частинок зумовлюють значення ζ -потенціалу їх і відстань між ними. Але також відомо, що склад розчину на кордоні з твердою частинкою впливає на величину і знак ζ -потенціалу.

Додавання електролітів, яким є флокулянт «Magnafloc 338», з протилежним зарядом зменшує ζ -потенціал частинок до величин, що забезпечують коагуляцію. У даному випадку величина ζ -потенціалу становила $-20 \div (-30)$ мВ (рис. 1).

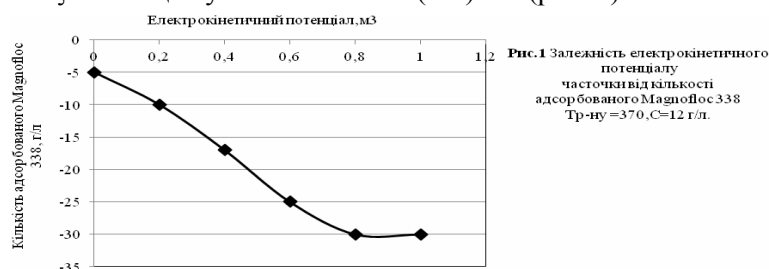


Рис. 1 Залежність електрокінетичного потенціалу часточки від кількості адсорбованого Magnafloc 338. Тр-ну=370, С=12 г/л.

Рис. 1. Залежність електрокінетичного потенціалу часточки від кількості адсорбованого Magnafloc 338. Тр-ну=370. С= 12 г/л

Ефект зниження ζ -потенціалу зростає із збільшенням валентності іона і концентрації електроліту. Безперечним є те, що аніоноактивні поліелектроліти, яким є

«Magnafloc 338», агрегує мінеральні частинки, знижуючи їх ζ -потенціал; без зниження заряду

частинок флокуляція скрутна [21]. При взаємодії з мінеральними поверхнями лінійні макромолекули закріплюються завдяки іонного обміну і водневим зв'язкам з утворенням різних поверхневих комплексів на активних адсорбованих центрах, якими є функціональні групи, конденсовані ядра, бічні ланцюги, поверхневі оксиди і мінералізовані ділянки поверхні.

Міцність закріплення однієї полярної групи полімеру невелика, але їх багато і сумарна енергія зв'язків досить велика.

Правильна орієнтація лінійних молекул «Magnafloc 338» як сополімеру поліакриламіді і їх велика асиметричність сприяють адсорбції сегментів з утворенням міцних містків і швидкому збиранню частинок у флокули.

Для розглянутої дисперсної системи в присутності флокулянта «Magnafloc 338» визначено параметри адсорбційного шару при величині адсорбції $2,4 \text{ мг/м}^2$ і товщині адсорбційного шару $h=38 \text{ нм}$, що дозволяє стверджувати наявність місткового механізму.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Отже, проаналізувавши вищезазначену інформацію можна дійти висновку, що для флокуляції відходів виробництва ПАТ «ПівніГЗК» найефективніше застосовувати аніонний флокулянт Magnafloc338.

Ефективна флокуляція концентрованих (100-150 г/л) «хвостових» суспензій досягається при витратах флокулянта більше 30 г/т.

При визначенні механізму флокуляції аніонного флокулянту Magnafloc 338 встановлено, що при флокуляції частинок відходів збагачення магнетитових кварцитів ПАТ «ПВНГЗК» має місце містковий механізм флокуляції, а величина адсорбції реагенту та товщина адсорбційного шару на поверхні частинок залежить від часу контакту аніонного флокулянта з дисперсними частинками системи, що характеризує процес встановлення рівноважної структури адсорбційного шару.

Список літератури

1. Г.В Губін, В.І Мулявко Технологія сухого складування хвостів / Олійник Т.А , Губін Г.В, Мулявко В.І //Збагачення корисних копалин. – Дніпропетровськ. – 2010.- Вип.43- С.-5.
2. Киреев В.А. Краткий курс физической химии. М.: Химия, 1970-638с.
3. Евстратова К.И., Курин А.А., Малахова Е.Е. Физическая и коллоидная химия / К.И. Евстратова, А.А. Курин, Е.Е. Малахова // М.: Высшая школа, 1990.
4. Хмельницкий Р.А. Физическая и коллоидная химия / Р.А. Хмельницкий // М.: Высшая школа, 1988. - 397 с.
5. Ребиндер П.А. Избранные труды. Т. 1,2. М.: Наука, 1978-79.
6. Кульский Ф.М. Основы химии и технологи воды. Киев.: Наукова думка, 1991.-568 с.
7. Баран А.А. Полимерсодержащие дисперсные системы. - К.: Наук. думка, 1986.-204 с.
8. V. K. La Mer. Coagulation Symposium Introduction // J. Coll. Sei. 1964. - V. 19. №4. -P 291-294.
9. Flocculation of suspended solids from aqueous solutions: ПАТ. 5035808 США, МКИ С 02 F 1/54/ Hassick Denis E., Miknevis Joseph P. № 405907; заявл 12.9.89. опубл. 30.7. 91. НКІ 210/728.
10. Sarkar N ,Teot A.S. Coagulation of Negatively Chared Colloidsby Anionic Polyelektrolytes Colloid a. Interface Sei., 1973. - 43. № 2. - P 370-381.
11. Gregory J / Preprints of the Inter Conf "Polymersin colloidal systems", Sept.7-9,Eindhoven., 1987.-P.102-111.
12. Запольский А.К., Баран А.А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды. - Л.: Химия, 1987. -208 с.
13. Николадзе Г.И., Минц Д.М., Кастальский А.А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. - М.: Высшая школа, 1984.С.368.
14. Guyot P., Pndebert R. Flocculation departicules colloidales parles polymères hydrosolubles / J. Chim. Phys. Ephys. - chim. Biol. 1990. - 87.№ 11-12. P 1859-1899.
15. Вейцер Ю.М., Минц Д.М. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки воды. М.: Стройиздат, 1984, -201 с.
16. Otsubo J., Watanade K. Arheological studies on flocculation / ColloidsandSurfaces. -1990.- 50.-P.341-352.
17. Lecourtier J., Lee L.T. Adsorption of Polyacrylamides on siliceous minerals //Colloid sand Sarfaces. - 1990.. -47, № 7. - P. 219-231.
18. Morgan L. J., Levina S.M., Tompson J.S. The behavior of polyelectrolytead sorption on Hn // Adv. Fane Part. Process. : Proc. Int. Symp., May. 10. 1990/- NewYorkets., 1990. - P. 237- 249.
19. Brahimi Brahim, Lalbe Pierre, Reverdy Gilbert. Study of the adsoftion of cations surfactants on aqueous Laponiteclay suspension sandlaponiteclay modified electrodes // Langmuir. - 1992. - 8, № 8. - P. 1908-1918.
20. О.І. Єгурнов Особенности флокуляции тонких частиц при осаждении хвостов горно-обогажительных комбинатов с помощью контейнеров / Т.А Олійник, Л.В Скляр, М.О Олійник , О.І Єгурнов // Збагачення корисних копалин .-. Кривий Ріг. – 2012. - Вип. 12. – С-5.
21. Кузькин С.Ф., Небера М.В. Синтетические флокулянты в процессах обезвоживания. М.: Гостехиздат, 1963.- 188 с.

Рукопис подано до редакції 02.04.15

УДК 621.65.03

О.К. ДАНИЛЕЙКО[†], ст. викладач, Ж.Г. РОЖНЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
В.О. ДУБОВИЙ, студент, Криворізький національний університет

РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ

Розроблено лабораторний стенд для аналізу режимів роботи насосів та побудови напірних та енергетичних характеристик насоса. Стенд має резервуар з рідиною, відцентровий насос, трубопроводи, які перекачують воду по замкненому циклу. Для регулювання продуктивності встановлено кран з сервоприводом. Змінюючи положення засувки крана можна міняти продуктивність. Продуктивність насоса можна управляти змінюючи частоту обертання насоса. Другий спосіб має кращі енергетичні характеристики. Для зміни частоти обертання насоса стенд має привід змінного струму. Для автоматичного керування насосом встановлено персональний комп'ютер. Система автоматичного керування включає датчики тиску та витрати рідини, цифровий мультиметр для вимірювання струму та потужності. Всі елементи системи включені в локальну мережу і через неї зв'язані з ПК.

Розроблено програмне забезпечення для лабораторного стенда насосної установки. SCADA система автоматично фіксує параметри роботи установки. У автоматичному режимі програма будує напірно-витратні і енергетичні характеристики. Проаналізовано вплив способу регулювання продуктивності насосної установки на процеси енергозбереження. Стенд призначений для виконання лабораторних робіт та закріплення теоретичних знань; придбання навичок експлуатації обладнання; роботи із регульовальною, контрольно-вимірювальною й частотно-перетворювальною апаратурою насосної установки.

Актуальність роботи. У даний час більшість насосних агрегатів використовують засувки для зміни продуктивності. Наслідком цього є надмірне споживання електричної енергії.

Враховуючи сучасний стан з енергоносіями, вимоги до енергоефективності насосів виходять на перший план. Регулювання продуктивності турбомеханізмів за рахунок зміни частоти обертання має безсумнівні переваги [1].

У зв'язку з розробкою сучасних ключових елементів на ринку з'явилися досить дешеві приводи змінного струму на основі перетворювачів частоти.

Тому досить актуальною є розробка стендів для випробування роботи насосів з приводами змінного струму, що дає можливість порівняти різні методи регулювання продуктивності з точки зору енергоефективності.

Сучасний світ перебуває на межі постійного технологічного прогресу, коли в усі сфери людського життя впроваджуються нові технології, пов'язані з автоматизацією. Більшість сучасних підприємств оснащують свої виробництва найновішими досягненнями науки, але для керування ними необхідні навички роботи з автоматизованими системами.

Сьогодні завдання вищих навчальних закладів - дати молодим спеціалістам не лише ґрунтовні знання щодо фізичної суті виробничих процесів, а й навчити їх керувати цими процесами за допомогою автоматизованих систем.

Саме тому розробка системи моніторингу і керування має важливе прикладне значення.

Основна задача - це розробка лабораторного стенда насосної установки з системою автоматичного керування, яка виконана за допомогою системи автоматизації наукових досліджень *LabVIEW*. На даній установці планується проводити ряд лабораторних робіт по вивченню характеристик насосів та дослідженню процесів енергозбереження.

Вибір обладнання та локальної мережі. Насоси, як правило, працюють в режимах тривалого нормального навантаження.

Регулювання подачі насосів може виконуватись за допомогою запірних пристроїв, але найбільш досконалим способом регулювання подачі насосів є зміна частоти обертання їх двигунів, діапазон регулювання якої зазвичай невеликий, широке регулювання потрібно лише в окремих випадках [2-6].

Для лабораторного стенда було обрано вихровий насос *Pedrollo PK60* з наступними характеристиками: повітряне охолодження; потужність 0,37 кВт; продуктивність 0-40 л/хв.; напір: 40-5 м; клас захисту - IP44; максимальна глибина всмоктування - 7 м; максимальна температура рідини +50 С; максимальний розмір твердих часток не більше 50 г/м³. Технічна характеристика насоса наведена в табл. 1.

Технічна характеристика насоса

Тип	P , кВт	Q , л/хв	0	5	10	15	20	25	30	35	40
PK 60	0,37	H , м	40	38	33,5	29	24	19,5	15	10	5

Стенд побудовано на основі відцентрового насоса *Pedrollo PK60*, який перекачує рідину у замкненому циклі (рис. 1а). Функціональна схема стенда представлена на рисунку 1б.

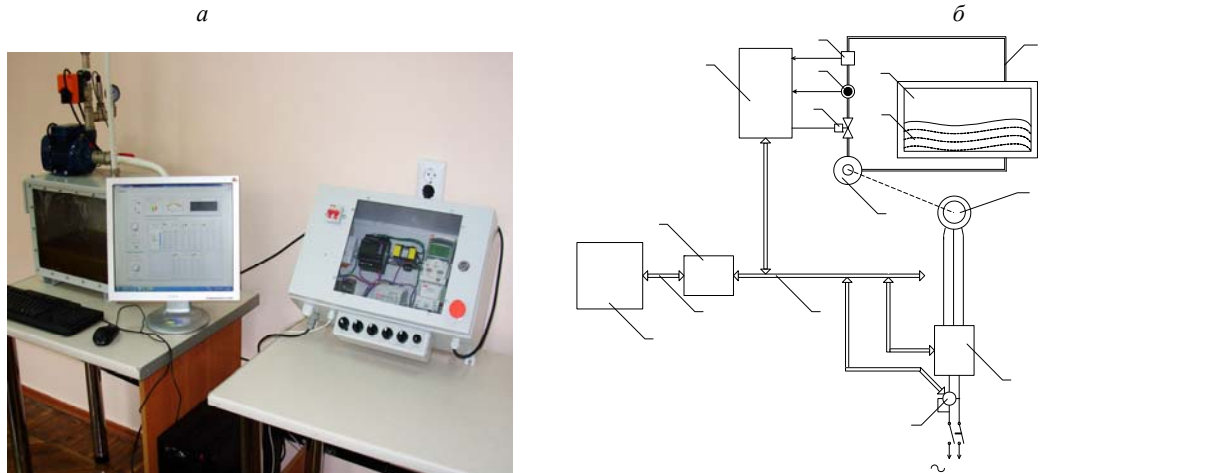


Рис. 1: а - загальний вид лабораторного стенда; б - функціональна схема лабораторного стенда: 1 - персональний комп'ютер; 2 - магістраль USB; 3 - перетворювач RS-485/USB; 4 - магістраль RS-485; 5 - допоміжний контролер; 6 - цифровий мультиметр *Socomec Diris A10*; 7 - привод змінного струму *ABB ACS355*; 8 - асинхронний двигун привода насоса; 9 - насос *PK60*; 10 - засувка з сервоприводом *Belimo TR-24-SR*; 11 - датчик витрати рідини *Sea YF-S201*; 12 - датчик тиску рідини *Dwyer 628CR-90*; 13 - резервуар; 14 - вода; 15 - трубопровід

При розробці стенда були прийняті для обміну даними між ПК і зовнішніми пристроями мережевий інтерфейс RS-485 і мережевий протокол *Modbus RTU*. В зв'язку з цим і було обрано обладнання, яке має «на борту» мережевий інтерфейс RS-485 та підтримує протокол *Modbus*. Для зміни обертів насоса використовується привод змінного струму *ABB ACS355* з додатковим пристроєм мережевого інтерфейсу *RS-485 FMBA-01*. Привод налаштований на скалярне керування по мережевий магістралі та протоколу *Modbus* (профіль *DCU*). Для вимірювання тиску рідини обрано датчик тиску *Dwyer 628CR-90* з струмовим виходом 4-20 мА, датчик витрати рідини *Sea YF-S201* з частотним вихідним сигналом. Для регулювання продуктивності насоса використовується засувка *Belimo TR-24-SR* з сервоприводом (напруга керування 0 – 10 В).

Для перетворення аналогового сигналу тиску, частотного сигналу витрат рідини та керуванням напруги сервопривода засувки розроблено допоміжний контролер на базі *AVR* мікропроцесора *Atmega 16*. За допомогою вбудованого АЦП вимірюється в цифровому виді тиск. Для керування сервоприводом крана використовується зовнішній ЦАП. У допоміжному контролері реалізовані програми цифрової фільтрації для компенсації впливу турбулентності. Зв'язок з мережею реалізований через вбудований інтерфейс RS-485 та програмно реалізований протокол *Modbus RTU*.

За допомогою цифрового мультиметра *Socomec Diris A10* вимірюються струм, активна та реактивна потужності.

Вибір програмного забезпечення для автоматизації системи керування стендом. З метою автоматизації досліджень використовується персональний комп'ютер, в який передаються данні по магістралі USB через перетворювач інтерфейсу *RS-485/USB ICP DAS*.

Для зв'язку з зовнішнім обладнанням, через відсутність відповідних драйверів, використовується OPC сервер *National Instruments*, налаштований на протокол *Modbus RTU*. Структура проекту OPC сервера представлена на рисунку 2. *Modbus* адреси обрано згідно відповідної документації.

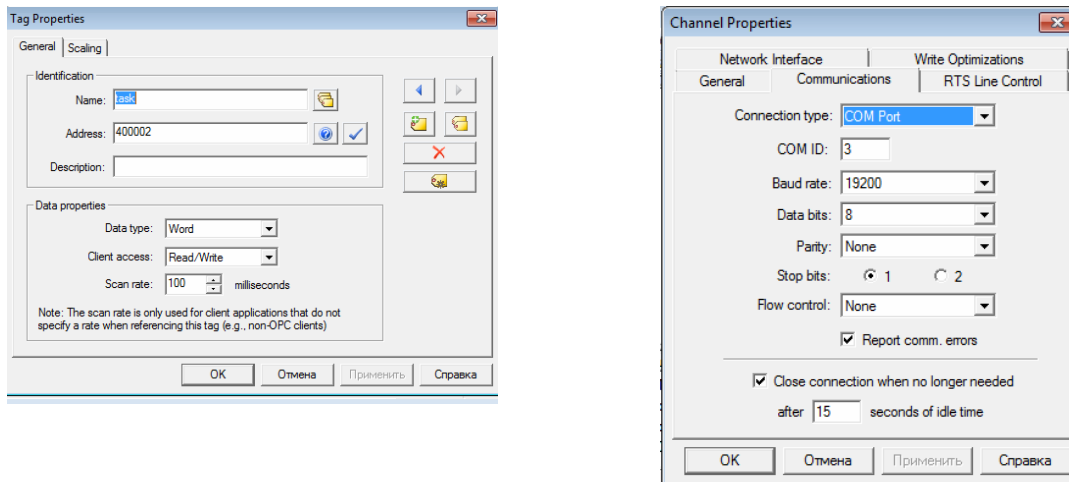


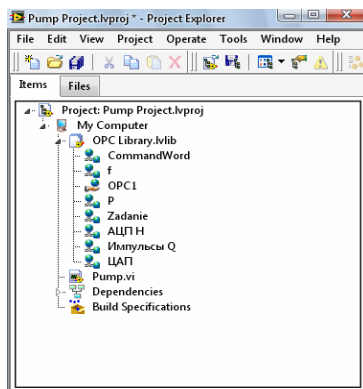
Рис. 2 Властивості проекту OPC сервера

Вибір системи програмування. Для програмування системи керування стендом та автоматизації проведення експерименту обрано систему графічного програмування *LabVIEW*.

Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (середовище розробки лабораторних віртуальних приладів) є середовищем графічного програмування, яке широко використовується в промисловості, освіті та науково-дослідних лабораторіях в якості стандартного інструменту для збору даних і управління приладами. *LabVIEW* - потужна і гнучка програмна середовище, яка застосовується для проведення вимірювань та аналізу отриманих даних.

За допомогою графічної мови програмування *LabVIEW*, іменованого *G* (Джей), можливо програмувати задачу блок-діаграмами, яка компілює алгоритм в машинний код [7-11].

Проект програми керування стендом. Проект програми складається з одного *VI* файлу *Pump.vi* та бібліотеки *OPC Library.lvlib*. Структура проекту програми приведена на рис. 3.

Рис. 3 Проект програми у *LabVIEW*

Бібліотека *OPC Library.lvlib* включає в себе змінні, які описані в проекті *OPC* сервера (командний рядок привода *ACS355*, завдання частоти, активна потужність, тиск, продуктивність насоса, завдання на ЦАП сервопривода крана).

Файл *Pump.vi* - містить головне вікно, у якому знаходиться основна панель для керування стендом та відображення показників роботи (рис. 4).

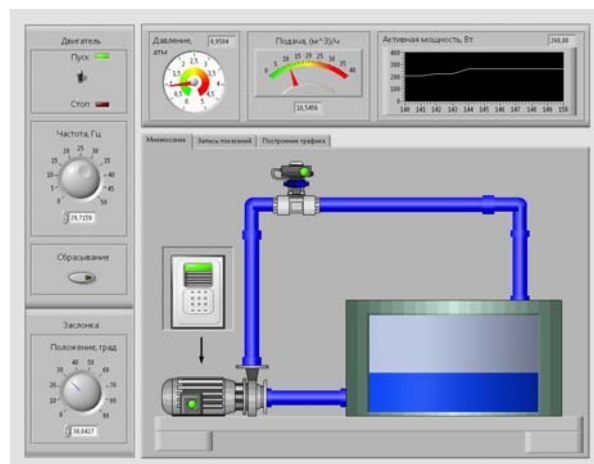


Рис. 4. Інтерфейс загального вікна з елементами SCADA-системи

Показники датчиків відображаються наступними елементами: «Давление, атм.» *Gauge* - для відображення даних тиску; «Подача, л/мин» *Meter* - для відображення подачі насоса, «Активная мощность, Вт» *Waveform Chart* - для відображення активної потужності. Показники можна спостерігати як на графічному елементі, так і на числовому індикаторі. Аналогічно задають частоту та положення засувки.

Для відображення роботи станда була розроблена мнемосхема на основі елементів *DSC Module*, що включає в себе перетворювач частоти, насос, керуючу засувку, трубопровід та резервуар. При роботі із установкою відбувається візуальне відображення роботи кожного елемента.

Для запису показників подачі та тиску при різних значеннях частоти та положень засувки (рис. 5) було створено таблиці на основі одномірних масивів *Array* для кожної величини. Керування таблицею виконується ключем для її активації, та повзунком для вибору рядка на запис.

Сам запис виконується натисканням кнопки «Записать данные».

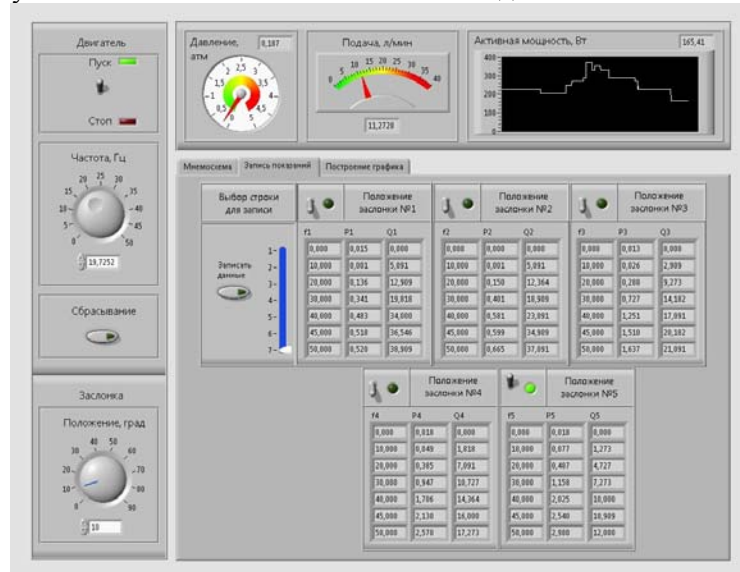


Рис. 5 Запис даних у таблиці

Одночасно із записом показників при різних значеннях частоти та положення засувки відбувається побудова сімейства характеристик насоса (рис. 6).

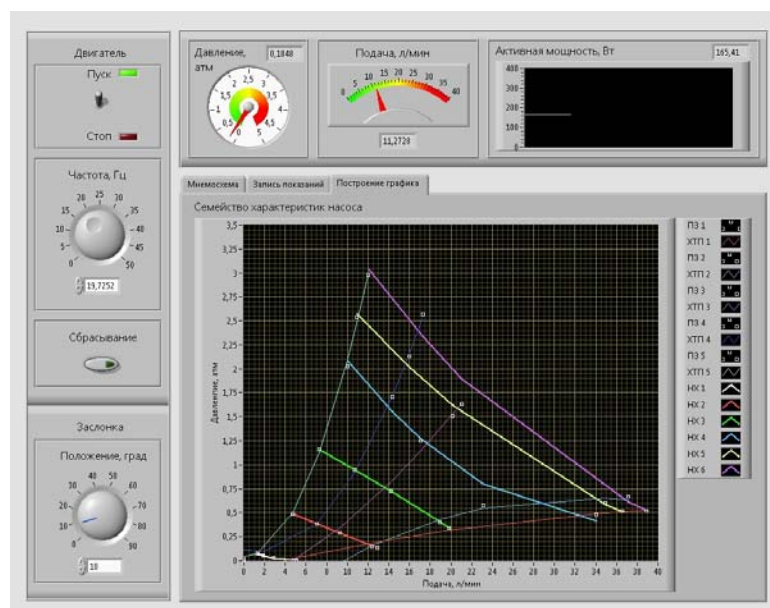


Рис. 6 Побудова характеристик насоса

Для їх відображення використовується елемент *Waveform Graph*. На графіку відображаються напірні характеристики.

Графіки будуються так: з масиву «Q1» та «H1» приходять дані у елемент *Bundle*, що формує відповідні координати.

Зрозуміло, що стенд не є ідеальним. У зв'язку з малими довжиною та діаметром трубопроводів, потік рідини має турбулентний характер, що приводить до вторинних низькочастотних явищ.

З метою компенсації помилок вимірювання, використовується поліноміальна апроксимація та сплайн інтерполяція (елемент *General Polynomial Fit*, який формує окрему криву). І на завершальному етапі - об'єднуються усі провідники за допомогою *Build Array* та виводяться на елемент *Waveform Graph*.

Висновки. Обрана структура лабораторного стенда та розроблено програмне забезпечення для керування насосною установкою. Програмна система керування дозволяє в автоматичному режимі будувати напірно-витратні та енергетичні характеристики насоса, проводити курс лабораторних робіт для закріплення теоретичних знань, отриманих студентами на лекціях та придбання навичок експлуатації обладнання, роботи із запірною-регулювальною, контрольно-вимірювальною й перетворювальною апаратурою насосної установки. Стенд має великі можливості модернізації і може використовуватися для проведення лабораторних робіт з різних дисциплін.

Список літератури

1. **Копытов Ю.В.** Экономия электроэнергии в промышленности: справочник / Ю.В. Копытов, Б.А. Чуланов. – М.: Энергия, 1978. – 120 с.
2. **Онищенко Г.Б.** Электропривод турбомеханизмов / Г.Б. Онищенко, М.Г. Юньков. – М.: Энергия, 1972. – 240 с.
3. **Черкасский В.М.** Насосы, вентиляторы, компрессоры / В.М. Черкасский. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 415 с.
4. **Шерстюк А.Н.** Насосы, вентиляторы, компрессоры: учеб. пособие для вузов / А.Н. Шерстюк. – М.: Высшая школа, 1972. – 344 с.
5. **Шевчук С.П.** Насосні, вентиляторні та пневматичні установки: підручник / С.П. Шевчук, О.М. Попович, С.М. Світлицький. – К.: НТТУ «КПІ», 2010. – 308 с.
6. **Ильинский Н.Ф.** Энергосбережение в центробежных машинах средствами электропривода / Н.Ф. Ильинский // Вестник МЭИ. – 1995. – №1.
7. **Тревис Дж.** LabVIEW для всех / Джеффри Тревис. – Пер. с англ. Клушин Н. А. – М.: ДМК Пресс; Прибор-Комплект, 2005. – 544 с.
8. **Федосов В.П., Нестеренко А.К.** Цифровая обработка сигналов в LabVIEW: учеб. пособие / под ред. В. П. Федосова. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 456 с.
9. **Батоврин В.К.** LabVIEW: практикум по электронике и микропроцессорной технике / В.К. Батоврин, А.С. Бессонов, В.В. Мошкин. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 182 с.
10. **Суранов А.Я.** LabVIEW 7: справочник по функциям / А.Я. Суранов. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 512 с.
11. **Пейч Л.И.** LabVIEW для новичков и специалистов / Л.И. Пейч, Д.А. Точилин, Б.П. Поллак. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 384 с.

Рукопис подано до редакції 04.04.15

УДК 528.8: 622.831.6

В.М. ЗДЕЩИЦ¹, д-р техн. наук, проф., М.В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц.,
М.П. СЕРГЄЄВА, Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ ТА ПОРОЖНЕЧ В ГІРСЬКОМУ МАСИВІ

Розглянуто теоретичні положення математичного моделювання маркшейдерсько-геодезичних напівавтоматичних систем для визначення неоднорідностей та порожнеч в напружено-деформованому гірському масиві, породи в загальному випадку якого є структурними середовищами, компоненти яких володіють різними пружними властивостями. Міцні гірські породи при нарузі, що не перевищує межі пружності, поведуться як однорідні пружні середовища, повністю поновлюючи свої розміри і форму після зникання деформуючих сил. Обґрунтовано, що по мінливості швидкості розповсюдження акустичних хвиль можна судити і про мінливість міцності гірського масиву при видобуванні корисної копалини. Хвилі, що розповсюджуються через гірську породу, несуть з собою певну енергію. Інтенсивність пучка при розповсюдженні через середовище зменшується по експоненті в результаті поглинання і по ступеню ослаблення інтенсивності пучка можна судити про мінливість міцності породи. Поперечний перетин рудного тіла обмежений, тому, вимірявши часовий інтервал між приходом прямої хвилі і відбитою на межі розділу сере-

довищ з різною міцністю визначається швидкість розповсюдження сейсмічної хвилі. Запропоновано метод спектрально-сейсмічного профілювання для отримання перерізу товщі гірського масиву на підставі зареєстрованого спектру сейсмічного сигналу. При цьому використовується відповідність значень власних частот гармонійних складових сейсмічного сигналу потужностям геологічних структур. На спектрально-сейсмічному профілі проявляються межі між породами, що розрізняються по міцності, ослабленості механічного контакту і тріщинуватості. Інтерпретація експериментальних даних дозволяє згідно виявленим властивостям шару-резонатора, його коливальний процес використовувати тільки при безпосередньому контакті сейсмоприймача з цим шаром. За допомогою вейвлет-перетворення будь-який процес, що змінюється в часі, відображається на вісі частот в спектральному вигляді. Перерахунок за допомогою формули спектральної сейсмічної розвідки дозволяє провести вісь глибин, і тоді спектрограма набуває сенсу перерізу. Виконано оцінку стану геомеханічних процесів в породах біля виробленого простору з використанням спектрально-сейсмічного профілювання.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Гірські породи в загальному випадку є структурними середовищами, компоненти яких володіють різними пружними властивостями. Міцні гірські породи при нарузі, що не перевищує межі пружності, поводяться як однорідні пружні середовища, повністю поновлюючи свої розміри і форму після зникання деформуєчих сил. У таких гірських породах пружні параметри знаходяться по співвідношеннях, наведених [3-5]. Оскільки пружні характеристики гірських порід залежать, у свою чергу, від мінералогічного складу, структури, пористості, вологості і інших чинників, то швидкість розповсюдження пружних хвиль в породах з мінливістю кожного з цих чинників також змінюється. На цьому факті й побудовано метод визначення міцності шляхом спектрально-сейсмічного зондування гірської породи.

Аналіз досліджень та публікацій. Вимірювальні напівавтоматичні системи для просторового визначення стійкості гірського масиву, місцезнаходження і спостереження за виробленим простором при підземному способі видобування корисних копалин з родовища, покладу, рудного тіла або ділянки та маркшейдерського забезпечення визначення і зйомки доступних і недоступних гірничих пустот розглянуто в [1-3], розроблено математичне моделювання волоконно-оптичних систем. За основу розроблення таких напівавтоматичних систем взято вивчення процесу формування виробленого простору з урахуванням фізико-механічних властивостей гірських порід під впливом підповерхового способу проведення гірничих робіт для гірничо-геологічних умов Кривбасу [12-14]. Вибрано оптимальні варіанти створення напівавтоматичної системи для вимірювання доступних і недоступних гірничих пустот на основі спектрально-сейсмічного профілювання гірського масиву з використанням волоконно-оптичних технологій.

Постановка завдання. Швидкість розповсюдження акустичних хвиль зростає із збільшенням вмісту твердих компонентів в породі, тобто із збільшенням міцності породи. По мінливості швидкості можна судити і про мінливість міцності гірського масиву при видобуванні корисної копалини [8-11]. Хвилі, що розповсюджуються через гірську породу, несуть з собою певну енергію. Розповсюдження через середовище інтенсивність пучка зменшується в результаті поглинання по експоненті і по ступеню ослаблення інтенсивності пучка можна судити про мінливість міцності породи. Поперечний перетин рудного тіла обмежений, тому, вимірявши часовий інтервал між приходом прямої хвилі і відбитою на межі розділу середовищ з різною міцністю визначається швидкість розповсюдження сейсмічної хвилі. Частота ν_0 -це власна частота, якою характеризуються гармонійні затухаючі коливання, що виникають в результаті ударної дії на пластину-резонатор товщини h . Тобто коливальний процес спектрально пов'язаний з розмірами досліджуваного об'єкту і може використовуватися при визначенні геологічної будови масиву гірських порід. Урахування цього ефекту визначає будову апаратури, програму спектрального перетворення сигналу і перерахунку власних частот у відповідні потужності [1-3].

Викладення матеріалу та результати. Призначення методу спектрально-сейсмічного профілювання-дати переріз товщі гірського масиву на підставі зареєстрованого спектру сейсмічного сигналу. При цьому використовується відповідність значень власних частот ν_0 гармонійних складових сейсмічного сигналу потужностям h геологічних структур. На *ССП - перерізах* проявляються межі між породами, що розрізняються по міцності, ослабленості механічного контакту, тріщинуватості і т.ін. Логіка інтерпретації експериментальних даних полягає в тому, що, згідно виявленим властивостям шару-резонатора, його коливальний процес можна виявити тільки при безпосередньому контакті сейсмоприймача з цим шаром. За допомогою вейвлет-перетворення будь-який процес, що змінюється в часі, може бути зображено на вісі частот у спектральному вигляді. Перерахунок за допомогою основної формули спектральної сейсмічної

розвідки [3] дозволяє провести вісь глибин (h), і тоді спектрограма набуває сенсу перерізу. Відмінність по величині добротностей гармонійних складових сейсмічного сигналу відповідає відмінності характеру зчеплення порід по кожній з меж. Найбільш чіткі частотні межі свідчать про найменше зчеплення між породами або дільницю підвищеної порушеності гірського масиву. У таких породах розповсюдження поздовжніх і поперечних пружних хвиль задовольняє таким рівнянням

$$(K_{T+Ж} + \frac{4}{3}G)\nabla^2\Theta = [(1-k_{II})\rho_T + k_{II}\rho_{Ж}] \frac{\partial^2\Theta}{\partial t^2} \quad (1)$$

$$G\nabla^2\omega = [(1-k_{II})\rho_T + k_{II}\rho_{Ж}] \frac{\partial^2\omega}{\partial t^2} \quad (2)$$

де Θ і ω - відповідно, дивергенція і ротор вектора зсуву; ρ_T і $\rho_{Ж}$ - густина твердого і рідкого середовищ; G - модуль зсуву твердих компонентів породи; $K_{T+Ж}$ - модуль всебічного стискування породи, що визначається з рівняння

$$\frac{1}{K_{T+Ж}} = \frac{k_{II}}{K_{Ж}} + \frac{1-k_{II}}{K_T}$$

k_{II} - пористість породи.

Звідси швидкості поздовжніх c_L і поперечних хвиль c_T дорівнюють

$$c_L = \sqrt{\frac{K_{T+Ж} - \frac{4}{3}G}{(1-k_{II})\rho_T + k_{II}\rho_{Ж}}}, \quad (3)$$

$$c_T = \sqrt{\frac{G}{(1-k_{II})\rho_T + k_{II}\rho_{Ж}}}. \quad (4)$$

Таким чином, по сейсмограмі можна трьома незалежними способами визначити швидкість розповсюдження сейсмічної хвилі, а разом з цим і контролювати міцність гірської породи. Проведені нами експерименти дозволили з'ясувати принципову можливість використання сейсмічної апаратури на базі цифрового осцилографа, що запам'ятовує, для визначення міцності цілика рудного родовища, покладу, рудного тіла або дільниці корисних копалин. Надалі, на підставі отриманих даних, розроблена методика оцінки оптимальної кількості і місцеположення вибухових свердловин залежно від міцності гірського масиву. Для реєстрації горизонтальних коливань нами використовувалися сейсмічні датчики $CG1-10$ і $CG-10$, а датчики $CB-10Ц$ для реєстрації вертикальних коливань. З метою метрологічної атестації комплект сейсмічної апаратури калібрувався на вібростолі [1-3]. Визначався коефіцієнт перетворення швидкості механічних коливань K в напругу. Спостерігається залежність коефіцієнта перетворення K від частоти f . Функціональна залежність коефіцієнта перетворення K від частоти f і величина достовірності апроксимації кривої (R^2) приведені на графіках.

У натурному експерименті сейсмометрична апаратура розміщувалася на горизонті мінус 1180 м на відстані 28 м від чотирьох вибухових накладних зарядів по 750 г вибухової речовини кожен. Час затримки вибухів один від одного складав 0,1-0,5 с. Запуск осцилографа здійснювався від датчика вертикальних коливань. Поріг запуску-40 мВ по фронту наростаючого сигналу. Чутливість по вертикалі-200 мВ/поділку. Отримано сейсмограми приведено на рис. 1-3. З осцилограм видно, що максимальна швидкість коливання породи виникла в районі відмітки 0,15 с. Час приходу максимальної по амплітуді хвилі дорівнював 152 мс. За даними промислових досліджень відмінність в приході поздовжньої хвилі (X) склало 8 мс, а поперечної (Y)-4 мс. Це підтвердило висновок про те, що по різниці швидкостей можна визначити пористість (міцність) гірської породи по формулах (3) і (4). Порівнюючи форму сигналу з датчиків можна зробити висновок про наявність відбитих від межі розділу середовищ з міцністю $f=5-7$ (рудне тіло) і $f=8-12$ (граніт) сигналів, розділених 8 мс. При швидкості розповсюдження сейсмічної хвилі 4 км/с межа рудного тіла знаходиться на відстані 25 м від прямої, що сполучає епіцентр вибуху - точку спостереження (місце установки датчика поперечних хвиль) [11-13].

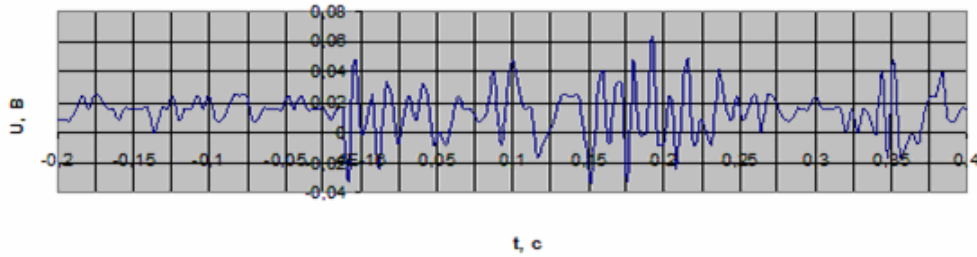


Рис. 1. Сейсмограма вертикальні Z-коливання

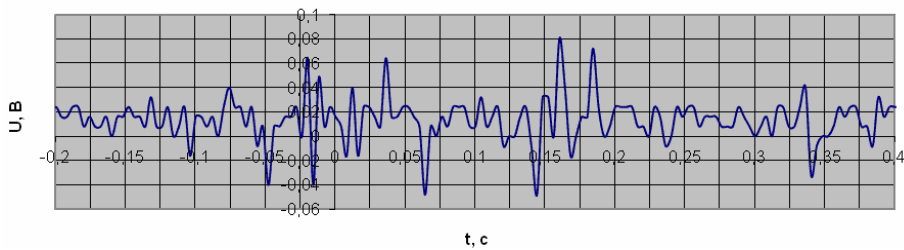


Рис. 2. Сейсмограма горизонтальні X-коливання

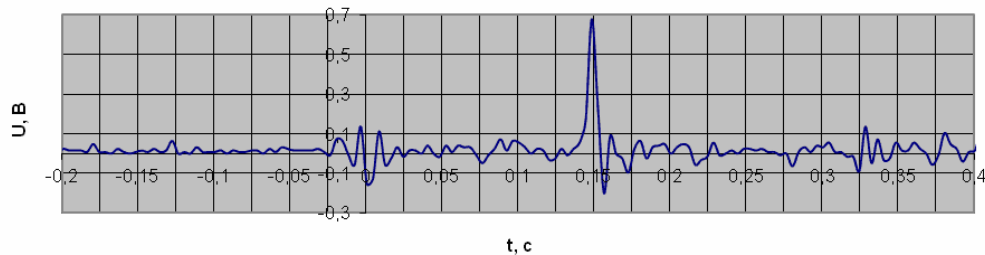


Рис. 3. Сейсмограма горизонтальні Y- коливання

Фонові вимірювання сейсміки (рис. 4; 5) показали, що максимальні значення коливань породи при роботі перфоратора на відмітці мінус 1152 м складають 0,048 В по вертикалі і 0,06 В по горизонталі.

При відключеному перфораторі, відповідно, 0,04 В і 0,072 В. Отже, для збільшення точності вимірювань необхідно збільшити кількість вибухової речовини до 1-2 кг.

Подальші дослідження (рис. 6), дали можливість визначити і величину поздовжньої швидкості в гірському масиві потужністю 15 м.

Датчик вертикальних коливань № 1 встановлювали на відстані 5 м від шпурового заряду вибухової речовини (800 г) на одному з горизонтів, поряд з осцилографом, на 15 м глибині розміщувався датчик вертикальних (поздовжніх) коливань № 2 і датчик горизонтальних коливань № 3, тобто різниця ходу для сейсмічної хвилі складала 10 м.

Запуск осцилографа здійснювався від сигналу датчика № 1. Як видно на сейсмограмі, часовий інтервал між приходом сигналів склав 1,6 мс, що відповідає швидкості розповсюдження хвилі 6250 м/с (при міцності породи $f=10-12$).

Постановка вимірювань при міцності породи $f=5-7$ (руда мартитова).

Вибух вибухової речовини масою 1,4 кг був здійснений на горизонті мінус 1130 м. Координати епіцентру вибуху (-9,5; 10,5; 0) щодо точки перетину осей 99 (вісь X) і 900 (вісь Y).

Сейсмічні датчики і осцилограф розміщувалися на горизонті мінус 1152 м на відстані 31 м - датчик вертикальних коливань № 1 і на відстані 33 м - датчик № 2 вертикальних коливань і датчик № 3 горизонтальних коливань [3,10,11].

Координати датчика № 1 (-22; 22; 22), датчика № 2 (-17; 23; 22). Пуск осцилографа здійснювався від датчика вертикальних коливань № 1.

Поріг запуску -20 мВ по фронту наростаючого сигналу. Чутливість по вертикалі - 200 мВ/поділку.

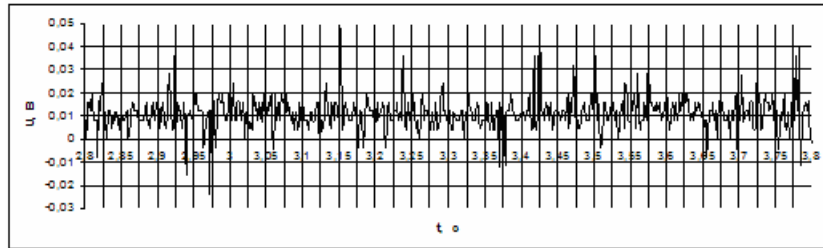


Рис. 4. Сейсмограма вертикальних фонових Z-коливання

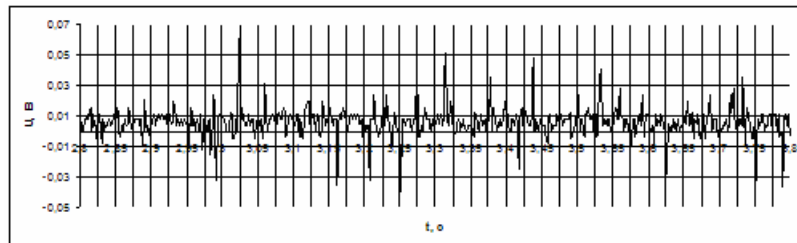


Рис. 5. Сейсмограма горизонтальних фонових X-коливання

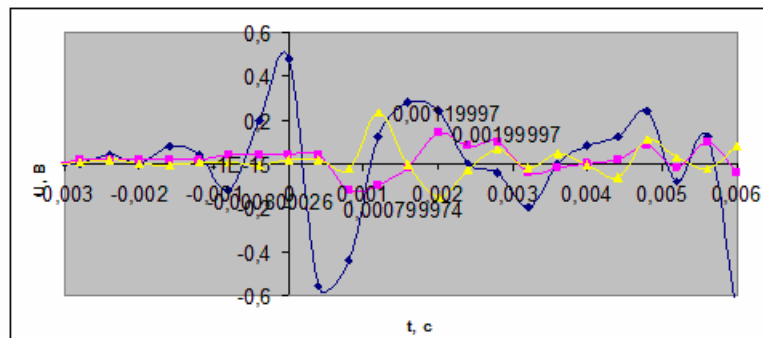


Рис. 6. Сейсмограма дослідження гірського масиву на шахті «Октябрьская»

Отримано в дослідженні сейсмограми приведено на рис. 7. З осцилограм видно, що максимальна швидкість коливання породи ($0,125$ м/с) виникла в районі датчика № 1. Час приходу максимальної по амплітуді хвилі $14,6$ мс. Сейсмограма, що підсумовує (рис. 7), відмінність в приході вертикальної хвилі (поздовжньої) на датчики № 1 і № 2 склало $2,4$ мс, що відповідає швидкості руху $0,84$ м/с. Часовий інтервал між імпульсом датчика вертикальних сейсмічних коливань $D1$, розташованим на відстані $2,5$ м від вибуху $1,5$ кг вибухової речовини і імпульсом датчика вертикальних сейсмічних коливань $D2$, розташованим на відстані 36 м від вибуху склав величину $\Delta\tau=7,0$ мс (рис. 8).

Різниця ходу між ними склала величину $33,5$ м. Отже, швидкість розповсюдження поздовжньої хвилі в породі міцністю $f=6-8$ склала величину 4786 м/с. Часовий інтервал між імпульсом датчика вертикальних сейсмічних коливань $D1$, розташованим на відстані $2,5$ м від вибуху $1,5$ кг вибухової речовини і імпульсом датчика вертикальних сейсмічних коливань $D3$, що розташовані на відстані 34 м склав величину $\Delta\tau=6,2$ мс.

Різниця ходу між ними склала величину $31,5$ м. Швидкість розповсюдження поздовжньої хвилі в породі міцністю $f=8-10$ склала величину 5080 м/с.

За даними, отриманими в дослідіх була визначена залежність швидкості м/с 3680 ; 4786 ; 5080 ; 6250 розповсюдження поздовжніх хвиль від міцності породи $4-6$; $6-8$; $8-10$; $10-12$ [4-7].

Для оцінки стабільності отримання методом спектрально-сейсмічного профілювання спектральної інформації було зареєстровано 10 спектрограм на одній і тій же реперній точці 13.

На рис. 9 всі 10 спектрограм представлено на одній діаграмі.

Стабільність спектрограм спектрально-сейсмічного профілювання гірського масиву в точці № 13 не визиває сумніву.

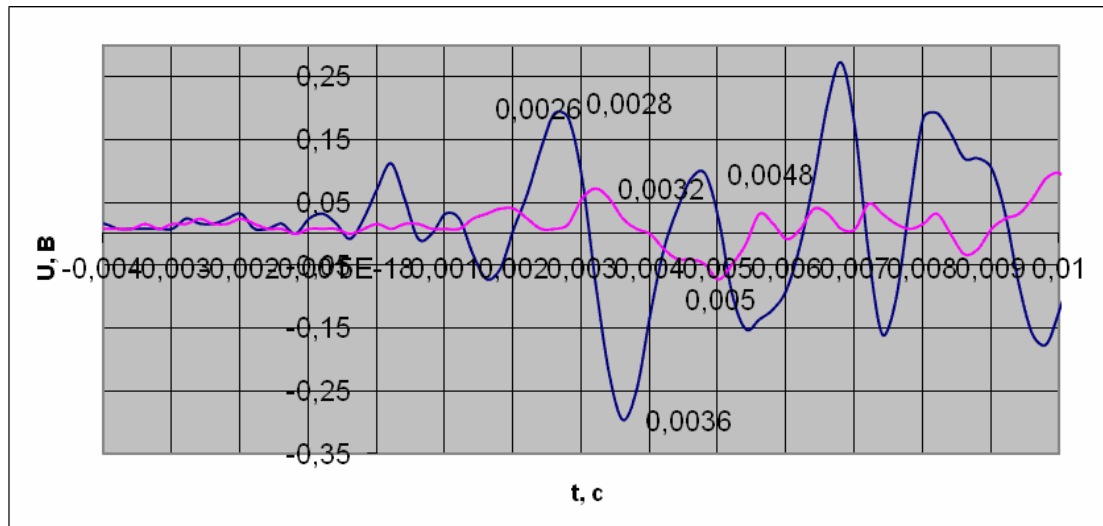


Рис. 7. Сейсмограми гірського масиву зареєстровані датчиками № 1 і № 2 на горизонті мінус 1132 м.

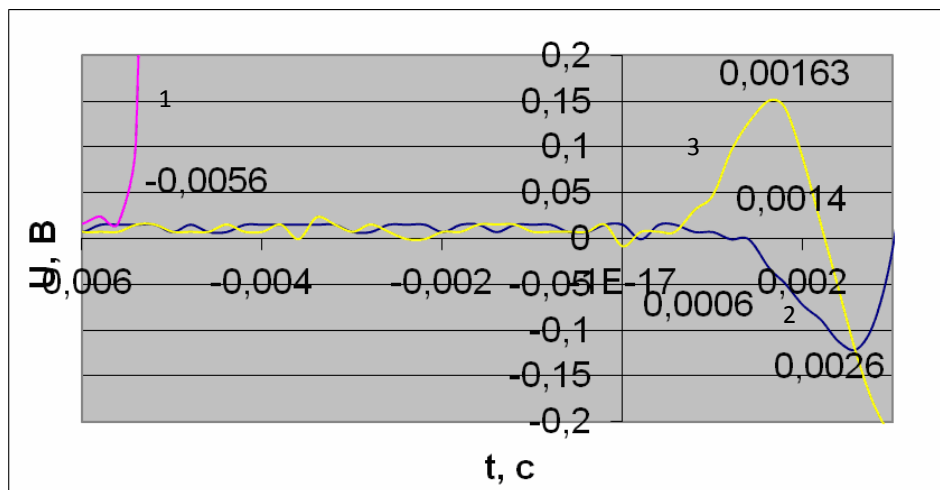


Рис. 8. Сейсмограма дослідження: 1 - датчик № 1; 2 - датчик № 2; 3 - датчик № 3

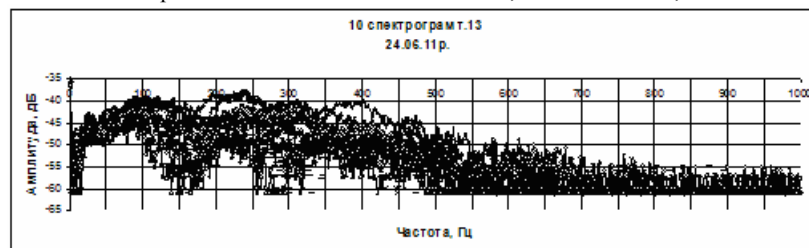


Рис. 9. Спектрально-сейсмічне профілювання гірського масиву в точці № 13

Висновки та напрямок подальших досліджень. Методика спектрально-сейсмічного профілювання напружено-деформованого гірського масиву дозволяє визначати швидкість поперечних і поздовжніх хвиль і контролювати міцність гірського масиву. Врахування цього факту дає можливість оптимізувати технологію вибухових робіт, а також вимірювати міцність породи. Метод спектрального сейсмічного профілювання дозволяє будувати перерізи напружено-деформованого гірського масиву з вказівкою глибини залягання неоднорідностей. Перманентні вимірювання дозволять контролювати стан напружено-деформованого гірського масиву, попереджаючи про можливі провали. Необхідно удосконалювати методику в частині створення сейсмічних приймачів, а також в частині програмного забезпечення обробки експериментів.

Список літератури

1. Здешиц В.М., Сидоренко В.Д. Сучасна техніка виявлення підземних порожнеч / Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг: КТУ. - Вип. 29, 2011. - С. 59-64.

2. **Здешиц В.М.** Визначення неоднорідностей та порожнеч в гірському масиві методом спектрального сейсмічного профілювання / **В.М. Здешиц, В.Д. Сидоренко, В.А. Сорокопуд, О.С. Намінат** // Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг: КТУ. - Вип. 29, 2011. - С. 78-82.
3. **Здешиц В.М.** Виявлення підземних порожнеч в гірському масиві методом спектрального сейсмічного профілювання / **В.М. Здешиц, В.Д. Сидоренко** // Гірничий вісник. - 2013. - Кривий Ріг - Вип. 96. - С. 93-97.
4. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений. / М-во. цветн. мет. СССР. Горное управление: Введена 03.07.86. - Разработана ВНИМИ, ВНИПИгорцвет. - М.: Недра, 1988. - 112 с.
5. Инструкция по производству маркшейдерских работ. - М.: Недра, 1987. - 240 с.
6. **Монахов А.В., Сазонов А.В., Шолох Н.В., Яковенко А.Л.** Развитие процесса сдвижения при отработке слепых рудных залежей в Криворожском бассейне // Вісник Криворізького технічного університету, 2011. - Кривий Ріг - Вип. 29. - С. 82-87.
7. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных работ в Криворожском железорудном бассейне. Ленинград: ВНИМИ, 1975. - 68 с.
8. **Сидоренко В.Д., Федоренко П.Й., Шолох М.В.** Автоматизація маркшейдерських робіт: Навчальний посібник. -2-е вид., перероб. і доп. Кривий Ріг: Мінерал, 2006. - 344 с.
9. **Сидоренко В.Д., Шолох Н.В.** Использование GPS-аппаратуры для наблюдений за сдвижением горных пород и земной поверхности в Кривбассе / Збірник доповідей науково-технічної конференції «Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості» 18-22 травня 2004 р., том 1, Кривий Ріг, КТУ, 2004. - С. 97-100.
10. **Шолох М.В.** Дослідження впливу близьких до поверхні пустот на експлуатацію залізрудних родовищ Кривбасу / **М.В. Шолох, К.С. Єлезов** // Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг, 2011. - Вип. 28. - С. 39-43.
11. **Шолох Н.В.** Направления развития системы обработки маркшейдерско-геологической информации / Н.В. Шолох, А.Л. Топчий // Разработка рудных месторождений. - Кривой Рог, 2010. - Вып. 93. - С. 94-97
12. **Baranowski M.** Zastosowanie fotogrammetrii w miernictwie podziemnym / **M. Baranowski** // Prz. gorniczy. - 1974. - Vol. 30. - № 11. - P. 571-577.
13. **Herzinger C. M.** Ellipsometric determination of optical constants / **C.M. Herzinger, B. Johs, McGahan and J. A. Woollan.** - 1995. - 123 p.
14. Deeper open pits // International Mining. - № 10. - 2009. - P. 52-55.

Рукопис подано до редакції 01.04.15

УДК 691: 692: 620: 624.01

В.В. СУРГАЄВ, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

ЗАСТОСУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ЗОВНІШНІХ ОГОРОДЖЕНЬ БУДІВЕЛЬ З ПІДВИЩЕНИМ ТЕПЛОЗАХИСТОМ

Виконано історичний огляд, проведено аналіз стану енергозбереження при будівництві і експлуатації промислових і громадських будівель, наведені проблемні питання в даному аспекті досліджень. У наш час у будівництві все більш широке поширення отримують технології зниження тепловтрат огорожувальних конструкцій, з використанням теплоізоляційних матеріалів на мінеральній основі «Rockwool» і панелей «Сендвич», пінобетону, «теплої» цегли.

Прогрес у даній галузі пов'язаний також з постійним зростанням жорсткості вимог до теплової захищеності будинків і загальною тенденцією до зниження енергозатрат і енергозбереженням у будівництві і при експлуатації будинків. Вітчизняний рівень техніки, технології, теоретичні і прикладні знання про процес дозволяють стверджувати, що в будівництві будинків з підвищеним теплозахистом, случений перліт, термоперліт, неопор-бетон, лігноперліт і інші розглянуті матеріали, унікальні по своїх властивостях і сферам застосування, будуть затребувані в усе більшій мірі.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Прогрес науки й технології в ХХ столітті обумовив радикальний перехід до широкого використання викопних палив, а в якості теплоносіїв стали використовувати пару й гарячу воду. На початку минулого століття для нагрівання води й пари стали використовувати чавунні котли «Стребеля» і «Стреля», у системах опалення знайшли широке застосування чавунні радіатори. У 30-х роках ХХ-го століття з'явилися перші теплофікаційні установки, які вирішували місцеві завдання тепlopостачання. Масове житлове будівництво в СРСР відбувалося вже з урахуванням накопиченого з початку ХХ-го століття досвіду вирішення завдань тепlopостачання, широко застосовувалися гідравлічні елеватори, чавунні радіатори, водяні насоси, електроприводи, електродугове зварювання.

Починаючи з 30-х років ХХ-го століття, широке поширення отримали централізовані системи тепло- й електропостачання міст і селищ країни, вироблення й споживання енергії в передвоєнні роки в 10 разів перевищило дореволюційний рівень.

У другій половині ХХ-го століття в країні розгорнулося масове житлове будівництво, спочатку у вигляді цегельного п'ятиповерхового, а згодом і 9-14 поверхового повнозбірного із залізобетонних елементів, а з 80-х років і двадцятиповерхового з повнозбірного із монолітного залізобетону [1].

Аналіз досліджень і публікацій. Сучасні тенденції розвитку огорожувальних конструкцій пов'язані з використанням збірних великорозмірних конструкцій індустріального виготовлення з високим ступенем заводської готовності: великих стінових панелей (офактурених і зашкленених); укрупнених комплексних перекриттів з готовою підлогою; об'ємних елементів (блоків) з обробкою всіх поверхонь; удосконалюванням конструкцій збірних елементів і їхніх сполучних вузлів, що пов'язано з необхідністю зниження ваги конструкції і будинку в цілому, застосуванням для виготовлення місцевих будівельних матеріалів [2-4].

Застосування збірних конструкцій також вимагає особливої уваги до конструктивних рішень з'єднувальних вузлів і якості виконання з'єднань (стикам, зв'язкам, кріпильним і закладним деталям), що дозволяє виключити можливість руйнування сумісних елементів протягом терміну служби, встановленого для будинку (споруди) у цілому.

Викладення матеріалів і результати досліджень. В Україні й Росії, із прийняттям Закону України «Про енергозбереження» (Введений в дію Постановою ВР № 75/94-ВР від 01.07.94, ВВР, 1994, № 30, ст.284) й аналогічного Федеративного закону Російської Федерації №28-ФЗ от 03.04.1996 г. «Про енергозбереження» були розроблені місцеві норми теплотехнічного проектування цивільних будинків з урахуванням енергозбереження (ТБН, рос. ТСН), аналогічні норми були прийняті й у Республіці Білорусь. У цих нормах зафіксовані вимоги по збільшенню приведенного термічного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій [2-13,18].

Розглянемо утеплювачі «Rockwool» на прикладах продукції: «Domrock» - служить для утеплення дахів, перегородок, мансард; щільність 22 кг/м³; «Rockmin» - утеплення дахів, перегородок, мансард; щільність 35 кг/м³; «Supergrock» - служить для утеплення дахів, перегородок, мансард; щільність 45 кг/м³; «Rockton» - утеплення, акустична ізоляція; щільність 50 кг/м³; «Panelrock» - утеплення фасадів під облицювання типу сайдінг; щільність 70 кг/м³; «Wentirock max» - вентилявані фасади; щільність 70 кг/м³; «Fasrock Lamella» - утеплення фасадів мокрим методом; щільність 90 кг/м³; «Fasrock max» - утеплення фасадів мокрим методом; щільність 105 кг/м³; «Fashrock» - утеплення фасадів мокрим методом; щільність 145 кг/м³; «Mongrock max» - утеплення плоских дахів на бетоні та профнастилі; щільність 145 кг/м³; «Dachrock max» - утеплення плоских дахів на бетоні та профнастилі; щільність 150 кг/м³; «Stroprock» - утеплення підлог на ґрунті; щільність 16 кг/м³ [12,13,18].

Сортамент продукції на основі мінеральної вати типу «Rockwool» досить великий, тому для того щоб читач міг отримати уявлення про властивості матеріалів, розглянемо лише декілька найпоширеніших теплоізоляційних матеріалів на основі порівняння характеристик, опису властивостей і галузей застосування, а також наведемо деякі аналоги.

«Rockmin». Опис: негорюче утеплення й акустична ізоляція. Застосування вентиляваного покриття для горіщ, дерев'яних балкових перекриттів, підвісних стель, легких каркасних стін і перегородок, підлог на лагах.

До основних технічних властивостей (характеристикам) можна віднести наступні: теплопровідність λ , 0,039 Вт/(м·°С); щільність, 26 кг/м³; характерне навантаження від власної ваги, кг/м³; класифікація по займистості НЗ - виріб незаймистий. Розміри, упакування та інші прикладні характеристики: довжина, 1000 мм; ширина, 600 мм; товщина варіюється від 50 до 200 мм; R (опір теплопередачі), від 1,25 до 5,10 (м²·°С)/Вт, також, упакування містить від 3 до 9 м², у піддоні від 75 до 180 м². Застосування нормується: ДСТУ Б В.2.7-98-2000. До аналогів можна віднести: «Rockmin Plus», «Domrock», «Megarock», «Supergrock» [12,13,18].

«Wigofol 100». Опис: вітрозахисна ізоляція, монтується на зовнішніх стінах з легкою каркасною або сталеву конструкцією. Застосування: у зовнішнім облицюванні й системах вентиляваних фасадів, добре захищає стіни будинку від вітру й від усякого роду вологи зовнішнього походження.

Переваги:

захист термоізоляції від висмикування волокон або запилення; запобігає переохолодженню будинку, утримуючи його високі теплові показники;

важко займистий; стабілізований від впливів ультрафіолетового опромінення, завдяки чому матеріал може бути під впливом сонячних променів до 3 місяців;

легке проведення монтажу (надруківка на плівці полегшують готування належної нахльостки); захищає термоізоляцію стін ззовні перед атмосферними опадами й не контрольованим потоком повітря, значно знижуючи втрати теплової енергії будинку;

високий S_d (0,01 м) гарантує належну вентиляцію стін будинку, захищаючи від конденсації вологи усередині конструкції й можливого в такому випадку появою грибка й цвілі [12,13,18].

До основних технічних властивостей (характеристикам) відносять наступні: поверхнева вага, $100 \text{ г/м}^2 \pm 5\%$; проникність водяної пари $\geq 2200 \text{ г/м}^2$; коефіцієнт $S_d^* \sim 0,01 \text{ м}$

(*Примітка. Важлива характеристика S_d , називається «Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke» і її поняття введене в п. 3.7 DIN 52615.

У російській технічній літературі вона звичайно зветься «дифузійно-еквівалентна товщина шару повітря» або «повітряний еквівалентний проміжок». S_d характеризує товщину шару повітря в метрах, що має рівну паропроникність із шаром матеріалу товщиною d у метрах і коефіцієнтом паропроникності m , тобто.: $S_d = d \cdot \mu$, м. $\mu_{\text{СНИП}} = \delta_B \cdot d / S_d$, де δ_B - паропроникність повітря при певній температурі.

Зробимо два важливих, на наш погляд, зауваження.

По-перше, очевидно, що S_d , на відміну від μ , характеризує не матеріал, а будівельну конструкцію.

По-друге, у технічних свідоцтвах деяких фірм, що поставляють дану продукцію на ринки країн СНД, наприклад, імпорتنі сухі суміші або утеплювачі (відзначимо, що це матеріали), вказується опір паро проникненню R , а не μ .

Посилання ж на товщину d матеріалу, при якій був вимірний опір паропроникненню, відсутні. Така характеристика непотрібна для проектувальників, тому що характеризує тільки конкретну одношарову або окремих шар багатошарової конструкції. Не знаючи товщини d , неможливо знайти розрахункове значення коефіцієнта паропроникності матеріалу. Відзначимо, що для того щоб зрозуміти зміст фізичної величини, треба зрозуміти її розмірність. У СНиП П-3-79* Додаток 3*: кожний матеріал характеризується коефіцієнтом паропроникності μ , мг/(м·год·Па) (кількість водяної пари в міліграмах при певній температурі, що проходить через 1 м матеріалу за 1 годину при різниці тисків в 1 Па). Саме ця характеристика й потрібна для проектувальників, які повинні оцінювати дифузійну водяної пари в конструкції при застосуванні різних матеріалів [9, 14-16].

У цьому ж нормативному документі введене поняття опору паропроникності R , (м²·год·Па)/мг, одношарової або окремого шару багатошарової огорожувальної конструкції. Кількісне вираження для R характеризує конкретну огорожувальну конструкцію, а саме, опір 1 м² конструкції дифузії водяної пари за 1 годину при різниці тисків по обидва боки в 1 Па) міцність на розрив уздовж 180 Н/5 см; міцність на розрив поперек 110 Н/5 см; температурний режим від -40 °С до +120 °С.

Продукція компанії «Foliarex» сертифікована і має інші дозвільні документи відповідно до законодавства України. Схожі матеріали: «Strotex 1300 Basic», «Strotex 1300V» [12,13,18].

«КТ Спеціал». Опис: легкі універсальні теплоізоляційні мати (рулони), виготовлені зі скловолокна за запатентованою технологією волокноутворення TEL. Застосування: для використання в не несучих навантаження конструкціях, при новому будівництві й реконструкції горищних приміщень, міжповерхових перекриттів, підлог по лагах перегородок.

До основних технічних властивостей (характеристикам) можна віднести наступні: теплопровідність, λ , 0,042 Вт/(м·°С); класифікація по займистості: НЗ - виріб незаймистий; розміри й упакування наступні: довжина, 8500×2 мм; ширина, 1220 мм; товщина, 50+50 мм; кількість м² в рулоні 20,74; кількість упакувань на піддоні, 25.

Схожі матеріали: «Каркас М40 - TWIN», «КТ Класік», «КТ Класік - Еко» [12,13,18].

«Alfagock». Мати "Alfagock" застосовуються для теплоізоляції невеликих резервуарів і низькотемпературних труб, трубопроводів і т.п. Технічні характеристики: теплопровідність λ при 10 °С, 0,034 Вт/(м·°С); теплопровідність λ при 40 °С, 0,038 Вт/(м·°С); теплопровідність λ при 100 °С, 0,047 Вт/(м·°С); теплопровідність λ при 150 °С, 0,058 Вт/(м·°С); теплопровідність λ при 200 °С, 0,070 Вт/(м·°С); щільність, 60 кг/м³; Робоча температура, t , 250 °С; класифікація по зай-

мистості НЗ - виріб незаймистий. Розміри й упакування: довжина 5000 мм; ширина 1000 мм, товщина 40-60 мм; кількість м² у рулоні, 5,0. Застосування нормується: ДСТУ Б В.2.7-98-2000.

Схожі матеріали: «Rockmata», «Wired mat», «Techrock», «Firebatts» [12,13,18].

«Fasrock max». Опис: незаймите утеплення й акустична ізоляція. Застосування: зовнішні стіни; каркасні стіни; підвальні переkritтя над гаражами й проїздами. До основних технічних властивостей (характеристик) можна віднести наступні: теплопровідність λ , для товщ. >100 мм, 0,037 Вт/(м·°C); теплопровідність λ , для товщ. 80-100 мм, 0,039 Вт/(м·°C); характерне навантаження від власної ваги, 1,0 - 1,05 кН/м³; класифікація по займистості НЗ - виріб незаймистий.

Розміри, упакування інші прикладні характеристики: довжина, 1000 мм; ширина, 600 мм; товщина, 80 - 200 мм, R (опір теплопередачі), від 2,05 до 5,55 (м²·°C)/Вт; Кількість м² в упаковці: 1,8 - 1,2; кількість м² у піддоні 36-14,4. Застосовується відповідно до норм: ДСТУ У Б В.2.7-99-2000.

Схожі матеріали: «Fasrock», «Fasrock LL», «Frontrock max-E» [12, 13, 18].

«Wentirock max». Опис: незаймиста акустична ізоляція. Застосування: для зовнішніх стін з фасадним облицюванням і стін, що обгороджують; високих перегородок. Технічні характеристики: теплопровідність λ , 0,036 Вт/(м·°C); щільність (середня), 55 кг/м³; класифікація по незаймистості НЗ - виріб незаймистий. Розміри й упакування: довжина, 1000 мм; ширина, 600 мм; товщина, 100-150 мм; R (опір теплопередачі), 2,75-4,15 (м²·°C)/Вт, кількість м² в упаковці 3,0-2,4; кількість м² в піддоні 75-45. Застосування нормується: ДСТУ У Б В.2.7-99-2000.

Схожі матеріали: «Panelrock», «Rockton», «Panelrock F», «Wentirock max-F» [12,13,18].

«Mongrock max». Опис: незаймите утеплення. Застосовується для: плоскої покрівлі по профнастилу або масивному переkritтю під руберойд або плівку ПВХ; для покрівель, де передбачене пересування тільки з метою проведення ремонту. До основних технічних властивостей (характеристик) можна віднести наступні: теплопровідність λ , 0,039 Вт/(м·°C); характерне навантаження від власної ваги, 1,45 кН/м³; Зусилля на стиск при 10 % відносної деформації, кПа >40; Міцність на розтягання перпендикулярне до поверхні, кПа >7,5; короткочасне вбирання води методом часткового занурення, кг/м² <1,0; стискаємість (відносна деформація) при навантаженні 40 кПа, % <14; стискає зусилля при крапковому навантаженні, що приводить до деформації 5 мм для товщ. 80-200 мм, кПа >70; класифікація по займистості НЗ - виріб незаймистий. Розміри й упакування: довжина, мм 1000; ширина, 600-1200 мм; товщина, 50-200 мм; R (опір теплопередачі), 2,4-1,2 (м²·°C)/Вт; кількість м² на піддоні 12-60. Застосування нормується: ДСТУ У Б В.2.7-99-2000. Схожі матеріали: «Dachrock max», «Mongrock pro», «Dachrock prof», «Spodrock» [12,13,18].

Теплоізоляційні матеріали на неорганічній основі, а до них, безумовно, відносяться й волокнисті теплоізоляційні матеріали з мінерального й скловолокна, є основними в рішенні питань теплозахисту будинків і устаткування.

Останнє пояснюється їхньою екологічною чистотою, пожежобезпечністю й довговічністю. Крім розглянутих вище матеріалів, останнім часом все більше поширення в будівництві отримують теплоізоляційні бетони - як газонаповнені (пінобетон, пористий бетон, газобетон), так і на основі легких заповнювачів (керамзитобетон, перлітобетон, полістиролбетон і т.ін.).

Найбільше активно в наш час розвиваються газонаповнені бетони, що обумовлено простою технології, доступністю сировинних матеріалів, невисокою ціною й гарними теплоізоляційними властивостями.

Спостерігається розвиток виробництва газонаповнених бетонів, особливо в Російській Федерації, вони знаходять застосування в будівництві малоповерхового житла з монолітного пінобетону або з великих елементів, що виготовляються на місці будівництва.

Постійне зростання вартості енергії збільшує питому вагу безавтоклавних пористих бетонів - пінобетонів. Серед них і неопор-бетон - легкий пористий бетон, отриманий у результаті твердіння розчину, що складається із цементу, піску, води й піни, отриманої з використанням протейнового піноконцентрату.

Задана щільність бетону досягається зміною співвідношення компонентів. Побудовано тисячі будинків і споруд, у яких неопор-бетон використали для утеплення дахів (середня щільність бетону 80-400 кг/м³), для заповнення пустотних просторів (вироблені шахти, каналізаційні системи й ін., щільність 600-1000 кг/м³), для виготовлення стінових блоків, плит і панелей (щільність 700-1400 кг/м³) [17,19].

За останні роки з використанням зазначених конструкцій побудовані різні типи будинків від котеджів і магазинів до багатоповерхових житлових будинків.

Основою цієї системи є блоки полістирол-бетону щільністю $150-550 \text{ кг/м}^3$ при міцності $0,5-2,5 \text{ МПа}$. Постійні коливання вартості стирольної сировини перешкоджають широкому впровадженню пінополістирольних конструкцій що приводить до застосування неорганічних наповнювачів: шлаків, перліту, керамзиту та ін., що знижує вартість конструкції.

При інтенсивному розвитку будівництва з пінобетону, пінополістиролбетону в країні не випускаються теплі кладочні розчини й сухі суміші.

Разом з тим за рубежом (наприклад, фірма «Otavi», Германія) для поліпшення теплотехнічних характеристик будинків випускає й використовує кладочні розчини на спученому перліті. Щільність цього розчину у шві становить $500-600 \text{ кг/м}^3$, що дозволяє ліквідувати містки холоду в кладці.

Виробництво такого матеріалу нескладно організувати на заводах, що роблять спучений перліт, або на заводах сухих сумішей. Розчин може випускатися залежно від теплопровідності використаного матеріалу стін з тим же коефіцієнтом теплопровідності й доставляється в рідкому виді на будівельний майданчик.

Із заданими теплофізичними властивостями може бути виготовлена й суха суміш, затвердіння якої може відбуватися безпосередньо на будівельному майданчику. Такі розчини можуть бути використані як при виготовленні панелей стінових конструкцій типу «Сендвич», так і при ізоляції методом заливання порожнин стін цегельної кладки й при монолітному домобудівництві.

Перлітові розчини добре зарекомендували себе при ізоляції простору між стелею верхнього поверху й покрівлею при утепленні будинків старих серій [17,19].

Науково-дослідною організацією «Теплопроект»* (*Примітка: «Теплопроект» - науково-дослідна організація, що займається проектуванням і стандартизацією промислових труб, трубного господарства, теплоізоляції й т.ін.), проведені дослідження й отримані позитивні результати по композиційному матеріалі - пінополістирол бетону, що одержав умовну назву дпп-бетон.

Він представляє собою композицію, що складається з пінобетону, що утворює безперервний каркас, і гранул пінополістиролу, що заповнюють заданий об'єм у каркасі.

Щільність дпп-бетона може змінюватися від 300 до 900 кг/м^3 ; міцність при стисненні при цьому змінюється, відповідно, від 10 до 50 кг/см^2 ; коефіцієнт теплопровідності - від $0,065$ до $0,15 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°К)}$. Залежно від вмісту гранул пінополістиролу дпп-бетон може бути віднесений до незаймистих або мало займистих матеріалів.

Виготовлення цього матеріалу не вимагає великого парку форм, оскільки розпалубку можна робити через $20-30$ хвилин після формування [17,19].

Поліпшити теплотехнічні характеристики будинків, що споруджуються чи знаходяться в експлуатації, можливо із застосуванням теплих штукатурок. Штукатурка може бути нанесена при виконанні робіт, як на зовнішню, так і на внутрішню поверхню будинків. До складу входять теплоізоляційний наповнювач, зв'язувальна речовина й добавки.

Крім перліту в якості наповнювачів можуть бути використані гранули пінополістиролу, піноскла й т.ін., однак, на погляд експертів, пріоритет повинен бути відданий неорганічним матеріалам, а в якості сполучного - цементу, гіпсу.

При товщині шару $4-6 \text{ см}$ опір теплопередачі цегельних стін може бути збільшений у $1,5-2$ рази. Добре поєднуються перлітові штукатурки з пористим бетоном, пінобетоном і іншими матеріалами, особливо в тих випадках, де потрібно забезпечити необхідну газопроникність [17,19].

Близько 50 років тому був отриманий у промислових умовах перший кубічний метр спученого перліту. З тих пір світовий обсяг випуску цього матеріалу досяг 20 млн м^3 на рік. За рік у світі переробляється близько 2 млн т перлітових порід, а в середньому в 1990 -х роках, щорічний приріст обсягів виробництва цього матеріалу склав біля 10% [17,19].

Найбільш великим виробником спученого перліту й продукції з нього є США, де виробляється біля 7 млн м^3 у рік цього продукту. Аналіз структури споживання спученого перліту в США показує, що основна його частина (до 70%) використовується в будівництві.

На початок 1990 -х років у Радянському Союзі вироблялося не менш як 2 млн м^3 на рік цього матеріалу на більш ніж 60 заводах. На більшості заводів діяли вітчизняні лінії, розроблені

науково-дослідною організацією «Теплопроект». У наш час працюють 14 підприємств, які виробляють у цілому біля 600 тис. м³ спученого перліту в рік [17,19].

Спучений перліт перспективний матеріал, що далеко не вичерпав себе у вітчизняному будівництві, має великий потенціал розвитку його застосування і в штукатурках і кладочних розчинах, як засипна ізоляція стін, підлог, покрівлі, підтвердженням цьому є світовий досвід [17,19].

Термоперліт, на відміну від інших виробів з перліту, характеризується низькою вологістю формувальної маси (25 - 35 %), що дозволяє організувати його виготовлення за прокатно-конвеєрною технологією й зробити його практично безвідходним, крім того, знижена вологість формувальної маси цих виробів дозволяє на 25-30 % знизити енерговитрати на їхню теплову обробку, у результаті виходить екологічно чистий і пожегобезпечний матеріал.

Термоперліт, що не має у своєму складі органічних сполук, застосовуємо для ізоляції гарячих поверхонь (до 600 °С) і як вогнезахисна й вогнестійка будівельна ізоляція. Як сполучник використовуються гідроксид натрію і його солі. Мала початкова вологість дозволяє вести процес спікання в одну стадію за конвеєрною технологією протягом 1,5-2 годин при температурі 580 °С [17,19].

Лігноперлітові плити призначені для утеплення будинків, споруд і устаткування з температурою ізолюваних поверхонь до 200 °С. У якості сполучки застосовуються лігносульфонати з невеликою кількістю добавок фосфорної кислоти й кремнійорганічної рідини ГКЖ-10, 11. Лігносульфонати, відомі в техніку як концентрати сульфідно-дріжджової бражки (СДБ), є доступним джерелом сировини. Їхній вміст у матеріалі може становити від 7 до 20 % по масі.

Залежно від вмісту сполучного лігноперліт відносять до незаймистого й важко займистого матеріалу, але, на жаль, виробництво цього матеріалу так і не вийшло за рамки дослідного [17,19].

Ряд заводів країни продовжує випускати спучений вермикуліт і вироби на його основі. Часто спучений вермикуліт використовують у тих же умовах і в тих же композиціях, що й спучений перліт, перший не витримує конкуренції в силу дорожечі сировини. Разом з тим у ряді напрямків використання вермикуліту немає рівних.

Світовий досвід, вітчизняна практика показують, що найбільш ефективно застосування вермикуліту у вогнезахисті й виробництві вогнетривів. Унікальні іонообмінні характеристики при високій розв'язаній поверхні більш раціонально використати в гідропоніці, хімічній промисловості й атомній енергетиці [17,19].

Відроджується інтерес дослідників і виробників до «теплої» цегли, спостерігається певне зростання виробництва діатомової цегли.

Введення в композицію спученого перліту дозволяє в кілька разів скоротити час теплової обробки, а отже, і витрати теплоти на його виробництво. Устаткування дозволяє на невеликих виробничих площах випускати значні обсяги продукції різних розмірів - від стандартної цегли до плит.

Дану цеглу використовують при будівництві печей, інших теплових агрегатів, у будівництві котеджів і іншому малоповерховому будівництві, як несучий конструкційний матеріал, а в багатоповерховому будівництві - як утеплювач [17, 19].

У Європейському Союзі лідером у виробництві теплоізоляційного пінобетону є німецька фірма «Неопор», з 1975 р. що запровадила свою технологію виробництва пінобетону в 40 країнах світу. Подібні технології отримали широке поширення в Німеччині, Швеції, США, Південній Кореї й ін. країнах.

Є досвід використання в бетонах легких перлітових пісків «Центрального науково-дослідного й проектного інституту житлових і суспільних будинків» (м. Москва, Росія), що дозволяє знизити їхню щільність до 600 - 800 кг/м³. З напрямками керамзитоперлітобетонів і перлітобетонами довгі роки працювали Воронезький ДСК (п. Придонской), Улан-Уденський ДБК-1, завод ЗБВ (м. Нальчик). У місті Шелехові Іркутської області більше чверті століття будують будинки з перлітобетону. На Апрелевському дослідному заводі в 1999 р. введено в експлуатацію лінію з виробництва перлітодіатомової цегли, що отримала торговельну назву термосилікор, також, за результатами досліджень теплоізоляційних матеріалів на основі перліту: лігноперліт, епсоперліт, термоперліт і перлітодіатоміт, науково-дослідною організацією «Теплопроект», введена в експлуатацію лінія по виробництву термоперліта на тому ж заводі.

Є досвід виробництва й застосування з 1992 р. неопор-бетону в Україні та Російській Федерації на заводах ЗБВ ЗАТ «Корпорація будматеріалів» (АТ «Новостром»), розроблений вітчизняний варіант технології теплоізоляційного пінобетону, що не поступається по своїм характеристиках німецькому аналогу, що досягнуто за рахунок використання «ноу-хау» і патентів вітчизняних галузевих інститутів і організацій: АТ «Новостром», НДЦБМВ (м. Київ, Україна), МДБУ (м. Москва, Росія), АТ «Науково-дослідний Інститут будівельних матеріалів ім. П.П. Буднікова» (Красково) та ін., уведені в дію ВНДІ «Залізобетон» (м. Москва, Росія) заводи полістирол бетонних конструкцій «Юнікон-ЗСК» потужністю 350 тис. м² [17].

До виробників теплоізоляційних будівельних матеріалів ставляться ЗАТ «Центр Перліт» і його засновники: Апрелевський дослідний завод тепловиробів, АТ «Теплопроект», Хотьковський АТ «Теплоізоліт», які виробляють і поставляють спучений перліт для теплих штукатурних сумішей. Лідером у цій області також є компанія «ТПІ-Кнауф» (є виробництва в містах Красногорськ, Санкт-Петербург, Краснодар), використовуючи для цього більше 60 тис. м³ спученого перліту в рік і розширює випуск цього матеріалу. Перлітоцементні плити й шкарлупи (Хотьковський АТ «Теплоізоліт», Дмитровський ЗТПВ), перлітобітумні плити (ЖЗБИ-2, м. Железнодорожськ), перлітофосфогелеві й перлітопласт-бетонні плити (АТ «Будперліт», м. Митиці) і ін.

Користується попитом пінодіатомітова цегла Інзенського заводу (ТОВ ПФ «Інзенський деревообробний завод» (Найбільше підприємство Інзенського району Улянівської області, засновано в 1905 р.). Виробник кладочних розчинів на спученому перліті - ВАТ «Головний завод».

Висновки й шляхи подальших досліджень. Технології зниження тепловтрат огорожувальних конструкцій, з використанням теплоізоляційних матеріалів на мінеральній основі типу «Rockwool» і огорожувальних конструкцій панелей «Сендвич».

Прогрес у даній галузі пов'язаний також з постійним зростанням жорсткості вимог до теплової захищеності будинків і загальною тенденцією до зниження енергозатрат і енергозбереженням у будівництві і при експлуатації будинків.

Вітчизняний рівень техніки, технології, теоретичні і прикладні знання про процес дозволяють стверджувати, що в будівництві будинків з підвищеним теплозахистом, спучений перліт, термперліт, неопор-бетон, лігноперліт і інші розглянуті матеріали, унікальні по своїх властивостях і сферам застосування, будуть затребувані в усе більшій мірі.

Список літератури

1. Варфоломеев Ю.М. Тепловые сети. / Варфоломеев Ю.М., Кокорин О.Я - М: ИНФРА-М, 2006, с. 480.
2. Строительные нормы и правила, ч. 2, раздел В, гл. 6. Ограждающие конструкции, М., 1964
3. Конструкции гражданских зданий, под ред. М. С. Туполева, М., 1968;
4. Конструкции промышленных зданий, под ред. А. Н. Попова, М., 1972.
5. МГСН 2.01-99 Энергобережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодозлектроснабжению: М.-Правительство Москвы 1999.
6. ТСН НТП-99 МО Нормы теплотехнического проектирования гражданских зданий с учетом энергобережения: М. – Администрация Московской области, 2001
7. Осипов Г.Л., Матросов Ю.А. Стратегия устойчивого развития строительного комплекса России. – Реконструкция жилья. Вып. 8, 2007. – К., УкрНИИпроектреконструкция. – С. 265-274.
8. СНИП 23-02-2003 Тепловая защита зданий. – М.: ФГУП ЦПП, 2004
9. СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника».
10. Строительные нормы Республики Беларусь 265-274 2.04.01-97 «Строительная теплотехника».
11. ДБН В.2.6-31:2006 «Конструкції будинків і споруд. Теплоізоляція будівель».
12. Строительные услуги : : Стальные конструкции - Украина: <http://sku.com.ua/topmenu/building-services/>
13. Rockwool - базальтовая минеральная вата продаж Днепропетровск, о продукте: http://www.ati.com.ua/rockwool-bazaltovaya-mineralnaya_bbc_842902.html
14. Bogacz J / Z zagadnien ochrony cieplnej budynkow. – “Przegląd Budowlany”, 1972, №12, s.645-650 (польск.).
15. ДСТУ Б В.2.7-105-2000 (ГОСТ 7076-99) Матеріали і вироби будівельні. Метод визначення теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі.
16. Соловьева Р.Ф. Определение коэффициента теплопроводности в зависимости от потенциала влажности. - Строительные конструкции, строительная физика. Вып.9, 1978. – М., ЦИНИС Госстроя СССР.
17. Вилнитис М.Я Исследования процессов высыхания и теплового потока стен из газобетона AEROC / Вилнитис М.Я., Новикс Ю.О., Паплавскис Я.М. // 36. Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка, 2007. - №24 – С.101-105.
18. Применение ROCKWOOL: http://www.atmarket.kiev.ua/primenenie_rockwool.html
19. Теплоизоляция на неорганической основе. Перлитцементные плиты и скорлупы, перлитофосфогелевые и перлитопласт-бетонные плиты. Термоперлит, вспученный вермикулит: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-126-teploizolyaciya/5.htm>

Рукопис подано до редакції 03.03.15

УДК621.9.04: 622.012

В.П. НЕЧАЕВ, канд. техн. наук, доц., Л.А. БУГАЙ, ст.преподаватель
Криворожский национальный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ПОВОРОТНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕНОСНЫХ И ТЕЛЕСКОПНЫХ ПЕРФОРАТОРОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В ШАХТНЫХ УСЛОВИЯХ

На шахтах Украины наряду с классическими отечественными конструкциями пневматических переносных и телескопных перфораторов, массово закупаются и внедряются в горнодобывающую отрасль переносные и телескопные перфораторы моделей УТ28, УТ24, УТ27, УСП45 (Китай). Эти модели разработаны на давно известных и традиционных для перфораторов принципах, у которых зависимый поворот буровой штанги осуществляется с помощью храпового механизма и геликоидальной пары. Эффективность работы переносных и телескопных пневматических перфораторов определяется конструктивными их параметрами ударно-поворотного механизма, который является одним из основных узлов перфораторов и определяет важные его показатели: величину энергии удара, скорость вращения бура, крутящий момент. Частые поломки и износы этих деталей, снижают технологические показатели переносных и телескопных пневматических перфораторов. Одной из причин может быть, не выдержанные требования термической обработки технологического процесса изготовления деталей ударно-поворотного механизма. Для повышения эксплуатационных свойств деталей поворотных механизмов переносных и телескопных перфораторов необходимо произвести металлографическое исследование деталей поворотных механизмов переносных и телескопных перфораторов. Для металлографического исследования выбраны детали ударно-поворотного механизма «Винт поворотный». Целью исследования: определение химического состава металлов, их твердости и микроструктуры. Выявлены причины вызывающие разрушения деталей перфораторов и поставлены задачи для проведения новых исследований.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время на горнорудных предприятиях Украины преобладают импортные переносные пневматические перфораторы с зависимым поворотом бурового инструмента [1]. Усиленно рекламируемые дешевые импортные китайские переносные пневматические перфораторы моделей УТ24, УТ28 и телескопные пневматические перфораторы модели УСП45, массово закупаются горнорудными предприятиями Украины. Однако сомнительные технологии изготовления деталей перфоратора, а также их химический состав и технология термической обработки, быстро выводят перфоратор из рабочего строя [5,6]. Согласно [1,2] данным технической документации переносных и телескопных пневматических перфораторов, наиболее быстро выходящими из строя являются детали геликоидальной пары (поворотный винт и поворотная гайка), боек, крылатка, цилиндр, поршень. В результате сопряжений подвижные детали перфораторов работают в условиях полусухого или сухого трения, а это приводит к повышению затрат энергии на трение, снижению шероховатости сопряжений, а также приводит их к повышенному износу.

Определение факторов влияющих на интенсивность абразивного изнашивания в сопряженных деталях пневматических переносных и телескопных перфораторов, является актуальной проблемой.

Анализ исследований и публикаций. Изучению физических процессов, происходящих в зоне контакта трущихся поверхностей, посвящены работы известных исследователей: Амонтона, Кулона, Зорева, Лоладзе, Боудена и других. В настоящее время отсутствуют четко установленные закономерности трения и износа, определяемые физической природой контактируемых материалов, которые позволили прогнозировать работоспособность пар трения и целенаправлено осуществлять выбор материала контактной поверхности для конкретных условий эксплуатации, обеспечивающего минимальное трение и износ. Источником механической прочности твердого тела служат силы межмолекулярного сцепления, величина их зависит от природы взаимодействия этих сил и выражается через показатель модуль упругости соответствующего материала.

Наибольший интерес представляют исследования направленные на установление процесса преждевременного разрушения твердого тела.

Процесс преждевременного разрушения твердого тела на атомном уровне был описан А.Гриффитсом [7], причиной которых являются нанотрещины. Прочность материала зависит от нанотрещин. В металлах образуются сверхмелкие атомно-острых трещины (нанотрещины),

длины которых равны или близки к межатомному расстоянию вызванные внутренними напряжениями системы. Увеличение этого напряжения вызовет самопроизвольное движение трещин.

По данным Е. Орован [11] образование нанотрещин связано с работой микропластической деформации, а по данным К. Инглису [11] напряжения возникающие в вершинах трещин зависят от номинального напряжения, длины и остроты трещины.

Анализ литературных данных выявил факторы, влияющие на процесс трения и разрушения в сопряженных деталях пневматических переносных и телескопных перфораторов.

Постановка задачи. Для повышения эксплуатационных свойств деталей поворотных механизмов переносных и телескопных перфораторов необходимо решить следующую задачу: провести металлографическое исследование деталей поворотных механизмов переносных и телескопных перфораторов.

Изложение материала и результаты. Объектами настоящих исследований были поворотные винты (рис. 1) переносных перфораторов модели УТ28, эксплуатируемых в условиях шахт Кривбасса.

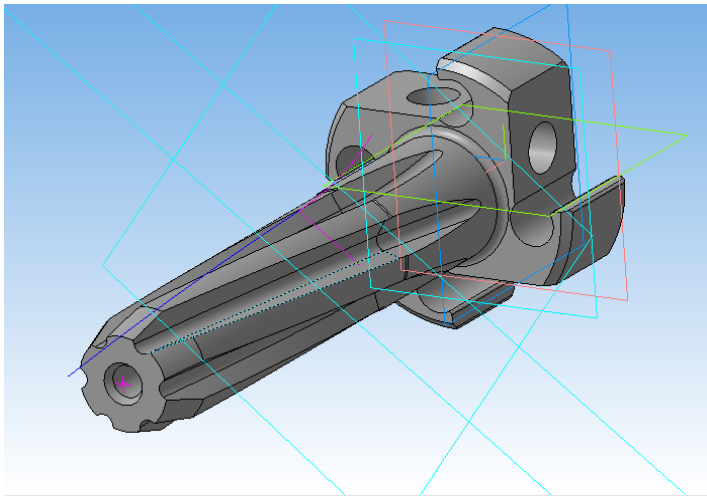


Рис. 1. Винт поворотный

Металлографические исследования проводились в центральной заводской лаборатории предприятия ОАО «Криворожгормаш» и ЧАО «КОНСТАР».

Цель исследования: определить химический состав, твердость и микроструктуру.

Химический анализ определялся - по легирующим элементам – на спектрографе ИСП-30.

Твердость измерялась на твердомере Роквелл ТК -14-250.

Микроструктура металла и толщина цементации изучалась на шлифах с помощью оптического микроскопа «Neophot-21» (CARL ZEISS JENA).

Микроструктура и цементированный слой выявлялись химическим травлением в 4 %-м растворе азотной кислоты в этиловом спирте.

Результаты исследования по детали винт поворотный.

Результаты химического анализа [4] представлены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав материалов

Результаты химического анализа в процентах						Заключение по анализу
C	S	Si	Mn	Cr	Ni	
0,24	0,021	0,26	0,59	0,86	0,11	20X ГОСТ4543-71

Твердость цементированного слоя: 50-56,5 HRC₃.

Твердость сердцевины металла: 29-33 HRC₃.

Толщина цементации [4]: по поверхности вершин зубьев - 0,8 мм; по впадине зубьев - 0,5-0,6 мм; по боковым поверхностям зубьев - 0,5-0,6 мм.

В центре образца от отверстия - 0,5-0,6 мм.

Насыщенность цементированного слоя углеродом: доэвтектоидная+эвтектоидная+ заэвтектоидная на поверхности. В заэвтектоидной зоне имеются мелкие глобулярные карбиды с тонкой разорванной карбидной сеткой, а местами грубая. На вершине зуба в заэвтектоидной зоне значительное количество карбидов в виде разорванной сетки достаточно грубой (балл 6К).

По сечению зуба насыщенность углеродом неравномерная: на боковых поверхностях зуба цементация недостаточная, насыщенность доэвтектоидная, концентрация углеродом составляет

0,6-0,7 %. По внутрішньому отверстію глибина цементации составляет 0,5 мм, насыщенность углеродом доэвтектоидная + эвтектоидная + заэвтектоидная на поверхности составляет 0,2 мм.

В заэвтектоидной зоне тонкая разорванная карбидная сетка.

Микроструктура [3] закаленного цементированного слоя представлена на рис. 1,2

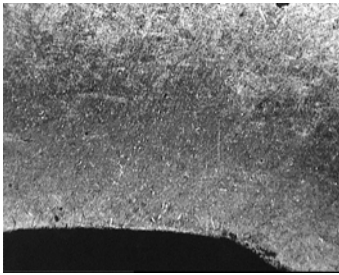


Рис. 1. X50

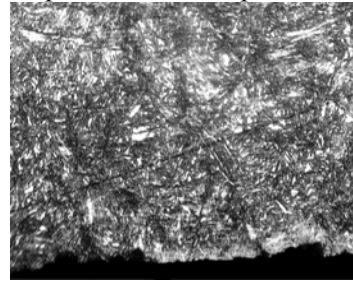


Рис. 2. X400

Микроструктура закаленного цементированного слоя – мартенсит тонкого строения, на отдельных участках небольшое количество остаточного аустенита, равномерно распределенного (балл 1 М-А, 2М - А), карбиды преимущественно находятся на вершине зуба и на впадине. Карбидная фаза на впадинах зубьев в виде единичных очень мелких глобулей (балл 2К) и кое-где фрагменты сильно разорванной тонкой карбидной сетки.

Микроструктура [3] закаленного цементированного слоя вершин зубьев представлена на рис. 3-5.

На вершине зуба на глубине 0,05-0,08 мм в закаленном цементированном слое присутствует значительное количество фрагментов тонкой сильно разорванной карбидной сетки, местами разорванная сетка достаточно грубая (балл 6К).

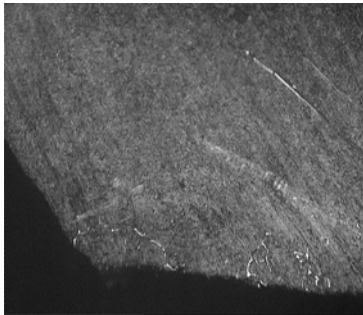


Рис. 3. X100

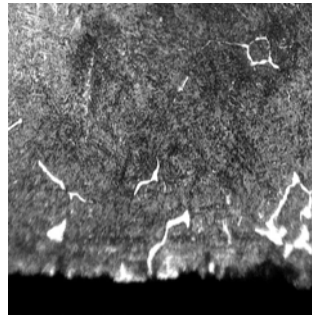


Рис. 4. X400

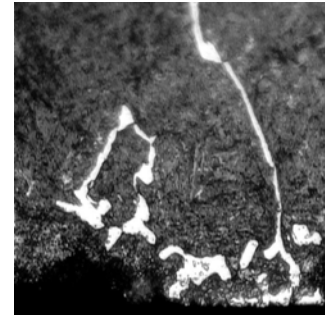


Рис. 5. X630

Микроструктура [3] сердцевины представлена на рис. 6,7.

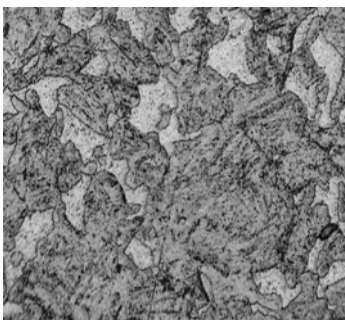


Рис. 6. X630

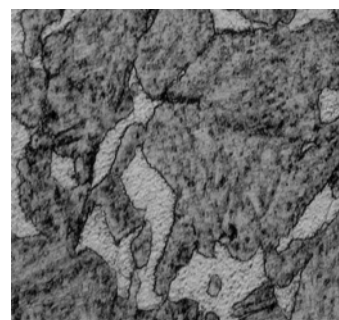


Рис. 7. X630

Микроструктура сердцевины - грубый сорбит и большое количество мелких зерен феррита (балл 9-10 ГОСТ 5639-82) с неполной закалкой.

Выводы и направление дальнейших исследований. Выполненные металлографические исследования детали винт поворотный импортных переносные и телескопные пневматические перфораторы с зависимым поворотом бурового инструмента выявили факторы, которые влияют на работу перфораторов и вызывают износ и поломку деталей перфоратора, в том числе и геликоидальной пары.

Заключения металлографического исследования по детали поворотный винт:

Марка стали не соответствует техническим условиям.

Твердость занижена, что не соответствует техническим условиям.

Закалка цементированного слоя удовлетворительная.

Микроструктура закаленного цементированного слоя некачественная из-за присутствия отдельных грубых включений разорванной карбидной сетки.

Микроструктура сердцевины неудовлетворительная, соответствует неполной закалке.

Глубина слоя цементации не соответствует техническим условиям, занижена. Насыщенность цементированного слоя углеродом неравномерная, на вершинах зуба завышена.

Изоляция от цементации по внутреннему отверстию отсутствует.

Для повышения эксплуатационных свойств деталей поворотных механизмов переносных и телескопных перфораторов необходимо решить дальнейшие исследования:

Повысить качество термической обработки.

Исследовать влияния термических преобразований в магнитной среде при поверхностных слоях деталей поворотных механизмов переносных и телескопных перфораторов.

Список литературы

1. **Хоменко О.С.** Гірниче обладнання для підземної розробки рудних родовищ: Довідковий посібник./ О.С. Хоменко, М.М. Кононенко, Д.В. Мальцев - Д.: Національний гірничий університет, 2010. – 340 с.
2. **Бегагоен И.А.** Повышение точности и долговечности бурильных машин. / И.А. Бегагоен., А.И. Бойко М.: Недра. 1986. - 213с.
3. **Болховитинов Н. Б.** Атлас макро и микроструктур металлов и сплавов. /Болховитинова Е.Н. - М.: Машиностроение. 1964. 162с.
4. **Гуляев А.П.** Металловедение. – М.: Металлургия, 1986 – 544с.
5. **Сулима А.М.** Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин – М.: Машиностроение. 1988. - 240 с.
6. **Мешков Ю.Я.** Сравнительный анализ двух моделей прочности твердых тел. / Ю.Я. Мешков – Металлофизика и новейшие технологии. Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова НАН Украины, том 27, № 3 март 2005. - 291 с.
7. **А.А. Griffith** Philos. Trans. R. Soc. A, 221: 163 (1920).
8. Структурний аналіз металів. Металографія. Фрактографія: Підручник – К.: Політехніка, 2006. – 328с.
9. **Пахолюк А.П., Пахолюк О.А.** Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали: Посібник – Львів: Світ, 2005 – 172с.
10. **Чердиченко В.С.** Материаловедение. Технология конструкционных материалов [Текст]: учебн. пособие для вузов / под ред. В.С. Чердиченко. – М.: Омега – Л. 2009. – 752с.
11. **Гуляев А.П.** О прочности./ А.П. Гуляев – Металловедение и термическая обработка металлов – М.: Машиностроение, №7 1993.- 2с.
12. **Гуляев А.П.** Металловедение. – М.: Металлургия, 1963 – 456с. Рукопись подано до редакції 03.03.15

Рукопись поступила в редакцию 21.03.15

УДК 622.7: 681

Т.В. ХОРОЛЬСКАЯ, ст. преподаватель. Криворожский национальный университет»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ПО МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ И ПЛОТНОСТИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РОБОТОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Рассмотрены модели и аналитические зависимости, описывающие процесс разделения магнитных частиц в рабочей зоне индуктора работo-технологического комплекса - интенсификатора. Лабораторные исследования, по определению амплитуды вибрации магнитных частиц составляющие ферромагнитные флоккулы, и на которые действуют разновидности бегущих электромагнитных полей, доказали, что максимальные вибрации возникают в случае, когда электромагнитное поле индуцированное трехфазной системой токов. Полученные результаты перспективные по использованию свойств импульсно-виброфлюккулярной среды при конструировании робототехнологических комплексов - интенсификаторов с целью получения концентратов с массовой долей железа до 69,5% и выше. Определены сферы использования импульсно - виброфлюккулярной среды, имеющую большую магнитную проницаемость по отношению к извлечению железа за счет взаимодействия его с гравитационными и инерционными полями. Доказана возможность выполнения с помощью импульсно-виброфлюккулярной среды разделения магнитных частиц по магнитной восприимчивости как в системе технологической классификации и сепарации в гидроциклонах с бегущим полем, так и в процессах флотации для оптимизации процессов разделения с помощью робототехнологических - интенсификаторов.

Ключевые слова: импульсное бегущей поле, частица железа, классификация, сепарация, оптимизация, комплекс робототехнологический.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Высокие рыночные требования к качеству концентратов криворожских корпоративных предприятий на стратегическом периоде до 2020 г. значительно возрастают в связи с сталелитейной промышленности и безкоксовой металлургии.

В последние годы за рубежом построены ряд крупных железорудных комбинатов с высоким уровнем автоматизации, энергоэффективных технологий и оборудования. Растет значение магнетитовых руд, как сырья для получения инновационных продуктов с минимальным содержанием вредных примесей и высоким содержанием железа для безкоксовой металлургии с массовой долей железа более 69,5 %, концентрат железорудный (сушеный), горяче-брикетированное железо со степенью металлизации до 90 % [1]. Стратегия инновационного развития криворожских предприятий горно-металлургического комплекса до 2030 г. с модернизацией горнообогатительного цикла и увеличением производства продукции с высокой добавленной стоимостью, определяет сценарий разработки и внедрение новейшего технологического оборудования, робототехнологических комплексов для технологий рудоподготовки и доводки концентратов [2]. В то же время вопросы внедрения автоматизированных систем управления технологическими процессами с робототехнологическими комплексами становятся приоритетными и требуют глубоких исследований, например процессов взаимодействия магнитных частиц с импульсными бегущими полями, обеспечивающих управление качеством за счет учёта скачков и разрывов гетерогенной среды.

При наличии в многофазной среде поверхности разрыва, полученные авторами модели [3] позволяют провести ряд экспериментов для выбора эффективной системы дообогащения магнитных концентратов и получения суперконцентрата с содержанием общего железа 70 % и выше.

Анализ исследований и публикаций. Разработке и исследованию современных тенденций переработки магнетитовых железных руд с минимизацией потерь магнетита, посвящены работы Е.В. Кочуры [4], методы автоматического контроля и регулирования сухой магнитной сепарации железных руд глубоко изучены в работах Гуараба Мухаммеда [5], которые свидетельствуют о важности разработки робототехнологических комплексов с импульсно виброфлюктуарной средой. Поэтому разработка робототехнологических устройств для повышения эффективности разделения частиц по магнитной восприимчивости и плотности являются актуальной научной задачей. В результате решения этой задачи будут установлены закономерности получения разрывов при массопереносе гетерогенной среды и разработаны экспериментальные установки для изучения процессов и условий разделения магнитных частиц в импульсно бегущем магнитном поле.

Постановка задачи. Исследование физических закономерностей гетерогенной среды, содержащей поверхность разрыва для усиления сепарации частиц железной руды по магнитной восприимчивости и плотности, позволит разработать робототехнологический комплекс, повышающий эффективность сепарации и производства концентрата с минимизацией влаги.

Изложение материала и результаты. Для исследования диссипации энергии гетерогенных потоков при обогащении железных руд, будем рассматривать сплошную среду с непрерывным распределением источников массы интенсивности J , для которой закон сохранения массы записывается так [6]

$$d\rho/dt + \rho \operatorname{div} \vec{V} = j, \quad (1)$$

где ρ - плотность вещества; $d\rho/dt$ - ее индивидуальная производная $\frac{d}{dt} = \frac{d}{dt} + \vec{V} \nabla$,

$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}$ - оператор Гамильтона; $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ - орты, \vec{V} - вектор скорости. В среде выделим произвольный конечный объем $\tau = \tau(t)$.

Для скалярной или векторной функции $F(\vec{x}, t)$ - точки в сплошной среде имеет место равенство

$$\frac{d}{dt} \int_{\tau} F \delta\tau = \int_{\tau} \left(\frac{dF}{dt} + F \operatorname{div} \vec{V} \right) \delta\tau \quad (2)$$

В силу непрерывности $F(\vec{x}, t)$ допускается изменение местами операций дифференцирования и интегрирования

$$\frac{d}{dt} \int_{\tau} F \delta\tau = \int_{\tau} \frac{dF}{dt} \delta\tau + \int_{\tau} F \frac{d}{dt} (\delta\tau).$$

С использованием формулы $\frac{d}{dt} (\delta\tau) = \text{div} \vec{V} \delta\tau$ быстроты изменение объем $\delta\tau$ среде приходим к (2). Это доказательство получено автором работы [7], из которого вытекает следующее условие:

Если выполняется равенство $\text{div} \vec{V} F + Q = 0$, то необходимым и достаточным образом имеет место соотношение вида $\int_S \vec{V} F \vec{n} ds - \int_{\tau} Q \delta\tau = 0$ и уравнение вида

$$\frac{d}{dt} \int_{\tau} F \delta\tau = \frac{d}{dt} \int_{\tau_0} F \delta\tau + \int_{\tau} F \vec{V} \vec{n} ds, \quad (3)$$

где $\tau_0 = \tau(t_0)$ - фиксированный объем, S - ограничивающая его поверхность: \vec{n} - нормаль к S .

С использованием формулы индивидуальной производной подинтегральное выражение формулы (2) переписывается $\frac{dF}{dt} + \text{div}(\vec{V} F)$.

Первая половина условия есть известное обобщение теоремы Остроградского-Гаусса [3], а вторая - результат применения формулы (3).

Выражение [3] утверждает, что скорость изменения левой части равенства [3] есть сумма скорости изменения интеграла от F при τ_0 и потока F через S .

Для функции $F(\vec{x}, t)$ точки сплошной среды с непрерывным распределением источников массы интенсивности j имеет место соотношение

$$\frac{d}{dt} \int_{\tau} \rho F \delta\tau = \int_{\tau} \rho \frac{dF}{dt} \delta\tau + \int_{\tau} F j \delta\tau \quad (4)$$

Следовательно, с использованием формул (1) и (2) получаем выражение (4), а для однородной (однофазной) среды постоянной массы, т.е. $j=0$, приходим к известной формуле [7].

При $F=1$ имеем уравнение неразрывности в интегральной форме, от которой легко перейти к (1).

При $F = \vec{V}$ с использованием теоремы Остроградского-Гаусса и в силу произвольности объема $\tau(t)$ приходим к уравнению количества движения

$$\rho \frac{d\vec{V}}{dt} + j\vec{V} = \rho \vec{f} + \text{div} P \quad (5)$$

в дифференциальной форме, где f - вектор объемных сил, P - тензор напряжений. При $j=0$ имеем известный результат [6].

При $F=V^2/2$ и переходе от поверхностного интеграла к объемному и в силу произвольности объема $\tau(t)$ получаем формулу сохранения кинетической энергии

$$\rho \frac{d}{dt} \left(\frac{V^2}{2} \right) = \rho \vec{f} \vec{V} + \vec{V} \text{div} P - j V^2 \quad (6)$$

которая также получается из равенства (5) скалярным умножением на \vec{V} .

При $F = \left(\cup + \frac{V^2}{2} \right)$, где \cup - удельная внутренняя энергия среды.

В результате выполнения аналогичных предыдущему преобразований, получим уравнение баланса полной энергии в дифференциальной форме

$$\rho \frac{d}{dt} \left(\cup + \frac{V^2}{2} \right) = \rho \vec{f} \vec{V} + \text{div}(P \vec{V}) + \rho q - j \left(\cup + \frac{V^2}{2} \right) \quad (7)$$

первые три слагаемых, которого соответствуют «старому» результату. Член ρq соответствует подводимому извне к объему $\tau(t)$ количеству энергии.

При $F=\cup$ с точностью до знака приходим к уравнению

$$\rho \frac{d\cup}{dt} = \rho q - N_{in} - j\cup \quad (8)$$

баланса внутренней энергии, скорость изменения которой определяется притоком внутренней энергии извне и через «источники» и мощностью внутренних сил [6]. Его можно получить вычитанием уравнения (8) из уравнения (7).

При $j=0$ имеем «старый» результат $\rho \frac{d\cup}{dt} = \rho q - N_{in}$. Для движущегося объема $\tau(t)$, содержащего поверхность разрыва Σ , к аналогичным полученным выше результатам приходим с использованием выражения

$$\frac{d}{dt} \int_{\tau(t)} F d\tau = \int_{\tau(t)} \left\{ \frac{dF}{dt} + \text{div}(F\vec{v}) \right\} \delta\tau + \int [Fv] ds, \quad (9)$$

где $v = \vec{V}\vec{N}$ - нормальная составляющая скорость среды относительно Σ , квадратные скобки обозначают скачок величины при переходе через поверхность разрыва Σ , т.е. $[F]=F^+-F^-$.

Таким образом, полученные выше на примере однородной (однофазной) сыпучей среды (или жидкой среды) результаты можно расценивать как алгоритмизацию законов механики гетерогенной среды и определенный шаг на пути создания робототехнологических комплексов для сепарации частиц железной руды по магнитной восприимчивости и плотности в импульсно бегущем магнитном поле [9]. Для управления и усиления поверхности разрыва μ частиц с разной магнитной восприимчивостью и плотностью нами проведены лабораторные исследования взаимодействия ферромагнитной среды с импульсно бегущим полем. Такую среду в дальнейшем будем называть импульсно виброфлокулярной (ИВФС). Для выявления сепарационных свойств ИВФС массу ферромагнитных частиц в количестве 0,3-2 г/см² помещали на поверхность индуктора - источника переменного трехфазного электромагнитного поля, создающего бегущее поле. Вектор бегущего поля изменяется в трехмерном пространстве по гармоническому закону и при взаимодействии частицы магнита с таким полем создаются условия для ее движения. При действии бегущего поля на ферромагнитную среду возникают вибрации отдельных частиц, что снижает силу внутреннего сопротивления при движении в этой среде и таким образом создаются условия для разделения по плотности [9].

Лабораторные исследования по определению амплитуды вибрации частиц, составляющие ферромагнитные флокулы, находящиеся под действием разновидностей бегущих полей (с различными формами фазных токов) показали, что максимальными вибрации будут в случае, когда бегущее поле индуцировано трехфазной системой токов [10].

Математическое описание закона изменения тока в отдельной фазе может быть представлено выражением вида

$$\vec{J} = \vec{J}_o k \cos \omega t [\vec{I}(t) - \vec{I}(t - \tau_1) + \vec{I}(t - \tau_1 - \tau_2) - \vec{I}(t - 2\tau_1 - \tau_2) + \vec{I}(t - 3\tau_1 - 2\tau_2) + \vec{I}(t - 3\tau_1 - 3\tau_2) - \dots] \quad (10)$$

В этой формуле \vec{I} - единичная функция с периодом $T \rightarrow \infty$; \vec{J}_o - амплитуда фазового тока; k - коэффициент усиления; $j k = \text{var}$; ω - круговая частота тока в индукторе; τ_1 - время положительного (нарастающего) фронта импульса поля; τ_2 - время отрицательного (спадающего) фронта.

Под воздействием такого импульсно бегущего поля ферромагнитная среда приобретает определенную степень подвижности, параметры которой можно изменить в соответствии с формулами (9, 10). Кроме этого данное свойство такой среды можно использовать для выявления (усиления) различий в плотностях слабомагнитных минералов, находящихся в данном объеме ферромагнетика.

В процессе лабораторных исследований выявлены сепарационные свойства минералов с разными μ . Эксперименты показали, что в ИВФС возможны условия, при которых обеспечивается плотность разделения в пределах 2,8-4,6 г/см³. Данное обстоятельство очень существенно, поскольку плотность разделения у стандартного гравитационного оборудования значительно меньше (примерно 3,1-3,5 г/см³). Это позволяет утверждать, что при комбинированной сепара-

ции (например, флотации и устройство с ИВФС) можно получить более высокую избирательность процесса и соответственно $F_{\text{е}_{\text{конц}}} \rightarrow 70\% \beta$ общего.

В ИВФС, в присутствии вынужденных гармонических, механических колебаний, при разделении по плотности эффективность максимальна в случае, если направление колебаний $\vec{F}_{\text{вибр}}$ совпадает с направлением действия силы тяжести ($\vec{F}_{\text{грав}}$), а направление ponderomotorной составляющей импульсно бегущего поля (\vec{F}_1) противоположно к ($\vec{F}_{\text{грав}}$). Воздействие со стороны магнитного и инерционного полей на магнитную частицу носит строго согласованный временной характер, представленный на рис. 1.

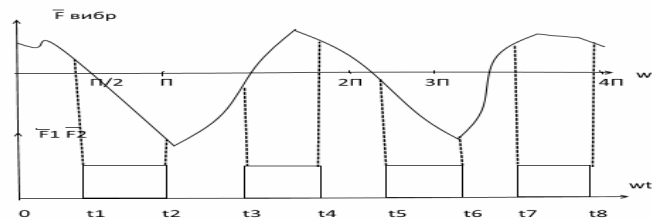


Рис. 1. Эпюры сил, действующих на магнетитовые частицы в рабочей зоне робототехнологического комплекса

Последнее свойство оценивается нами как принципиальное отличие свойств ИВФС, что позволяет рассматривать такие среды как перспективные при конструировании робототехнологических комплексов для доводки магнитных концентратов с содержанием массовой части железа до 64,5-64,9 % и производства суперконцентратов с содержанием массовой части железа до 69,5-70 % и выше [11].

Таким образом, при проектировании робототехнологических комплексов - интенсификаторов с импульсно бегущим электромагнитным полем, выполненных в качестве гидроциклонов - сепараторов [12] или систем робототехнологического управления процессом флотации с интенсификацией процесса разделения и оптимизация управления процессом извлечения железа достигается совместным воздействием импульсно бегущего электромагнитного поля, гравитационного и инерционного полей с образованием импульсно виброфлокулярной среды, обладающей повышенной проницаемостью для немагнитных частиц минералов. Эти технические решения создают предпосылки для эффективного извлечения железа и производства суперконцентрата с содержанием массовой доли железа больше 69,5 %.

Выводы и направления дальнейших исследований. Исследованы модели массопереноса твердых магнитных частиц в трехмерном пространстве импульсно бегущего магнитного поля с возможностью усиления поверхности разрыва с помощью ударных комбинированных воздействий. Установлено, что перспективным направлением для повышения эффективности процесса разделения магнитных частиц является использование методов, осуществляющих управляемое воздействие на делимые частицы магнитной, гравитационной и инерционной силами и возможностью автоматического управления их величиной и соответствием в зависимости от минералогического состава продуктов, поступающих на дообогащения. Показана возможность осуществления с помощью ИВФС разделения частиц по магнитной восприимчивости как в системах классификации и сепарации в гидроциклонах с бегущим полем, так и робототехнологическими интенсификаторами в процессах флотации.

Список литературы

1. Баранов В.Ф. Современные тенденции переработки магнетитовых железных руд. Основные направления /В.Ф. Баранов, Н.А. Патковская, Т.И. Тасина// Обогащение руд. 2013 - №3 – с 10-17.
2. Хорольський К.Д. Технологічно – інноваційна стратегія розвитку гірничо – металургійного кластеру регіону /К.Д. Хорольський// Інвестиції, практика та досвід. 2014- №7 – с 135 – 143.
3. Хорольская Т.В. Теоретические модели сложных технологических процес сов и аппаратов обогатительной технологии /Е.К. Бабец, В.П. Хорольский, Т.В. Хорольская// Науковий вісник НГУ. 2004 - №12 – с 15 – 19.
4. Кочура Е.В. Развитие научных основ автоматизации процессов магнитного обогащения руд с целью энерго-сбережения: дис. на соиск. уч. степени докт. техн. наук / Е.В. Кочура – Днепропетровск. 1996. – 331 с.
5. Гуараб Мохаммед. Методи автоматичного контролю і регулювання сухої магнітної сепарації залізних руд: автореф. Дис. на соиск. уч. степени докт. техн. наук / Гуараб Мохаммед – Днепропетровск. 2009. – 20 с.

6. Лайцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. / Л.Г. Лайцянский – М.: Наука, 1970. Изд. 3 перераб. и дополн. – 904 с.
7. Серрин Дж. Математические основы классической механики жидкости / Дж. Серрин – М.: ИИЛ, 1963. – 256 с.
8. Соболев С.Л. Управление математической физики / С.Л. Соболев. – М.: - Л.: ГИТТЛ, 1947. – 440 с.
9. Хорольская Т.В. Робототехнические системы – интенсификаторы процесса обогащения труднообогатимых руд / В.П. Хорольский, Т.В. Хорольская, Е.К. Бабец // Збагачення корисних копалин – Вип. 24 (65) – Дніпропетровськ. – 2005 – с. 91 – 100.
10. Борисов Ю.М. Электротехника / Ю.М. Борисов, Д.Н. Липатов, Ю.Н. Зорин // учебник для Вузов. М.: Энергоатомиздат. 1985. – 552 с.
11. Хорольская Т.В. Оптимизация проектных решений в системе робототехнологического управления процессом доводки концентрата / Е.К. Бабец, В.П. Хорольский, Т.В. Хорольская // Разработка рудных месторождений. Вып. 1(90). – Кривой Рог. – 2006. – с. 109 – 113.
12. Авт. св. СССР 580904. Электромагнитный гидроциклонный сепаратор: М кл². ВОЗС 1/02/ В.П. Хорольский – 2147189/22-03; Заявл. 20.06.75; опубл. 25.11.77. Бюл. № 43.

Рукопись поступила в редакцию 21.03.15

УДК 621.3.029.4: 622.785

S.V. FILATOV, cand. of tehn. sciences, associate professor
 S.A. ZHUKOV, doctor of engineering sciences, professor
 I.V. GIRIN, senior teacher, A.S. FILATOV, master's degree
 Krivoy Rog Technical University

JUSTIFICATION OF PARAMETERS AND CONSTRUCTION TECHNOLOGY OF OPEN PIT ROADS

Justification reduction of overburden operations in the application of concave cross-section of transport berms. The road is a complex engineering structures to ensure continuous and convenient movement of vehicles with standard speeds and loads with minimal cost of fuel and lubricants. Its main elements are in terms of track road (road axis horizontal position on the ground), the angle of rotation, straight and curved sections.

The design parameters for transport berm width of convex and concave cross-section shown in the Fig. 1.

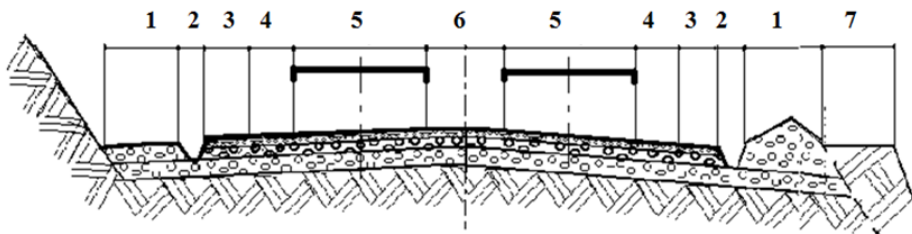


Fig. 1. The design parameters of two-lane transport berm open pit mining

As seen from it, width two-lane road open pit mining with a convex cross-section, located on the ledge, consists of a shaft or a measure of the width of the zone of spilling 1 (3 m) of water drain or ditch draining 2 (1,5 m), a pedestrian-term track 3 (1,5 m), psychological strip caused a cab dump 4 (2 m), width of 5 to dump mirrors (7 m), the distance between opposing dump 6 (7 m) and safety berm 7 (3 m). The total width of the transport berm is 40 m and the width of the transfer belt - 28 m.

The total width of the transport berm on which the two-way road open pit mining with a convex cross-section according to is 40m and the width of the transfer belt - 28 m.

The width of the berm transport of two-way highway with a concave cross-section, also consists of the above parameters, but less than in the previous case. This is achieved by: placing water drain ditches 2 in the transverse area of the road (3 m), cancellation pedestrian walkway 3 with side slopes scarp (1,5 m), and reducing the distance between the counter supersize trucks (up to 5 m) by increasing stabilization stability and improve the safety of its movement.

Using concave cross-section surface movement will allow reducing the transport width of the berm from 40 to 35 meters due to the location of the drain ditches in the middle zone of the road, reducing the distance between opposing dump by increasing their stability, which will not affect the dynamic performance and speed of trucks.

Reducing the width of the berm transport (Fig. 2), for example on 5 meters will enable to increase the angle slopes board open pit mining on 2° , which, in turn, reduce the volume of overburden operations V_1 in the application of concave cross-section quarry road towards to the volume V_2 , which are needed in expanding existing berms according to GOST.

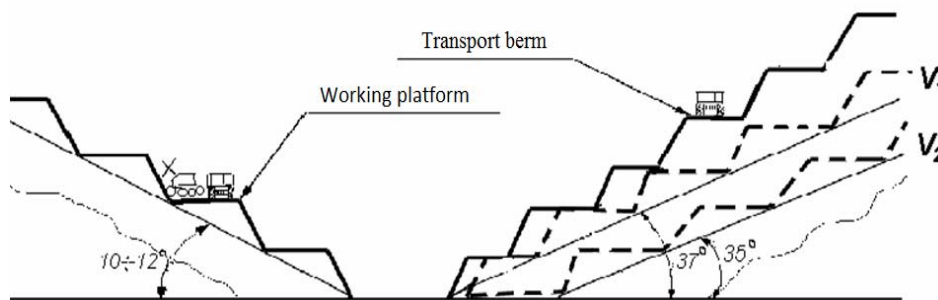


Fig. 2. Reduction of overburden operations in the application of concave cross-section of transport berms

Technology transport formation open pit mining berms depressed transverse profile. The main objective of the formation of transport berms in the open pit mining is to provide the transportation of rock mass that meets the needs of efficient and safe operation of heavy vehicles. Such activities include directly forming themselves berms; preparation, processing and delivery to the place of work of stone ballast and other materials, stacking layers of pavement and seal them; forming lateral stops road surface; profiling of surface movement and handling of binders and arrangement of necessary facilities (gullies and drainage, footpaths, fences, etc.).

The main feature of open development is that, unlike of open pit roads general use, which are based construction companies specialized in quarrying, because of the high intensity work, frequent changes in surface workings, a single object orientation technology - rocks - roads created and fitted within the overall field development technology and certain manufacturing processes.

The most difficult is the process of pavement structure, which consists of a series of successive manufacturing operations. All major operations must be coordinated so as to exclude or poor performance of any of them significantly reduces the resistance of pavement.

After planning and subgrade compaction begins recovering broken road markings. Then performed and adding curb. The main purpose of roadside open pit mining on the roads - the formation of lateral palm pavement, so as gravel is not bound jointing material. In addition, the repair coating material to make roadside, and sometimes use them to move, so they should be strong enough.

In practice, the system is recommended to perform roadside follows. In planned and compacted roadbed along the boundaries of the future roadway notice the place of unloading dump the rate of filling the full amount roadside. To form the roadside as equal bands performed paring of breed by bulldozer. Then turning to the bulldozer blade or motor grader blade cuts the axis of the central lane roadway. Thus, formed a "trough" in which zvozytsya and placed gravel required for the road surface structure (Fig. 3).

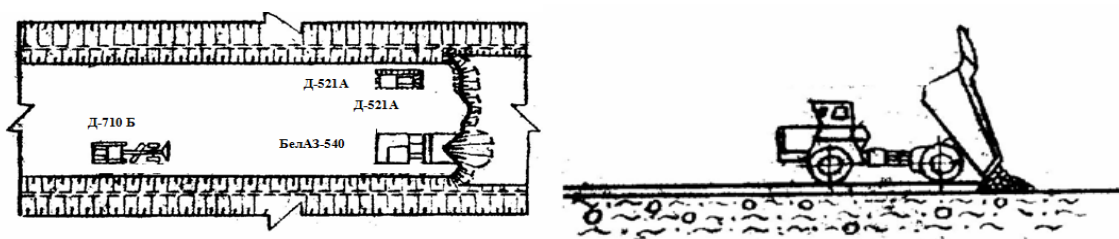


Fig. 3. Preparation of subgrade

Road coating formed from gravel to be entered into the required thickness layers. The main technological operations while distribution is found by calculation amount of gravel on the surface of the carriageway road and compaction of each layer.

For leveling gravel layers and the formation of the required thickness used bulldozers and open pit mining graders, providing design cross-section of carriageway roads. Laying gravel thin layers can be performed using existing in each open pit mining towed or self-propelled devices.

For normal road surface layers forming the largest size fractions of crushed stone should not exceed 0.85 layer thickness. Before styling track road surface should be cleaned from snow, ice and extra items. Aggregates shall be free from snow and ice. The thickness of the overlay at one layer of gravel must meet weight wheels and not exceed 20 cm (Fig. 4).

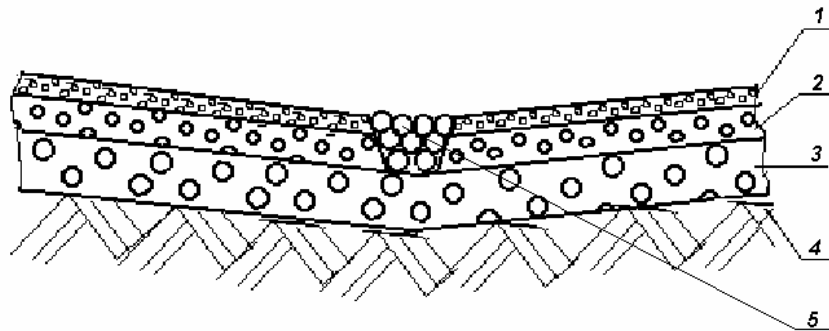


Fig. 4. Formation of pavement layers : 1 - Monolithic layer thickness of 20 cm; 2 - Layer redistribution of stresses thickness of 40 cm; 3 - Draining layer thickness of 60 cm; 4 - Reinforcing layer or bedrock; 5 - Drain ditch.

The required strength and durability of the pavement layers of gravel compaction is achieved. Seals are final and responsible operation. It does not involve high costs because they do not need materials, but can reduce productivity and rates of road works on the device.

In sealing layer consumes about 30% of all expenditure on roads career placement. This should provide a significant specific pressure. In these conditions, it is recommended to use motor rollers with hard rollers that can develop pressures up to 65-75 kg/cm². Hard rollers are divided into smooth, lattice, ribbed and cam. In action on the sealing material there are statistical and vibratory rollers with hard rollers. In career terms can be used as self-propelled and towed rollers. Self-propelled rollers are more flexible and comfortable in terms of organization of work. Towed rollers are structurally simple and low cost.

In the structure of roads on the horizon with loose rocks subgrade compaction is the most effective use of rollers pneumatic tires, especially related to compaction of soils. Rollers pneumatic tires provide maximum contact pressure to 15-18 kg/cm². Because they are used in cases where marginal seal material resistance is small, but the material shows a bunch of property that requires long loads. A large area of contact with the surface of pneumatic tires is ensuring their longer effect than wheels with hard rollers.

Seal the lower layer is in two stages: first, compression, then - seal. Seal the top layer is carried out in three steps (Fig. 5): compression, the rolling and the final seal of bowing.

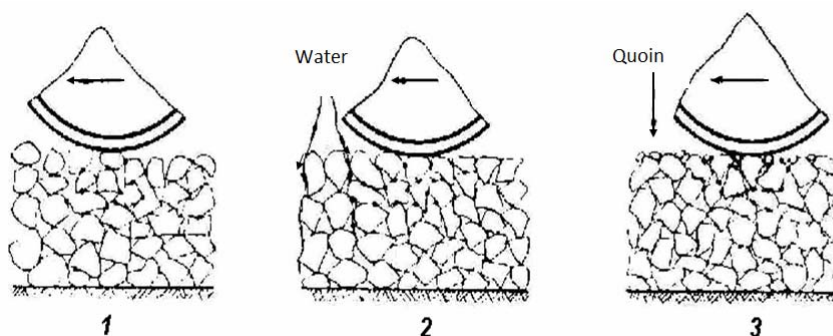


Fig. 5. The process seals the top layer macadam: 1 - Compression; 2 - The rolling; 3 - Final seal of bowing

Roller compaction should be selected based on the characteristics of the stone material and technology sealing layers. The strength of the layer as compaction increases as the mass of the rick and specific pressure that it creates, the transition from one technology to another reception should gradually increase. In the first phase seal is the most significant movement of gravel; little resistance layer that allows light rollers 3-6 tons.

To reduce resistance interactions pieces of rubble and provide natural curing of cement (rock flour, which is formed during compaction) early in the second period of the layer is compacted, watered. Water consumption, providing moisturizing layer of gravel all depends on its class and increases for sedimentary rocks. The consumption rate of water is consist 15-25 l/m².

In the third period compaction is performed in seal of bowing of the gravel layer. To do this, the surface layer is applied quoin size 10-15 mm, which fills the voids between particles of gravel and to unwedge them. Wedges consumption is 1,5-2 m³ per 100 m² surface carriageway road. For unwedge gravel used rollers weighing 10-15 tons. At the beginning of the third period rubble seal watered spent 10-12 l/m². The purpose of irrigation is the same as in the second period. Number of passes rick should not exceed 10-15. In the case of weak to unwedge gravel to be additionally put on his rump stone surface size of 3-10 mm and stone bran 3-5 mm.

When a new profile seal road surface is very important to follow a consistent technology works (Fig. 6).

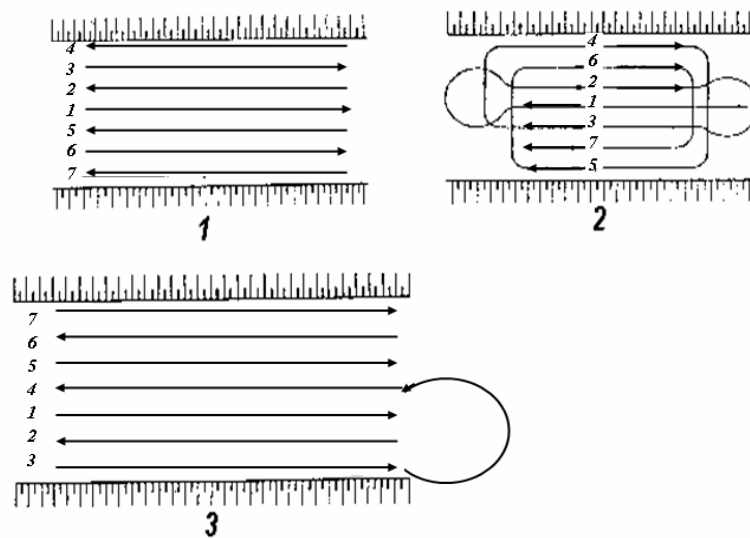


Fig. 6. Plans motion compaction rollers road paintings: 1 – Shuttle; 2 – Ring; 3 - Combined

Seals and rolling should start from the axis of the road, as shown in Fig. 6. In the first pass roller processes the middle lane. The following passages rick should overlap by 1/3 of the width of the roller. In the area of roadside number of passes rick should be lower, and as we approach the axis of the road - more.

The degree of compaction should be carefully monitored. It is important to see to it that there be "rolling", where there is intense destruction of the surface layer of gravel. When the compaction process at the next aisle roller leaves the track and gravel thrown at the rick collapses, sealing should be regarded as complete.

When equipping transport communications prolonged use may be appropriate to cover bands roads that meet sustainable trajectory of wheel dump truck, concrete road slabs.

This measure will increase the life of many ways to cut costs in the current restoration of road surface and significantly improve the performance of the trucks, especially on tire wear.

Themselves plate can be used repeatedly, as their assembly and disassembly is simple enough.

References

1. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения. М.: Транспорт, 1975-1990.
2. Баловнев В.И. Дорожно-строительные машины и комплексы. М.: Транспорт, 1975-2001.

3. Бойчук В.С. Довідник дорожника. К.: Будівельник, 1979-1995.
4. Раннев А.В., Полосин М.Д. Устройство и эксплуатация дорожно-строительных машин. М.: Академия, 2005
5. Полосин М.Д., Ронинсон Э.Г. Техническое обслуживание и ремонт дорожно-строительных машин. М.: Академия, 2005.
6. Зорин В.А. Ремонт дорожных машин, автомобилей и тракторов. М.: Академия, 2006.
7. Грифф М.И. Основы создания и развития спец. автотранспорта для строительства. М.: АСВ, 2003.
8. Гаврилов К.Л., Забара Н.А. Дорожно-строительные машины иностранного и отечественного производства. М.: Майор, 2006.
9. Гирин В.С., Жуков С.А., Крейсман Э.А., Босняк Н.Г. Специализированные автотранспортные средства. Учебн. пособие. Днепропетровск. - Наука и образование, 2004. – 345 с.
10. Гирин В.С., Жуков С.О., Крейсман Е.А., Босняк М.Г. Спеціалізовані автотранспортні засоби. Навчальний посібник 2-ге вид., перероб. і доп. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. - 296 с.
11. Гирин В.С., Жуков С.О., Крейсман Е.А., Босняк М.Г. Спеціалізовані автотранспортні засоби. Навчальний посібник. (Видання друге, переро. і доповнено). Кривий Ріг: Видавничий дім, 2008. – 246 с.
12. Пахомов В.І., Гирин В.С., Жуков С.О. Эффективность рациональных режимов эксплуатации автосамосвалов при разработке глубоких карьеров. Монография. Кривой Рог: Издательский дом, 2008. -148 с.
13. Крейсман Е.А., Філатов С.В., Жуков С.О., Гирин В.С. Ефективність поперечного профілювання берм при будівництві кар'єрних автодоріг. Дніпропетровськ. Наука і освіта. 2004.- 258 с.

A manuscript entered release 12.03.15

УДК 624.012.45

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф.,

О.Ю. ЄРЬОМЕНКО, М.О. ВАЛОВОЙ, кандидати техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Нові нормативні документи зобов'язують проводити проектування конструкцій на основі нелінійної деформаційної моделі. Деформаційні моделі, покладені в основу розрахунку, більш точно відображають фактичну роботу елементів під навантаженням, але, водночас, значно ускладнюють розрахунок. Проектування, навіть нескладних елементів, перетворюється на доволі трудомісткий процес або потребує використання спеціальних обчислювальних комплексів. У той же час, методики розрахунку на міцність та жорсткість наведено у відміненому СНіП характеризуються, відносною простотою але також мали значні недоліки.

У зв'язку з викладеним, є порівняння результатів розрахунку залізобетонного елемента за діючими до недавня та теперішніми нормами, а також європейськими нормами з фактичними показниками його міцності, отриманими експериментально.

Проведене порівняння експериментальних результатів випробування підсиленої залізобетонної балки з розрахунковими значеннями (за чинними і європейськими нормами та за деформаційним методом).

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Минуло доволі багато часу з моменту набрання чинності нормативних документів, які регламентують питання проектування бетонних та залізобетонних конструкцій - ДБН В.2.6. - 98:2009 [1] та ДСТУ Б.В.2.6 - 156:2010 [2]. Останні впроваджували з метою гармонізації національної нормативної бази з міжнародними нормами та стандартами. Досягнуто наближення до європейських стандартів EN 1992-1-1:2004 і EN 1994-1-1:2004. Останнє дозволяє використовувати в Україні міжнародний досвід проектування бетонних та залізобетонних конструкцій.

Нові нормативні документи зобов'язують проводити проектування конструкцій на основі нелінійної деформаційної моделі. Деформаційні моделі, покладені в основу розрахунку, більш точно відображають фактичну роботу елементів під навантаженням, але водночас, значно ускладнюють розрахунок. Проектування, навіть не складних елементів, перетворюється на доволі трудомісткий процес або потребує використання спеціальних обчислювальних комплексів. У той же час, методики розрахунку на міцність та жорсткість наведені у відміненому СНіП характеризуються, відносною, простотою але також мали значні недоліки.

У зв'язку з викладеним є порівняння результатів розрахунку залізобетонного елемента за діючими донедавна та теперішніми нормами, а також європейськими нормами з фактичними показниками його міцності, отриманими експериментально.

Аналіз досліджень і публікацій. Три типи розглядуваних документів – СНіП, ДБН, Eurocode передбачають метод розрахунку будівельних конструкцій за граничними станами. Останній за своєю формою є напівімовірнісним. Розрахунок ведеться у детерміністичній формі, а забезпечення певного рівня надійності досягається нормуванням навантажень та міцності матеріалів, введенням коефіцієнтів надійності, які враховують фактори, що впливають на умови роботи конструкції.

Починаючи з 60-х років минулого сторіччя на території колишнього СРСР, а нині країн СНД, включаючи і Україну, була прийнята методика розрахунку за СНіП [3].

Згідно з цією методикою міцність нормальних перерізів (рис. 1) визначається за умовами рівноваги зусиль з урахуванням міцнісних характеристик бетону і арматури.

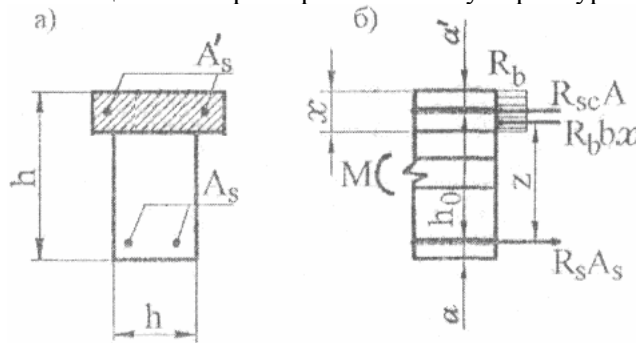


Рис. 1. Схема зусиль a і епюра напружень b у перерізі, нормальному до поздовжньої осі згинального елемента при розрахунку міцності

У випадку, коли $\zeta \leq \zeta_R$ розрахунок виконують з умови

$$M \leq M_L = R_b b' x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A_s' (h_0 - a').$$

Висоту стиснутої зони x визначають з рівняння

$$R_s A_s - R_{sN} A_s' = R_b b x, \quad (2)$$

звідки

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sN} A_s'}{R_b b}.$$

Так звана гранична висота стиснутої зони ζ_R емпірично залежить від міцнісних характеристик бетону і арматури. Як видно з наведених формул, методика СНіП відрізняється простою, але має багато емпіричних параметрів, часто не пов'язаних з фізичними сенсом. На сьогодні, зважаючи на широку комп'ютеризацію розрахунків, переваги простоти втрачають сенс.

У зв'язку із зазначеним у останні роки світова практика переходить на деформаційні методи розрахунку, які використовують більш фізично обгрунтовані гіпотези і припущення [1,7,8].

Деформаційна методика використовує метод розрахунку за граничними станами, але з дещо зміненими гіпотезами:

за розрахунковий приймають переріз, деформації якого дорівнюють середнім деформаціями по довжині блоку між тріщинами, якщо вони утворюються;

вважається справедливою гіпотеза про лінійний розподіл деформацій по висоті перерізу (гіпотеза плоских перерізів);

зв'язок між напруженнями та деформаціями стиснутого бетону приймають за будь-якою перевіреною криволінійною залежністю з додільною гілкою [1,8], а у практичних розрахунках використовують білінійні діаграми (рис. 2а) [7];

зв'язок між напруженнями та деформаціями арматури приймають у вигляді діаграм, наведених на рис. 2б,в.

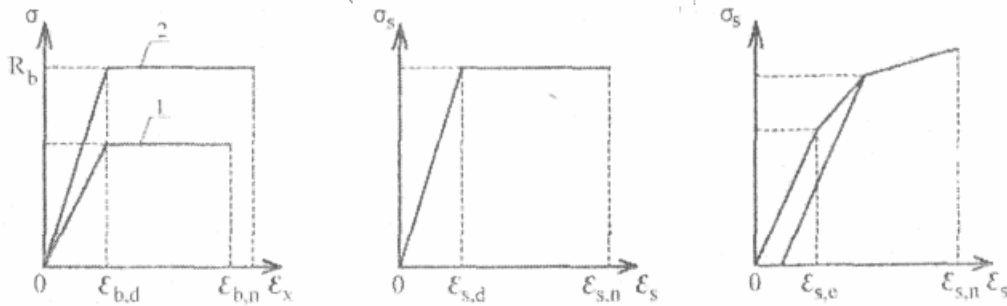


Рис. 2. Спрошені діаграми стану бетону a - для розрахунку за граничними станами першої (1) та другої (2) груп та діаграми стану арматури з фізичною b та умовною c межею текучості

У випадку використання спрощених діаграм розподілення зусиль і деформацій має вигляд наведений на рис. 3.

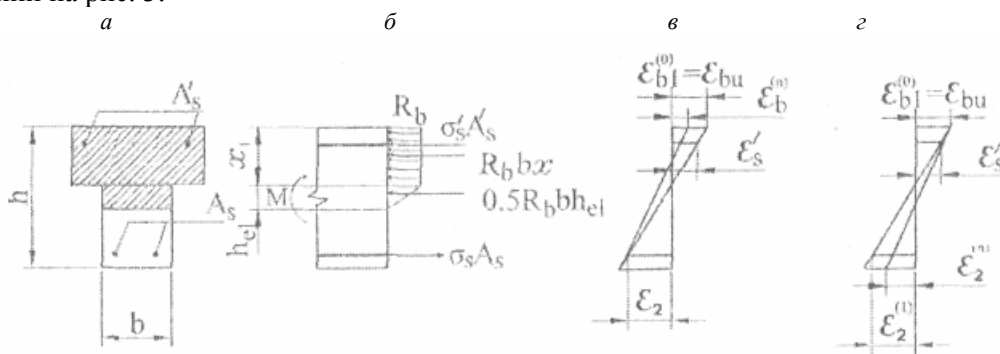


Рис. 3. Переріз a , схема розподілення напружень b у бетоні та деформацій при першому c та другому d розрахункових випадках

При використанні спрощених діаграм стану бетону і арматури основною дією у процесі визначення міцності перерізу залізобетонного елемента є перевірка отриманого (1) рівняння рівноваги

$$\frac{R_b b}{2\chi} [2(\varepsilon_{b1} - \varepsilon_{b2}) + \varepsilon_{b,el}] + \sigma'_s A'_s - \sigma_s A_s = 0, \quad (1)$$

де

$$\chi = \frac{1}{r} = \frac{\varepsilon_{b1} + \varepsilon_s}{h}; \varepsilon_{b,el} = \frac{R_b}{E_b}. \quad (2)$$

Уся процедура розрахунку визначена методом ітерацій і виконується в наведеній далі послідовності.

На першому кроці (нульове наближення) перевіряють рівняння (1) при заданих величинах деформацій: $\varepsilon_{b1}^{(0)} = \varepsilon_{bu}$; $\varepsilon_s^{(0)} = \varepsilon_{su}$.

За результатом обчислень можуть бути реалізованими два випадки:

перший - отриманий результат рішення рівняння є більшим за нуль, що свідчить про недостатність армування перерізу;

другий - отриманий результат рішення рівняння є меншим за нуль, що свідчить про переармування перерізу.

Результат рішення рівняння (1) є меншим за нуль (другий випадок), а це свідчить про те, що розрахункові зусилля в розтягнутій зоні при граничних значеннях деформацій арматури, перевищують зусилля в стиснутій зоні бетону. У цьому випадку для встановлення рівноваги необхідно зменшувати деформації арматури розтягнутої зони. Для цього використовують такі операції:

a визначають нову величину деформацій,

$$\varepsilon_{s1}^{(1)} = \varepsilon_{s1}^{(0)} - \Delta\varepsilon_{s1}^{(1)}, \quad (3)$$

де на першому кроці рекомендується брати

$$\Delta \varepsilon_{s1}^{(1)} = 0,1 \varepsilon_{s1}^{(0)}; \quad (4)$$

перевіряють рівняння рівноваги (1) і, якщо ліва частина залишається більшою за нуль, деформацію $\varepsilon_{s1}^{(2)}$ на другому кроці необхідно ще раз зменшити на величину

$$\varepsilon_{s1}^{(2)} = \Delta \varepsilon_{s1}^{(1)} = 0,1 \varepsilon_{s1}^{(0)}, \quad (5)$$

тобто прийняти

$$\varepsilon_{s1}^{(2)} = \varepsilon_{s1}^{(1)} - \Delta \varepsilon_{s1}^{(2)} = \varepsilon_{s1}^{(1)} - 2\Delta \varepsilon_{s1}^{(1)}; \quad (6)$$

покрокове зменшення деформацій виконують до тих пір, поки ліва частина рівняння (1) не змінить знак.

Процедура ітерації, яка у подальшому здійснюється, детально викладена у роботах [7,9,10,11].

Після того, як з достатньою точністю задовільнено умову b визначають згинальний момент. Для перерізу, наведеному на рис. 3, граничний згинальний момент отримують за формулою

$$M_u = \frac{R_b b}{6\chi^2} (3\varepsilon_{b1}^2 - \varepsilon_{b,el}^2) + \sigma'_s A'_s z'_s - \sigma_s A_s z_s, \quad (9)$$

Отже, у зазначеній методиці безпосередньо використані деформаційні властивості бетону і арматури, які, як гадають, є більш об'єктивними параметрами, ніж міцність і можуть бути виміряні безпосередньо у процесі роботи конструкції.

Третім варіантом для співставлення розглянуть методику розрахунку Єврокоду 2: EN 1992-1-1: 2004 (E) [8].

Значення величини x обчислюють з епюри деформацій (рис. 4в)

$$x = \frac{\varepsilon_s h_0}{\varepsilon_{bu} + \varepsilon_s}, \quad x_1 = 0,8 \cdot x.$$

Фактична методика Єврокоду 2 використовує рівняння рівноваги (1), яке у прийнятих позначеннях виглядає так

$$M \leq M_u = R_b b x_1 (h_0 - 0,5x_1) + \sigma'_s A'_s (h_0 - a). \quad (12)$$

У той же час висоту стиснутої зони x визначають з урахуванням деформацій бетону і арматури, вважаючи чинною гіпотезу плоских перерізів (рис. 4).

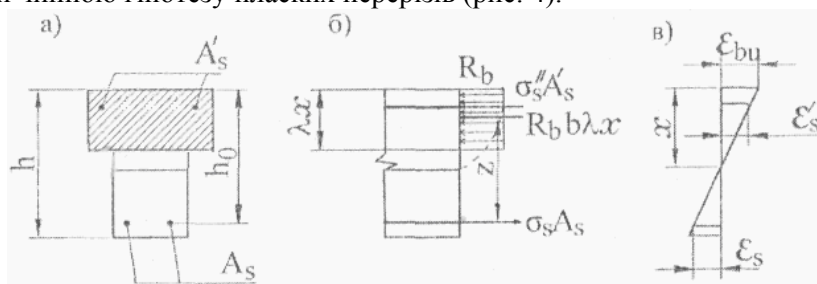


Рис. 4. Переріз *a* - схема розподілення напружень - *b* та деформацій в згідно з Єврокодом 2

Відповідно до рис. 4 фактичну висоту стиснутої зони бетону x визначають гіпотезою плоских перерізів (рис. 4в). Зважаючи на криволінійний характер розподілення напружень (рис. 4б), для спрощення розрахунків, з умов рівновеликості площ напружень за розрахункову висоту стиснутої зони приймають величину $x_1 = \lambda x$, де коефіцієнт $\lambda = 0,8$ при $R_{bn} < 50$ МПа.

Величини граничних деформацій бетону ε_{bu} і арматури ε_{su} приймають за спеціальними рекомендаціями, наведеними у Єврокод 2 [8] або встановленими національними нормами [1].

Постановка завдання. З метою співставлення ефективності зазначених вище методик розрахунків (методика СНІП, ДБН, Eurocode) їх результати були порівняні з даними експериментальних досліджень.

Викладення матеріалу та результати. Для експериментальних досліджень були виготовлені залізобетонні балки з бетону на відходах збагачення залізних руд довжиною 2070 мм із поперечним перерізом – 220×120 мм у кількості 2 шт.

Вони були попередньо навантажені зусиллям яке становило 0,7 від руйнівного. Після чого балки були розвантажені та підсилені нарощуванням у стиснутій зоні шаром бетону на відходах збагачення залізних руд, розмір полки підсилення 210×45мм. З'єднання “старого” та “нового” бетону виконували за допомогою клею Cerginol ZH фірми Dietermann.

Вихідні (початкові) дані, а також результати розрахунків і порівняння з дослідами наведені у табл..

Автори використовували, як базові, експериментальні дані, отримані при випробуваннях зразків призм, арматурних стержнів і залізобетонних балок.

Результати експериментальних досліджень та усіх методів розрахунків наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння експериментальних і розрахункових результатів міцності балок

Найменування величини	Експериментальні значення	За методикою СНиП	За методикою ДБН	За методикою Eurocode
x , мм	48	63	47	48,5
M_u , кН·м	45	41,9	42,59	42,06
F_u , кН	75	69,8	70,98	70,15

Висновки та напрямок подальших досліджень. Порівняння даних розрахунку (табл. 1) показують цілком прийнятну точність отриманих результатів у порівнянні з експериментальними даними.

Відмінності величини стиснутої зони отриманої за методикою СНиП можна пояснити тим, що два інші методи розрахунку враховують більшу кількість факторів. Так, при розрахунку x , методика ДБН та Eurocode передбачає використання граничних деформацій бетону ϵ_{bu} і арматури ϵ_{su} , які, в свою чергу, опосередковано залежать від модуля пружності бетону, характеру напружено-деформованого стану, кількості арматури, форми перерізу, характеру діаграми роботи арматурної сталі, тощо.

Проведені дослідження та аналіз результатів інших дослідників дозволяє вести мову про те, що простота конструктивних рішень дає підстави для спрощення розрахунків до прийнятної точності. Останнє передбачено діючим ДБН. Зважаючи на це можна зробити наступні припущення про доцільність використання методики розрахунку за спрощеним чи повним алгоритмом ДБН. Так при розрахунку елементів з поперечним перерізом прямокутної або таврової форми, недостатньою забезпеченістю вихідними даними, статично визначуваних або працюючих в умовах дії статичного навантаження є сенс користуватися спрощеним алгоритмом розрахунку ДБН. При розрахунку статично невизначуваних конструкцій, коли йдеться про перерозподіл зусиль, чи коли повністю використовується опір бетону стиснутої зони, розрахунок бажано вести за повним алгоритмом ДБН.

Список літератури

1. ДБН В.2.6. – 98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Проект.-К.: Мінрегіонбуд України, 2011-71с.
2. ДСТУ Б В.2.6–XXX:201X Оцінка технічного стану будівельних сталевих конструкцій, що експлуатуються/ Проект, перша редакція. -К.: Мінрегіон України, 200X-77с.
3. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой СССР.М.: ЦИТП, 1986-79 с.
4. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Общие положения. М.: Госстрой Р.Ф. 2004-24 с.
5. СНиП 52-101-03. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. М: Госстрой России, 2003-125 с.
6. Климов Ю.А. Сучасні методи розрахунку залізобетонних конструкцій за граничними станами другої групи. - К.: КНУБА, 2001-46 с.
7. Бамбура А.Н., Барашиков А.Я. Расчет изгибаемых и внецентренно сжатых элементов на основе упрощенных диаграмм деформирования // Бетон и железобетон - пути развития. - М.: НИИЖБ, 2005- Т.2-С.312-318.
8. EN 1992 -1-1. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. Part 1: General rules and Rules for Buildings, final Draft. December, 2004.

9. **Барашиков А.Я., Задорожнікова І.В.** Спрощені розрахунки несучої здатності нормальних перерізів згинальних елементів за деформаційною моделлю // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі і споруди. 36. наук. статей. - Рівне НУВГП, 2005.-Вип. 12.-С. 109-115.

10. **Барашиков А.Я.** Деформативні методи розрахунку згинальних залізобетонних елементів згідно з проектом нових норм України / Вісник Криворізького технічного університету: - Кривий Ріг, 2006. - Вип. 3. - С. 159-161.

11. Курс лекцій з основ розрахунку будівельних конструкцій з опору залізобетону / **Голишев О.Б., Бамбура А.М.** - К.:Логос, 2004.-340с.

12. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона / **А.Н. Бамбура, В.Я. Бачинський, Н.В. Журавлева, И.Н. Пешкова.**- К.: НИИСК, 1987.-25с.

13. Рекомендации по применению арматурного проката по ДСТУ 3760-98 при проектировании и изготовлении железобетонных конструкций без предварительного напряжения арматуры.- К.. 2002.- 39с.

Рукопис подано до редакції 26.03.15

УДК 62-83

О.В. ЛИТВИНОВ, магістрант, Криворізький національний університет

ДО ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ АВТОНОМНОЇ МІНІВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТ

Для реалізації оптимально можливої ефективності функціонування електромеханічного комплексу вітроенергетичної установки обґрунтована та пропонується для практичної реалізації її конструкція. Розроблено структуру електромеханічної частини вітроенергетичного комплексу і система управління ним з прогнозованим потенціалом надійності і якості електропостачання споживачів електричної енергії підземних виробок залізорудних шахт. Теоретичні аспекти підтверджено експериментальними дослідженнями. Проаналізовано можливість і специфіка роботи вітроенергетичного комплексу в умовах діючих гірничих підземних виробок залізорудних шахт. Розроблено структуру електромеханічної частини вітроенергетичного комплексу і система управління ним з прогнозованим потенціалом надійності й якості електропостачання споживачів. Доведено економічну ефективність застосування вітроенергетичної установки в умовах підземних виробок залізорудних шахт.

Ключові слова: вітроенергетична установка, енергетичний комплекс, поновлювані джерела енергії, залізорудні шахти.

Проблеми та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Економічні проблеми в Україні, в тому числі енергоекономічні, потребують від підприємств пошуку шляхів впровадження та використання нових джерел енергоресурсів, в тому числі тих, що отримали назву нетрадиційних або альтернативних.

Вирішення проблеми незалежного автономного живлення споживачів електричної енергії шляхом використання вітроенергетичних установок (ВЕУ) знаходить своє втілення на підприємствах, де традиційно такий спосіб раніше навіть не прогнозувався. Такими видами підприємств, наприклад, є залізорудні шахти [1].

Енергоефективними типами електротехнічних комплексів ВЕУ є зразки з використанням асинхронних генераторів (АГ) з конденсаторним збудженням [2]. Однак при цьому виникає проблема - стабілізація напруги на виході АГ при змінному навантаженні на лопаті вітроколеса ВЕУ. Однак, вирішення цієї задачі різними дослідниками бачаться по-різному - адресно для конкретного рішення без достатнього рівня універсальності. Нажаль, поки-що частка отримання електроенергії такими засобами в Україні складає лише біля 0,35 % від всього обсягу виробництва, при вельми високій відсотній вартості - 6,25 %. Проте темпи підвищення ефективності виробництва електроенергії з допомогою відновлювальних джерел позитивні [1]. Це актуально і своєчасно, оскільки у зв'язку зі стійкою тенденцією щорічного збільшення споживання електричної енергії, зростанням цін на її виробництво, а також впливом екологічних обмежень, що постійно зростають, актуальнішим стає завдання збільшення обсягів отримання електричної енергії шляхом використання поновлюваних джерел, особливо енергії вітру, яка у вітрових електричних установках перетворюється в електричну. Одним із засобів застосування енергії вітру можуть бути підземні рудничні виробки шахт, де згідно з технологією ведення робіт постійно присутній штучно створюваний потік повітря з його сталими параметрами [1,2]. Прямі витрати на вентиляцію шахт і рудників сягають до 7 % вартості валового національного проду-

кту, причому більшу частину з них становить вартість електроенергії, яку споживають вентиляторні установки. Оскільки при цьому на 75 % вентиляторів головного провітрювання не здійснюється оперативне й плавне регулювання продуктивності, близько 20 % вентиляторів узагалі не регулюються, що призводить до значних перевитрат електроенергії й передчасного зносу устаткування, то можна казати про економічну ефективність роботи вітроустановки, з позиції перетворення надлишкового вентиляційного потоку в електричну енергію [6].

Аналіз досліджень та публікації. Відома робота, в якій розглядаються особливості експлуатації вітроенергетичної автономної установки в підземних гірничих виробках залізорудних шахт [1]. У ній проаналізована можливість і специфіка роботи вітроенергетичного комплексу в умовах діючих гірничих підземних виробок залізорудних шахт. Для реалізації оптимально можливої ефективності функціонування вітроенергетичної установки обґрунтована та пропонується для практичної реалізації її конструкція. Розроблена структура електромеханічної частини вітроенергетичного комплексу і система управління ним з прогнозованим потенціалом надійності і якості електропостачання споживачів. Доведено економічну ефективність застосування вітроенергетичної установки в умовах підземних виробок залізорудних шахт.

Постановка завдання. Головним завданням статті є розробка теоретичних аспектів та практичної реалізації по розробці електромеханічного комплексу вітроенергетичної установки адаптованої для роботи в підземних виробках залізорудних шахт та рудників. Підвищення ефективного використання вентиляційного потоку залізорудних шахт, шляхом застосування вдосконаленого електромеханічного комплексу вітроенергетичної установки, що дозволяє перетворювати турбулентний вентиляційний потік, в місцях розгалуження виробки, в електричну енергію.

Викладення матеріалу та результати. У результаті досліджень встановлено, що для роботи в умовах шахт краще використовувати вітрові електричні установки з вертикальною віссю обертання ротора вітрового колеса [2]. Передача потужності у горизонтальноосьових вітрових електростанціях відбувається від колеса до генератора через редуктор на генератор. У таких установках є необхідність орієнтації на вітер, та створення складної системи керування для нього, складність конструкції лопаті (необхідне її скручування), складність обслуговування генератора, розміщеного у гондолі. Така велика і складна механічна система знижує надійність, підвищує періодичність технічного обслуговування, знижує термін роботи вітроустановки. Для вертикальноосьової вітрової установки орієнтація на вітер не потрібна, а отже вона позбавлена вищезазначених недоліків. Такі вітрові мініелектростанції (ВМЕ) можна використовувати без механічного регулювання кутів нахилу лопатей, вони не потребують штормового захисту, мають більш безпечну та надійну конструкцію, не потребують системи орієнтації на вітер, спрощується механічна трансмісія. Усі вітрові установки мають такий суттєвий недолік, у процесі роботи, внаслідок тертя лопатей об повітря, виникають ультразвукові шуми. Проте, якщо порівняти, приблизно однакові за своїми технічними та геометричними параметрами горизонтальну та вертикальну ВМЕ, то рівень шумів, які створює перша значно більший за рівень другої. Це пояснюється конструктивними особливостями цих установок. Внаслідок роботи будь-якого типу ВМЕ, за рахунок діючих на них сил та моментів, виникають вібрації різної сили (залежить від габаритів ВМЕ). Проте, коливання, створювані роторною ВМЕ хоча і відчутні, але значно менші за ті, які створює горизонтальна вітрова установка. Це є наслідком того, що зі зростанням швидкості обертання, в процесі роботи горизонтально-осьової установки, створюється ефект вовчка.

Використання ВЕУ на базі синхронного генератора зі збудженням від постійних магнітів, з точки зору використання можливостей первинного перетворювача енергії схема більш вдала, ніж інші пропозиції вирішення поставленої задачі. Крім цього, ККД генератора вище порівняно з асинхронними генераторами. Але, при використанні даного типу генератора з'являється необхідність подвійного перетворення 100 % вироблюваної СГ електроенергії напівпровідниковими перетворювачами більшої потужності, що призводить до подорожчання системи. В той же час, такі генератори мають досить високу вартість і велику масу [14].

Значної кількості недоліків перерахованих в попередньому варіанті ВЕУ можна уникнути, використовуючи ВЕУ на базі синхронного генератора прямого приводу з електромагнітним або магнітоелектричним збудженням. У цьому випадку за рахунок відсутності мультиплікатора і обмотки збудження підвищується ККД установки, її надійність, і знижуються експлуатаційні

витрати. Окрім того, якщо генератор підключений до мережі з частотою 50 Гц, то при швидкості обертання в 30 об/хв, потрібно вибрати генератор з 200 полюсами. Маса ротора генератора повинна бути приблизно пропорційна крутному моменту, що значно збільшить масу [9].

У конструкції ВЕУ на базі асинхронного генератора з фазним ротором завдяки наявності регульованого опору обмотки ротора з'являється можливість змінювати механічну характеристику генератора, що дозволяє змінювати частоту обертання до 10 % вище номіналу. Можливості первинного перетворювача енергії використовуються краще, ніж при оснащенні ВЕУ АГ з КЗ ротором. Але наявність обмотки ротора, ковзних контактів і блоку баластних резисторів погіршують показники надійності [4].

Для випадку роботи ВЕУ в шахті, не дивлячись на всі переваги системи з синхронним генератором, все ж найбільш кращим варіантом є використання асинхронного генератора. Це зумовлено насамперед особливостями навколишнього шахтного середовища.

Для використання ВЕУ в умовах рудних шахт необхідно вибрати надійний, малогабаритний і простий в обслуговуванні генератор необхідної потужності. Також для роботи ВЕУ на мережу, в умовах залізрудних шахт, найбільш ефективними із вище розглянутих варіантів є ВЕУ з асинхронним генератором [5].

Для роботи ВЕУ в умовах залізрудних шахт, з можливістю віддачі електричної енергії в мережу, найбільш характерними критеріями вибору генератора є: масогабаритні характеристики, надійність і простота в обслуговуванні, потужність генерування, якість виробленої енергії. Виходячи з вище перелічених критеріїв, найбільш доцільним, для роботи ВЕУ в умовах залізрудних шахт, є асинхронний генератор з короткозамкненим ротором на постійних магнітах. Використання такого типу генератора в умовах рудних шахт дозволить з невеликими фінансовими витратами отримувати якісну електричну енергію при цьому ремонтні та монтажні роботи, що стосуються генератора, проводитимуться легше за рахунок низької маси та розмірів, що особливо важливо в умовах роботи вітрового генератора в рудних шахтах.

Очікувана потужність вітрових мініелектростанцій для підземних гірничих виробок - 0,5-3 кВт, в залежності від типу вітроустановки та швидкості вітру, що дозволить забезпечити живлення освітлюваної мережі всієї шахти.

Процеси аеродинаміки вітроагрегату описуються усередненими по Рейнольдсу рівняннями Нав'є-Стокса нестискуваного середовища.

Як початкові умови задавалися параметри незбуреного потоку у всій розрахунковій області. На зовнішній межі застосовувалися граничні умови, для розрахунку яких використовувався метод характеристик. На поверхні твердого тіла враховувалась умова прилипання.

Рівняння руху в'язкого газу запишеться у вигляді рівняння Нав'є-Стокса у векторній формі [3,4]

$$\frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{g}_m - \frac{1}{\rho} \text{grad}p + \nu \Delta \mathbf{u} + \left(\frac{\zeta}{\rho} + \frac{\nu}{3} \right) \text{grad} \text{div} \mathbf{u}$$

при умові, що $\zeta = \text{const}$ і $\nu = \text{const}$, де $\nu = \eta/\rho$ - кінематична в'язкість (коефіцієнт внутрішнього тертя); ζ - друга в'язкість; $\Delta = (\partial^2/\partial x^2) + (\partial^2/\partial y^2) + (\partial^2/\partial z^2) = \nabla^2 = \nabla \cdot \nabla$ - оператор Лапласа; ρ_m - напруженість поля масових сил; ρ - густина, p - тиск.

Виходячи з результатів досліджень є підстави вважати, що потужність ВЕУ в умовах шахт залежить від її аеродинамічних умов [1].

Використання енергії вентиляційного повітряного потоку капітальної підземної виробки залізрудних шахт дозволить використовувати згенеровану потужність для власних потреб шахт (наприклад для освітлення), тим самим зменшивши витрати на купівлю електричної енергії.

При розрахунку економічної ефективності і доцільності застосування ВЕК в умовах залізрудних шахт (ЗРШ) необхідно враховувати особливості експлуатації, специфіку їх монтажу та віддаленість від споживачів ЕЕ.

До складу експлуатаційних витрат на експлуатацію ВЕК можна віднести: витрати на проведення поточних ремонтів обладнання, що експлуатується в умовах ЗРШ, які зменшуються, оскільки є інженерно-технічний персонал, що обслуговує ділянки електричної мережі, до яких буде під'єднано ВЕК, відрахування на відновлення елементів установки (амортизаційні відрахування), інші прямі витрати. При використанні ВЕК відпрацьованих технологічних відходів

промислового підприємства (вентиляція, пара і т.ін.), при безперервності технологічного процесу, обсяг виробленої ЕЕ збільшиться в порівнянні з експлуатацією ВЕК в природних умовах, за той самий час роботи. Спосіб розташування мінівітрової електростанції показана на рис. 1 [1].

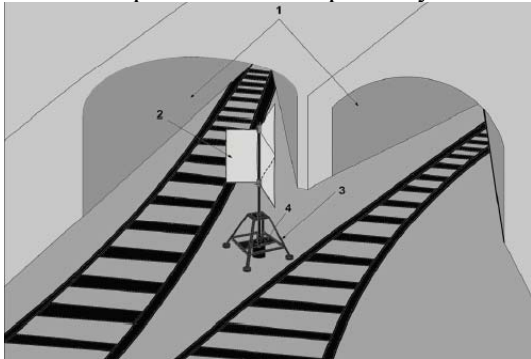


Рис. 1. Схема розташування мінівітрової електростанції у шахті: 1 – перший та другий квершлаг; 2 – лопаті вітроколеса; 3 – металева опора вітроколеса; 4 – генератор

У капітальній підземній виробці на спорядженні двох квершлагів встановлюється один вітрогенератор. При чому він монтується таким чином, щоб відстань між вітроколесом, стінами та коліями була достатньою для безпечної роботи самого вітрогенератора, людей та руху електровозів.

Вітроустановка, що встановлена на спряженні квершлагів в пристінній ділянці, використовує повітряний вентиляційний потік повітря, не змінюючи його напрям, та практично не впливаючи на його потужність, оскільки основний потік проходить повз установку, котра встановлюється пристінно на перетині квершлагів – порожньокового та вантажного. При цьому для перетворення використовується та частина вентиляційного потоку, яка і без цього зазнавала і зазнає взаємодії із стінами гірничої виробки. Повітровідбивач згладжує турбулентність цих потоків та надає їм направленості руху.

Встановлення вітроустановок в підземних виробках залізрудних шахт є доцільним, оскільки живлення законсервованих виробок залізрудних шахт є затратним з позиції протяжності лінії електропостачання до 2 км.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Виходячи з вище сказаного, можна зробити висновок, що використання вітрових енергетичних установок в умовах залізрудних шахт як додаткового джерела живлення є актуальним для забезпечення умови безперебійності систем електропостачання освітлювальних мереж підземних виробок залізрудних шахт.

Список літератури

1. Сінчук І.О., Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: Навчальних посібник / І.О. Сінчук, С.М. Бойко, К.І. Лосіна, І.А. Луценко, Г.І. Ткаченко // під ред. докт. технічних наук, проф. О.М. Сінчука. – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2013. – 192с.
2. Сінчук О. М. Про залежність енергетичних координат вітроенергетичної установки з вертикальною віссю обертання від аеродинамічних умов шахт / О. М. Сінчук, С. М. Бойко, М. А. Щербак // Технічна Електродинаміка. Силова електроніка та енергоефективність : темат. вип. — Ч. 4. — Харків, Інститут Електродинаміки НАН України, 2012. — С. 171—172.
3. Сінчук О.М., Бойко С.М., Щербак М.А. Про залежність енергетичних координат вітроенергетичної установки з вертикальною віссю обертання від аеродинамічних умов шахт// Технічна Електродинаміка. Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність». Частина 4. – Харків, Інститут електродинаміки НАН України, 2012. – С.171-172.
4. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Під заг. ред. А. К. Шидловського. - К.: Українські енциклопедичні знання, 2007 - 560 с.
5. Бойко, С. М. До питання вибору електричного генератора для вітрогенеруючої установки з вертикальною віссю обертання в умовах залізрудних шахт (Текст) / С. М. Бойко. А. М. Ялова. О. М. Сінчук. - Донецьк. 2012. - С. 88-89.
6. Патент України. МПК F03D 9/00 Спосіб розташування вітроустановки в діючих виробках шахт / О. П. Сінчук, С. М. Якнмець, Д. А. Шокар'юв, С. М. Бойко, М. А. Щербак; патент України № 80828, заява J4&u201215007 від 27.12.2012, опубл. 10.06.2013. Бюл. №11, 2013 р.
7. Патент України. МПК F03D 3/04 Повітровідбивач дія вітрової енергетичної установки з вертикальною віссю обертання / О.Н. Сінчук, С.М. Якнмець, С.М. Бойко, М.А. Щербак; патент України № 808278, заява JSfeu201215006 від 27.12.2012, опубл. Бюл. №11, 2013 р.
8. Патент України. МПК H02P9/00 Система керування асинхронним генератором у складі вітроелектротехнічного комплексу / О.Н. Сінчук, Д.А. Михайличенко, С.М. Бойко, М.А. Щербак; патент України № 84633, заява №п 201305538 від опубл. 25.10.2013. Бюл. №20, 2013 р.
9. Moor, G. Power point trackers for wind turbines [Text] / G. Moor, H. Beukes // Power Electronics Specialist Conference (PESC). - 2004. - P. 2044-2049.
10. Nakamura, T. Optimum control of ipmsg for wind generation system [Text] / T. Nakamura, S. Morimoto, M. Sanada, Y. Takeda, // Power Conversion Conference (PCC). - 2002. - Vol. 3. - P. 1435-1440.
11. Sieradzka M. Badania eksploatacyjnego trwalosci silnicow indukcyjnych. – Elektrotechnika. Buil. Inform., 1972, 26, N 2, с. 61-71.

Рукопис подано до редакції 26.03.15

УДК 622.72: 622.341

В.А. АЗАРЯН, В.М. СЕРЕБРЕНИКОВ, кандидаты. техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСКРЕТНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛЕЗНОГО КОМПОНЕНТА НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРИБЫЛИ ГОРНООБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

Стабилизация качества в рудопотоках карьеров невозможна без получения достоверной информации о содержании полезного компонента в каждом забое карьера. Качество руды из забоев предопределяет качество рудопотока, который является сырьевой основой для обогатительного производства. От качества рудопотока напрямую зависит качество концентрата, являющегося конечным продуктом ГОКа. Таким образом, существует взаимосвязь между дискретностью опробования забоев карьера, дающим информацию о качестве железорудного сырья и показателями прибыли ГОКа. В статье рассмотрена математическая модель процесса опробования забоев карьера при формировании рудопотока. По данным ПАО «Полтавский ГОК» был рассмотрен пример с применением методов спектрального анализа. В результате была оценена потеря информации о содержании полезного компонента как функция дискретности опробования, что привело к снижению прибыли ГОКа. По итогам исследований были даны рекомендации по выбору оптимальных дискретностей опробования забоев карьера при формировании рудопотока.

Ключевые слова: рудопоток карьера, опробование забоев карьера, дискретность опробования, содержание полезного компонента, потеря информации, спектральный анализ.

Одним из основных условий при формировании рудопотока карьера является стабилизация содержания полезного компонента в заданном диапазоне. Для первоначального формирования рудопотока выполняется расчет объемов руды, добываемых в забоях карьера с различными показателями качества, а для этого необходима достоверная информация о содержании полезного компонента в каждом забое. [1]

Проблема и ее связь с основными научными и практическими заданиями. Информация о содержании полезного компонента в каждом забое карьера является необходимым условием для формирования рудопотока с заданными качественными характеристиками [2]. При этом от качества рудопотока зависит качество концентрата, который является конечным продуктом ГОКа. От качественных характеристик концентрата зависят показатели прибыли ГОКа.

Анализ исследований и публикаций. В железорудных карьерах Украины производят замеры содержания полезного компонента ежемесячно. Периодичность снятия информации о содержании полезного компонента математически не обоснована, взаимосвязь между периодом опробования и показателями прибыли не исследована. Период опробования забоев карьера определяется технологическими возможностями служб технического контроля.

Постановка задачи. Необходимо исследовать и получить зависимость величин потери информации о содержании полезного компонента и показателей прибыли ГОКа от периода опробования забоев в карьере.

Изложение материала и результаты. Одним из факторов, влияющих на формирование качества рудопотока, является дискретность опробования забоев. Анализ изменения содержания железа в рудном массиве в процессе отработки забоев показывает, что это изменение можно описать стационарным стохастическим процессом с постоянными средним значением и дисперсией.

Пусть $C(t)$ - стационарный стохастический процесс, описывающий содержание железа в забое карьера. В этом случае автоковариационная функция содержания железа в руде будет зависеть только от разности моментов времени τ ,

$$R(\tau) = 1/T \int_0^T (c(t) - M[C]) \cdot (c(t + \tau) - M[C]) dt, \quad (1)$$

где $M[C] = 1/T \int_0^T c(t) dt$, $[0; T]$ - рассматриваемый промежуток времени, с.

При отсутствии запаздывания ($\tau=0$) формула (1) определяет дисперсию содержания железа в руде

$$R(0) = 1/T \int_0^T (c(t) - M[C])^2 dt = D[C]. \quad (2)$$

Спектральная плотность для рассматриваемого случайного процесса с помощью соотношения Хинчина-Винера [10] запишется в виде

$$S(\omega) = 1/\pi \int_0^{\infty} R(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau, \quad (3)$$

где ω - круговая частота, 1/с.

Тогда автоковариационная функция (1) может быть записана в виде

$$R(\tau) = 2 \int_0^{\infty} S(\omega) \cos(\omega\tau) d\omega, \quad (4)$$

и дисперсия (2)

$$D[C] = 2 \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega. \quad (5)$$

Если измерение содержания железа в руде проводится с дискретностью Δ , то максимальная фиксируемая частота при съеме информации равна

$$\omega = 2\pi/\Delta. \quad (6)$$

При этом потеря информации о дисперсии содержания железа в руде составит величину

$$\delta D[C] = 2 \int_{2\pi/\Delta}^{\infty} S(\omega) d\omega. \quad (7)$$

И, следовательно, потеря информации, с учетом (7), о среднеквадратическом отклонении содержания железа в руде

$$\delta\sigma_C = 1/\sigma_c \int_{2\pi/\Delta}^{\infty} S(\omega) d\omega. \quad (8)$$

В случае, когда руда добывается в n забоях, то в k -м забое содержание железа в руде описывается стационарным стохастическим процессом

$$C_k(t), (k = 1, 2, \dots, n), \quad (9)$$

автоковариационная функция для которого

$$R_k(\tau) = 1/T_k \int_0^{T_k} (c_k(t) - M[C_k]) \cdot (c_k(t+\tau) - M[C_k]) dt, \quad (10)$$

где $M[C_k] = 1/T_k \int_0^{T_k} c_k(t) dt$ - математическое ожидание содержания железа в k -м забое; $[0; T_k]$ - промежуток времени измерения содержания железа в k -м забое.

В свою очередь, спектральная плотность и дисперсия содержания железа в k -м забое, согласно (3) и (5), вычисляются, соответственно, по формулам

$$S_k(\omega) = 1/\pi \int_0^{\infty} R_k(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau, \quad (11)$$

$$D[C_k] = 2 \int_0^{\infty} S_k(\omega) d\omega. \quad (12)$$

Тогда, согласно (7), потеря информации о дисперсии содержания железа, добываемом в k -ом забое, находится по формуле

$$\delta D[C_k] = 2 \int_{2\pi/\Delta_k}^{\infty} S_k(\omega) d\omega, \quad (13)$$

где Δ_k - дискретность измерения содержания железа в k -м забое.

В результате шихтовки содержание железа в руде определится по формуле

$$C(t) = \sum_{k=1}^n \mu_k \cdot C_k(t), \quad (14)$$

где $C(t)$ - содержание железа в шихтованной руде, $\mu_k = V_k / \sum_{k=1}^n V_k$ - объемная доля руды из k -го забоя, доставляемой на шихтовку.

Тогда, согласно (14), потеря информации о дисперсии содержания железа в руде, находится, по формуле

$$\delta D[C] = \sum_{k=1}^n \mu_k^2 \cdot \delta D[C_k]. \quad (15)$$

Подставляя (13) в формулу (15), получаем оценку величины потери информации о дисперсии содержания железа в рудопотоке вследствие дискретности опробования забоев

$$\delta D[C] = 2 \sum_{k=1}^n \mu_k^2 \cdot \int_{2\pi/\Delta_k}^{\infty} S_k(\omega) d\omega. \quad (16)$$

Принимая во внимание (6), (7) и (8), можно записать величину потери информации о среднеквадратическом отклонении содержания железа в руде вследствие дискретности измерения содержания железа в руде, добываемой в забоях,

$$\delta \sigma_C = 1/\sigma_C \sum_{k=1}^n \mu_k^2 \int_{2\pi/\Delta_k}^{\infty} S_k(\omega) d\omega. \quad (17)$$

Руда доставляется из забоев карьера в пункт приемной воронки ЦПТ в течение некоторого промежутка времени, поэтому содержание железа в шихтованной может быть найдено по формуле

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^n \mu_{ik} C_{ik}, \quad (18)$$

где $\mu_{ik} = V_{ik} / \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^n V_{ik}$; V_{ik} - объем руды, доставляемый в i -й момент времени из k -го забоя; C_{ik} - содержание железа в руде, доставляемой в i -й момент времени из k -го забоя; N - число рейсов, доставляющих руду из забоев, в течение рассматриваемого промежутка времени.

Тогда потеря информации о среднеквадратическом отклонении содержания железа в рудопотоке находится по формуле

$$\delta \sigma_C = 1/\sigma_C \sum_{k=1}^n \mu_k^2 \int_{2\pi/\Delta_k}^{\infty} S_k(\omega) d\omega, \quad (19)$$

где $\mu_k^2 = \sum_{i=1}^N \mu_{ik}^2$.

Полученные позволяют выявить “скрытую” колеблемость содержания железа в сформированном рудопотоке, вызванную дискретностью опробования забоев.

Рассмотрим математическое моделирование опробования забоев на основе статистических данных о работе экскаваторов № 93 и 56 в карьере ПАО «Полтавский ГОК». На рис. 1 и 2 для забоев, в которых работали эти экскаваторы, представлены значения выборочных автоковариационных функций содержания железа в руде, рассчитанные по формуле

$$R_k = 1/N \sum_{i=1}^{N-k} (c_i - \bar{c})(c_{i+k} - \bar{c}),$$

где $\bar{c} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c_i$; $N=[T/\Delta]$ - число измерений содержания железа; $k=0,1,2,\dots,K$, и аппроксимация этих значений функцией $R(\tau) = D[C] \cdot e^{-\alpha \cdot \tau}$.

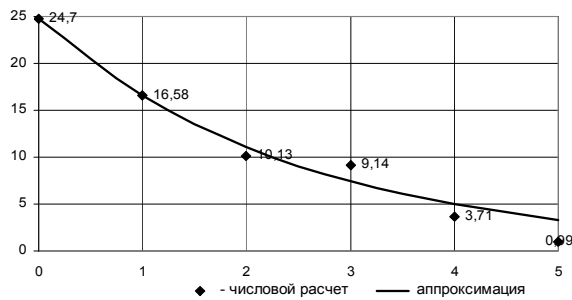


Рис. 1. График автоковариационной функции содержания железа для экскаватора № 93

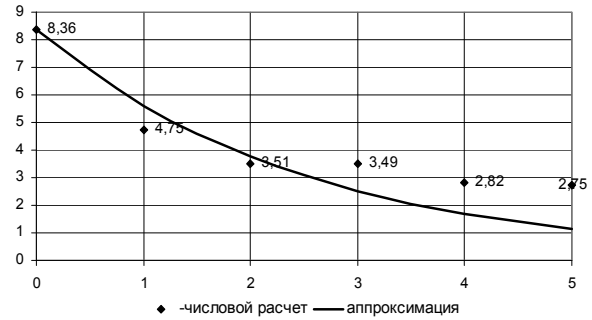


Рис. 2. График автоковариационной функции содержания железа для экскаватора № 56

$$(D[C] = 24,7, \alpha = 0,0333), (D[C] = 8,36, \alpha = 0,0333).$$

Спектральная плотность содержания железа в руде рассчитывается по формуле (3)

$$S(\omega) = \frac{D[C]}{\pi} \frac{\alpha}{\omega^2 + \alpha^2}.$$

Тогда формула (8) после интегрирования принимает вид

$$\delta\sigma_C = \frac{\sigma_C}{\pi} \left(\frac{\pi}{2} - \arctg\left(\frac{2\pi}{\alpha \cdot \Delta}\right) \right). \quad (20)$$

Формула (20) дает возможность оценить потерю информации о величине среднеквадратического отклонения содержания железа в руде в зависимости от дискретности измерения содержания железа в руде.

Для рудопотока, сформированного путем перемешивания руды из двух рассматриваемых забоев, потеря информации о величине среднеквадратического отклонения содержания железа в руде вычисляется по формуле

$$\delta\sigma_C = \frac{1}{\sigma_C \cdot \pi} \cdot \sum_{k=1}^2 \mu_k^2 D[C_k] \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \arctg\left(\frac{2\pi}{\alpha_k \cdot \Delta_k}\right) \right). \quad (21)$$

Согласно статистическим данным, с учетом того, $\mu_1=0,418$, $\mu_2=0,582$, находим

$$D[C] = \sum_{k=1}^2 \mu_k^2 D[C_k] = 0,175 \cdot 24,7 + 0,339 \cdot 8,36 \approx 7,157, \quad \sigma_C \approx 2,68.$$

В результате формула (21) принимает вид

$$\delta\sigma_C = 1,33 - 0,85 \cdot \arctg\left(\frac{188,6}{\Delta}\right). \quad (22)$$

В табл. 3 представлены данные о прибыли ОАО «Полтавский ГОК» в зависимости от величины среднеквадратического отклонения содержания железа в рудопотоке и крупности измельчения руды.

Таблица 3

СКО, % \ d, мм	15	30	45	60	75	90
0	2622	2753	2691	2579	2283	1911
1	2551	2676	2614	2504	2215	1852
2	2479	2599	2537	2428	2147	1794
3	2407	2522	2461	2353	2078	1736
4	2335	2445	2384	2278	2010	1677
5	2263	2368	2307	2203	1942	1619

Данные табл. 3 могут быть аппроксимированы формулой

$$П = 2425 - 71,24 \cdot \sigma_C + 17,4 \cdot d - 0,2535 \cdot d^2, \quad (23)$$

где $П$ - прибыль, млн грн., σ_C - СКО; d - крупность измельчения, мкм.

Следовательно, снижение величины прибыли от потери информации о СКО содержания железа в рудопотоке вследствие дискретности измерения содержания железа в забоях составит, согласно (23) и с учетом (19),

$$\delta\Pi = \frac{71,24}{\sigma_C} \sum_{k=1}^n \mu_k^2 \int_{2\pi/\Delta_k}^{\infty} S_k(\omega) d\omega. \quad (24)$$

Исходя их формулы (24) и согласно (22), можно получить явную зависимость потери прибыли вследствие дискретности периода измерения содержания железа руде в забоях

$$\delta\Pi = 94,75 - 60,55 \cdot \arctg\left(\frac{188,6}{\Delta}\right). \quad (25)$$

На рис. 3 приведены график зависимости относительной потери информации о СКО содержания железа в рудопотоке от дискретности измерения содержания железа в забое (слева) и график зависимости снижения показателя прибыли комбината от дискретности измерения содержания полезного компонента (справа)

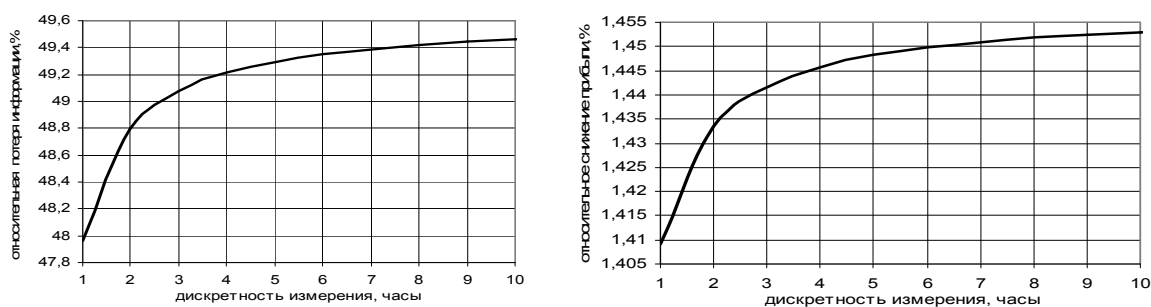


Рис. 3. График зависимости относительной потери информации о величине среднеквадратического отклонения содержания железа в рудопотоке от дискретности измерения содержания железа в забое (слева) и график зависимости относительного снижения показателя прибыли комбината от дискретности измерения содержания железа (справа)

Анализ графиков показывает, что с увеличением дискретности измерения содержания железа в забоях увеличивается потеря информации о величине среднеквадратического отклонения содержания железа в рудопотоке и снижается показатель прибыли комбината.

Выводы. Получена зависимость снижения величины прибыли от дискретности опробования забоев карьера

Оптимизация цикла опробования рудных забоев карьера позволит снизить потери информации о содержании полезного компонента, сформировать рудопоток с заданными качественными характеристиками и увеличить показатели прибыли горно-обогатительного комбината.

Список литературы

1. Азарян В.А. «Управление качеством в рудопотоках железорудных карьеров Украины» - Материалы 6 международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании», Варна, 4-10 июня 2010 г.
2. Бызов В.Ф., Вилкул Ю.Г., Максимов И.И. Об усреднении качества руд при объединении грузопотоков / В.Ф. Бызов В.Ф., Ю.Г. Вилкул, И.И. Максимов // *Металлургическая и горная промышленность*, 1982. - №2. - С. 64-65.
3. Бызов В.Ф. Управление качеством продукции карьеров: Учебн. для вузов – М.: Недра, 1991. – 239 с.
4. Бабий Е.В., Синенко М.А. «О качестве рудного потока при технологии предобогащения руды в карьере» / Бабий Е.В., Синенко М.А. // *Вісник КТУ: Кривий Ріг*, 2010.
5. Дрига В.В. Исследование и классификация факторов, влияющих на геофизический мониторинг массовой доли магнетита в горной массе / В.В.Дрига // *Вісник Криворізького технічного університету: Кривий Ріг: КНУ*, 2006. – Вип.14. – С.150-153.
6. Азарян А.А., Колосов В.А., Ломовцев Л.А., Учитель А.Д. / *Качество минерального сырья* // А.А. Азарян, В.А.Колосов., Л.А.Ломовцев, А.Д. Учитель. – Кривий Ріг: *Мінерал*, 2001 – 201 с.
7. Жеребцов А.С., Троп А.Е., Зобнин Б.Б. К измерению содержания магнетита в потоке руды. – *Изв. вузов. Горный журнал*, 1974. – №7.
8. Арсеньев С.Я., Прудовский А.Д. Внутрикарьерное усреднение железных руд. – М.: Недра, 1980.
9. Бастан П.П., Костина Н.К. Смешивание и сортировка руд. – М.: Недра, 1990.
10. Кац М.Д. Математические основы теории управления: учебное пособие для практической и самостоятельной работы / М.Д. Кац – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010.-107 с.

Рукопис подано до редакції 26.03.15

УДК 622.725: 681.518.52

В.Ю. ЗУБКЕВИЧ, ст. преподаватель, Криворожский национальный университет

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИСТЕМ ТЕРМОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И СЕПАРАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Рассмотрены вопросы определения аналитических зависимостей эффектов взаимодействия сверхвысокочастотного излучения с минеральным веществом с учетом резонансных явлений (релаксаций) молекул и атомов при изменении частотных параметров возбуждающего сверхвысокочастотного излучения и определения параметров, влияющих на термодинамический сверхвысокочастотный фактор данного вещества с использованием теории Дебая и представлений о комплексной диэлектрической проницаемости.

Приводится формализации зависимостей величин термодинамических эффектов взаимодействия высокоэнергетического сверхвысокочастотного электромагнитного излучения с минеральным веществом с целью идентификации качественных характеристик последнего. Это обеспечивает создание информационного обеспечения для оперативного прогнозирования показателей технологических процессов добычи и переработки минерального сырья и может стать альтернативой периодически проводимого аналитического исследования контролируемых технологических потоков.

Определены зависимости и параметры эффектов взаимодействия электромагнитного поля на минеральное вещество от его физических электрических и термодинамических свойств и параметров возбуждающего электромагнитного излучения

Полученные результаты предназначены для использования в системах термографического контроля и сепарации минерального сырья и техногенных отходов и создания ряд способов термографической многофакторной сепарации.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Горнорудная промышленность Украины занимает ведущее место в мире по объему производства металлургического сырья. Вместе с тем обеспечение металлургического производства высококачественным сырьем продолжает оставаться острой и трудоемкой проблемой. Особо остро стоит проблема оперативного контроля качества минерального сырья и управление технологическими процессами при добыче и переработке руд.

Качество минерального сырья определяется не только параметрами содержания полезных компонент, но и содержанием вредных сопутствующих компонент снижающих потребительские свойства конечного продукта. Для железорудного сырья вредными компонентами являются минералы и химические соединения, содержащие серу и фосфор.

Таким образом, достоверная и полная оперативная информация о полном вещественном составе добытого минерального сырья позволяет правильно выбрать и настроить технологию добычи и обогащения.

Реализации непрерывного автоматического контроля содержания полезной компоненты в крупнокусковой горной массе посвящены некоторые научные разработки в бывшем СССР и за рубежом.

Анализ исследований и публикаций. Все минералы и горные породы отличаются друг от друга рядом признаков. Если минералы подвергнуть нагреву с помощью сверхвысокочастотного источника энергии, то они будут нагреваться по-разному. Приращение температуры определяется формулой °К

$$\Delta T = \frac{\pi f \cdot E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta}{c \rho} \Delta t_H, \quad (1)$$

где f , E_m , Δt_H - частота, напряженность и продолжительность воздействия СВЧ-поля на частицы; ε_0 - электрическая постоянная; ε - диэлектрическая проницаемость; $\operatorname{tg} \delta$ - тангенс угла диэлектрических потерь; c - удельная теплоемкость, (Дж/кг·°К).

$$\Delta T = (\pi f E_m^2 \varepsilon_0 \Delta t_H) \frac{\varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta}{c \cdot \rho} = kF,$$

где k - коэффициент, связывающий все одинаковые для всех кусков величины; F - термодинамический фактор, который можно вычислить для каждого минерала.

Измерение ΔT осуществляется тепловизором с разрешением по температуре $0,08^\circ\text{C}$, который определяет «светимость» частицы, связанную с ΔT . Тепловизор позволяет «увидеть» минералы, не выходящие за пределы куска типа золото «в рубашке», например золото в кварце.

Тангенс диэлектрических потерь сложным образом зависит от выбираемой частоты поля f (зависимость имеет несколько максимумов) и поэтому в справочниках не приводится, однако он связан с проводимостью. Чем больше проводимость, тем больше тангенс диэлектрических потерь (как и диэлектрическая проницаемость).

Входящие в (1) величины, в свою очередь, как уже отмечалось, являются функциями не только вещественного состава минерала, но и частоты сверхвысокочастотного источника энергии и от температуры.

Изменение температуры нагрева при постоянной частоте сверхвысокочастотного источника энергии не будет влиять на показания теплового контроля, но будут определять общие функциональные зависимости. Изменение параметров в силу изменения температуры минерала в результате воздействия сверхвысокочастотной энергии так же можно считать не существенными, так как величина нагрева при этом составляет несколько градусов, что не вызывает на практике заметных их изменений. Но для выявления степени влияния и необходимости учета этих влияний, попытаемся такие зависимости определить.

Как известно [5] воздействие электромагнитного поля на среду зависит от свойств среды и параметров электромагнитного излучения и описывается уравнениями Максвелла [1]

Комплексную абсолютную диэлектрическую проницаемость среды, согласно [10], можно записать

$$\dot{\varepsilon}_o = \varepsilon_o + \frac{\sigma(\omega)}{j\omega} = \frac{\dot{\varepsilon}_a}{\varepsilon_o} = \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_o} - j \frac{\sigma(\omega)}{\omega\varepsilon_o} = \varepsilon' - j\varepsilon''.$$

где ε' - значение действительной части относительной комплексной диэлектрической проницаемости среды; ε'' - значение мнимой части относительной комплексной диэлектрической проницаемости среды; ε_o - электрическая постоянная (Ф/м).

$$\varepsilon_o \varepsilon' \operatorname{tg} \delta_\varepsilon = \varepsilon_o \varepsilon'' = \frac{\sigma(\omega)}{\omega}. \quad (2)$$

В общем случае действительная и мнимая части относительной комплексной диэлектрической проницаемости и удельная проводимость зависят от частоты электромагнитного поля, которые могут быть выражены формулами Дебая [11]

$$\varepsilon'(\omega) = \varepsilon^\infty + \frac{\varepsilon^o - \varepsilon^\infty}{1 + (\omega/\omega_\varepsilon)^2}, \quad \varepsilon''(\omega) = \frac{(\varepsilon^o - \varepsilon^\infty)\omega/\omega_\varepsilon}{1 + (\omega/\omega_\varepsilon)^2}, \quad (3)$$

где $\omega_\varepsilon = 2\pi/\tau_\varepsilon$ - частота максимального поглощения (частота электрической релаксации) (Гц); ε^o - значение относительной диэлектрической проницаемости среды в статическом поле; ε^∞ - граничное значение относительной диэлектрической проницаемости среды в переменном поле с частотой, стремящейся к бесконечности; τ_ε - постоянная времени затухания вынужденных колебаний частиц вещества, вызванные электрическим полем (время электрической релаксации [10]).

С учетом (2) и (3) можно записать

$$\frac{\sigma(\omega)}{\omega} = \varepsilon_o \frac{(\varepsilon^o - \varepsilon^\infty)\omega/\omega_\varepsilon}{1 + (\omega/\omega_\varepsilon)^2}, \quad \text{откуда} \quad \sigma(\omega) = \varepsilon_o \frac{(\varepsilon^o - \varepsilon^\infty)\omega^2/\omega_\varepsilon}{1 + (\omega/\omega_\varepsilon)^2} \quad (4)$$

Постановка задания. Рассмотрим значения динамической проводимости при характерных значениях частоты электромагнитного поля, а именно: $\omega=0$; $\omega=\omega_\varepsilon$; $\omega=\infty$.

Очевидно, что при $\omega=0$ $\sigma(0)=0$; при $\omega=\omega_\varepsilon$ $\sigma(\omega_\varepsilon)=\varepsilon_o\omega_\varepsilon(\varepsilon^o-\varepsilon^\infty)/2$; при $\omega=\infty$ $\sigma(\infty)=\varepsilon_o(\varepsilon^o-\varepsilon^\infty)$.

Значение проводимости при $\omega=0$ не соответствует истине. Не соответствует истине значение проводимости и на предельных частотах. Так, на оптических частотах электрическая проводимость практически равна нулю. Поэтому выражение (4) адекватно описывает изменение проводимости от частоты в диапазоне частот в окрестности частоты ω_ε .

Для описания зависимости проводимости от частоты при $0 \leq \omega_\varepsilon$ выражение (4) необходимо добавить значение проводимости при статическом поле σ^o

$$\sigma_{(\omega)}^0 = \sigma^0 + \varepsilon_0 \frac{(\varepsilon^0 - \varepsilon^\infty) \omega^2 / \omega_\varepsilon}{1 + (\omega / \omega_\varepsilon)^2} \quad (5)$$

Для описания в полном диапазоне частот выражение (5) необходимо умножить на величину $\omega_\varepsilon^2 / (\omega_\varepsilon^2 + \omega^2)$, т.е. можно записать

$$\sigma_{(\omega)}^0 = \frac{\omega_\varepsilon^2 \sigma^0}{\omega_\varepsilon^2 + \omega^2} + \varepsilon_0 \frac{(\varepsilon^0 - \varepsilon^\infty) \omega^2 \omega_\varepsilon^3}{(\omega_\varepsilon^2 + \omega^2)^2}. \quad (6)$$

Функция (6) удовлетворяет всем известным знаниям о зависимости проводимости от частоты: при $\omega=0$, $\sigma(\omega)=\sigma(0)$ - статическая проводимость при постоянном токе; при $\omega=\infty$, $\sigma(\omega)=0$, так как нет таких зарядов, способных направленно двигаться синхронно полю, изменяющемуся с бесконечной частотой. Окончательно можно записать

$$\sigma_{(\omega)}^0 = \frac{\sigma^0 (\omega_\varepsilon^2 + \omega^2) \omega_\varepsilon^2 + \varepsilon_0 (\varepsilon^0 - \varepsilon^\infty) \omega^2 \omega_\varepsilon^3}{(\omega_\varepsilon^2 + \omega^2)^2}.$$

Подставив в (1) выражение (2) и (4) получим

$$\Delta T = \frac{\pi f \cdot E_m^2 \sigma_{(\omega)}^0}{c \rho \omega} \Delta t_H = \frac{E_m^2 \sigma_{(\omega)}^0}{2c \rho} \Delta t_H = \frac{E_m^2}{2c \rho} \cdot \frac{\sigma^0 (\omega_\varepsilon^2 + \omega^2) \omega_\varepsilon^2 + \varepsilon_0 (\varepsilon^0 - \varepsilon^\infty) \omega^2 \omega_\varepsilon^3}{(\omega_\varepsilon^2 + \omega^2)^2} \Delta t_H$$

или

$$\Delta T = \frac{E_m^2}{2c \rho} \cdot \frac{\sigma^0 \omega_\varepsilon^2}{\omega_\varepsilon^2 + \omega^2} \Delta t_H + \frac{E_m^2}{2c \rho} \cdot \frac{\varepsilon_0 (\varepsilon^0 - \varepsilon^\infty) \omega^2 \omega_\varepsilon^3}{(\omega_\varepsilon^2 + \omega^2)^2} \Delta t_H$$

$$\Delta T = \frac{E_m^2}{2c \rho} \cdot \sigma^0 \Delta t_H; \quad \Delta T = \frac{E_m^2}{4c \rho} \Delta t_H \cdot \left[\sigma^0 + \frac{\varepsilon_0 (\varepsilon^0 - \varepsilon^\infty) \omega_\varepsilon}{2} \right]; \quad \Delta T = 0.$$

Изложение материала и результаты. Рассмотрим однокомпонентный диэлектрик с функцией распределения времен релаксации $f(\tau_\varepsilon)$ в виде прямоугольника: $f(\tau_\varepsilon)=h=\text{const}$ в интервале $\tau_{\varepsilon 1} \leq \tau_\varepsilon \leq \tau_{\varepsilon 2}$ и $f(\tau_\varepsilon) = 0$ при $\tau_\varepsilon < \tau_{\varepsilon 1}$ и $\tau_\varepsilon > \tau_{\varepsilon 2}$ ($f(\tau_\varepsilon) d\tau_\varepsilon$ вероятность нахождения времени релаксации в интервале от τ_ε до $\tau_\varepsilon + d\tau_\varepsilon$). В таком диэлектрике релаксатор на микроуровне не может быть описан моделью глубокой потенциальной ямы с двумя положениями равновесия (релаксатор Фрелиха [9]). Согласно [7,8], действительная и мнимая части комплексной ε диэлектрика в случае отсутствия взаимодействия между релаксаторами и линейной суперпозиции вкладов различных групп зависят от $f(\tau_\varepsilon)$, статической (ε^0) и высокочастотной (ε^∞) диэлектрических проницаемостей и частоты ω следующим образом

$$\varepsilon' = \varepsilon^\infty + (\varepsilon^0 - \varepsilon^\infty) \int_0^\infty \frac{f(\tau_\varepsilon)}{1 + \omega^2 \tau_\varepsilon^2} d\tau_\varepsilon, \quad \varepsilon'' = (\varepsilon^0 - \varepsilon^\infty) \int_0^\infty \frac{\omega \tau_\varepsilon f(\tau_\varepsilon)}{1 + \omega^2 \tau_\varepsilon^2} d\tau_\varepsilon, \quad \tau_\varepsilon = \frac{2\pi}{\omega}, \quad \int_0^\infty f(\tau_\varepsilon) d\tau_\varepsilon = 1.$$

Рассмотрим как меняется уравнение плоской волны в среде с потерями, где $\sigma(\infty) \neq 0$.

Введение комплексной диэлектрической проницаемости среды, позволяет получить выводы, относящиеся к распространению волн в проводящей среде из соответствующих формул для диэлектрика путем замены в них вещественной диэлектрической проницаемости среды $\varepsilon_0 \varepsilon$ на комплексное значение диэлектрической проницаемости $\hat{\varepsilon} = \varepsilon_0 \varepsilon' - j \frac{\sigma(\omega)}{\omega}$. При этом квадрат постоянной распространения (волнового числа) вместо k запишем k' :

$$k'^2 = \omega^2 \mu_0 \mu \hat{\varepsilon} = \omega^2 \mu_0 \mu \left(\varepsilon_0 \varepsilon' - j \frac{\sigma(\omega)}{\omega} \right) = \omega^2 \varepsilon_0 \varepsilon' \mu_0 \mu - j \sigma_{[\omega]} \omega \mu_0 \mu. \quad (7)$$

Постоянная распространения

$$k' = \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0 \varepsilon' \omega^2 - j \sigma_{(\omega)} \mu_0 \omega}.$$

Поскольку корень квадратный из комплексного числа напрямую не вычисляется, сделаем следующие преобразования.

Запишем

$$k' = k - js. \quad (8)$$

Здесь k - действительная часть постоянной распространения, s - мнимая часть. Уравнение (8) возводим в квадрат и приравниваем к значению (7)

$$k'^2 = k^2 - j2ks - s^2 = (k^2 - s^2) - j2ks = \omega^2 \varepsilon_o \varepsilon' \mu_o \mu - j\sigma_{(\omega)} \omega \mu_o \mu. \quad (9)$$

Приравнявая действительные и мнимые части (9), находим

$$\begin{cases} k^2 - s^2 = \omega^2 \varepsilon_o \varepsilon' \mu_o \mu = a \\ 2ks = \sigma_{(\omega)} \omega \mu_o \mu = b \end{cases}. \quad (10)$$

Решив (10) относительно k^2 и s^2 , получим

$$s = \sqrt{\frac{\omega^2 \varepsilon_o \varepsilon' \mu_o \mu}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma_{(\omega)}}{\varepsilon_o \varepsilon' \omega} \right)^2} - 1 \right)}.$$

Или глубину проникновения волны в вещество можно окончательно записать

$$X_m = \frac{1}{s} = \frac{1}{\pi f \sqrt{2 \varepsilon_o \varepsilon' \mu_o \mu \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta_\varepsilon} - 1 \right)}}.$$

Значения относительной диэлектрической проницаемости среды в статическом поле и удельной проводимости являются стандартными параметрами электрических свойств среды, значения которых приводятся в справочных данных.

Значение граничной относительной диэлектрической проницаемости среды в переменном поле с предельной частотой и время электрической релаксации следует определить в зависимости от конкретных условий воздействия электромагнитного излучения на данное вещество.

Так, при воздействии на вещество электромагнитным полем СВЧ диапазона, значения частот оптического диапазона можно приближенно принять за предельные частоты. Электромагнитные же свойства вещества в оптическом диапазоне частот характеризуются показателем преломления [6-8]

$$n = \sqrt{\varepsilon^\infty \mu^\infty}$$

где ε^∞ - граничное значение относительной диэлектрической проницаемости среды в переменном поле с предельной частотой; μ^∞ - граничное значение относительной магнитной проницаемости среды в переменном поле с предельной частотой.

Обозначим время релаксации

$$\tau_o = \frac{\pi}{\sigma_{(\omega)}} \varepsilon_o (\varepsilon^o - \varepsilon^\infty).$$

Выражения для ε' и ε'' имеют вид

$$\varepsilon' = \varepsilon^\infty + \frac{\varepsilon^o - \varepsilon^\infty}{1 + \omega^2 \tau_\varepsilon^2}, \quad \varepsilon'' = \frac{\varepsilon^o - \varepsilon^\infty}{1 + \omega^2 \tau_\varepsilon^2} \omega \tau_\varepsilon,$$

где ε^∞ - предельная высокочастотная диэлектрическая проницаемость; ε^o - предельная низкочастотная диэлектрическая проницаемость.

Время релаксации определяется из условия

$$\tau_\varepsilon = \frac{1}{\omega_\varepsilon^{\max}} = \frac{1}{2\pi \nu_\varepsilon^{\max}},$$

где $\omega_\varepsilon^{\max}$ - круговая частота, соответствующая максимуму поглощения.

Длина волны, соответствующая максимуму поглощения, задается формулой

$$\lambda_\varepsilon^{\max} = \frac{2\pi c}{\omega_\varepsilon^{\max}},$$

где c - скорость света.

Величина ε^∞ может быть вычислена [1-6] по измеренному значению показателя преломления, по формуле

$$\frac{\varepsilon^\infty - 1}{\varepsilon^\infty + 2} = A \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2},$$

где A - имеет значение 1,05-1,15 и учитывает вклад атомной поляризации.

Время релаксации определяем из соотношений

$$\frac{v}{u} = \frac{1 - \alpha^0}{1 - \alpha^\infty} \omega \tau_\varepsilon, \quad \frac{v}{u} = \omega \tau_\varepsilon^*,$$

где $\alpha^0 = (\varepsilon^0 - 1)/(\varepsilon^0 + 2)$; $\alpha^\infty = (\varepsilon^\infty - 1)/(\varepsilon^\infty + 2)$; v и u - расстояния от экспериментальной точки на полуокружности до точек $\varepsilon' = \varepsilon^0$ и $\varepsilon' = \varepsilon^\infty$ или $\alpha' = \alpha^0$ и $\alpha' = \alpha^\infty$ соответственно

$$v = \sqrt{(\varepsilon^0 - \varepsilon')^2 + (\varepsilon''')^2}, \quad u = \sqrt{(\varepsilon' - \varepsilon^\infty)^2 + (\varepsilon''')^2}.$$

Макроскопическое время релаксации τ_ε и молекулярное время релаксации τ_ε^* связаны эмпирическими соотношениями [2-4,6]

$$\tau_\varepsilon = \frac{\varepsilon^0 + 2}{\varepsilon^\infty + 2} \tau_\varepsilon^*.$$

Так как $\varepsilon^0 > \varepsilon^\infty$, то $\tau_\varepsilon > \tau_\varepsilon^*$

$$\tau_\varepsilon = \frac{\varepsilon^\infty + 1}{2\varepsilon^0 + 1} \tau_\varepsilon^*.$$

$$\tau_\varepsilon = \frac{3\varepsilon^0}{2\varepsilon^0 + \varepsilon^\infty} \tau_\varepsilon^* \quad (11)$$

$$\tau_\varepsilon = \frac{2(\varepsilon^0)^2 + (\varepsilon^\infty)^3}{3\varepsilon^0 \varepsilon^\infty (2\varepsilon^0 + \varepsilon^\infty)} \tau_\varepsilon^*.$$

Равенство (11) точнее описывает внутреннее поле, чем другие уравнения.

Выводы. Электромагнитные свойства минералов определяют характер взаимодействия их с электромагнитным излучением, что может быть выражено через изменение температуры в результате такого взаимодействия.

На изменении температуры кусков минерального сырья при взаимодействии с силовым электромагнитным излучением определенной частоты, основывается ряд способов термографической сортировки минерального сырья и позволяют осуществлять многофакторную сортировку в два и более потока.

Количество потоков сортировки определяется возможностью способа в одновременном определении значений нескольких многофакторных критериев и формировании соответствующих сортирующих воздействий на минеральные куски в потоке с помощью сортирующего устройства.

Рассматриваемые в статье проблемы обеспечивают создание способов многофакторного анализа минерального сырья, позволяющих за одну технологическую операцию различать несколько продуктов сортировки, что может в значительной степени упростить технологические схемы первичного обогащения минерального сырья.

Задача создания методов и средств автоматизации информационных процессов в технологиях железорудного производства, является задачей информационных технологий и направлена на автоматизацию информационного обеспечения технологий добычи и переработки полезных ископаемых.

Исследования и испытания предлагаемых способов и устройств кусковой сепарации, позволяют обеспечить при одинаковых условиях и нагрузках увеличение содержания полезного компонента от 6-10 % до 18-25 %, прирост массовой доли полезного компонента на 4,5 % при уменьшении содержания полезного компонента в «хвостах» до 3 %, снизить общие затраты электроэнергии на 5% за счет снижения разубоживания сырья в процессе его обогащения.

Список литературы

1. Григорчук М.І., Томчук П.М. Поглинання випромінювання малими металевими частинками еліпсоїдальної форми / М.І. Григорчук, П.М. Томчук // Журнал фізичних досліджень. – 2005. – №2. – Т. 9. – С. 135–144

2. Киржниц Д. А. Всегда ли справедливы соотношения Крамерса — Кронига для диэлектрической проницаемости вещества?: Методические заметки / Д.А. Киржниц // Успехи физических наук. — 1976. — №6. — Т. 119. — Вып. 2, — С. 357–369
3. Диффузия импульсного поля и электромагнитные силы в ферромагнетиках / Ю.Э. Адамьян, Е.А. Вырва, С.И. Кривошеев, В.В. Титков // Журнал технической физики. — 2013. — Т. 83. — Вып. 10. — С. 1–7
4. Лесские А.Г., Пастернак В.Е., Юшканов А.А. Поглощение инфракрасного излучения в мелкой металлической частице / А.Г. Лесские, В.Е. Пастернак, А.А. Юшканов // ЖЭТФ. — 1982. — Т.83. — Вып. 1(7). — С. 310–317
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика : в 10 т. Т. VIII. : Электродинамика сплошных сред : Учеб. пособие. — 4-е изд., испр. и доп. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц // — М.; Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. — 656 с.
6. Гусев Ю.А. Основы диэлектрической спектроскопии : Учебное пособие / Ю.А. Гусев. — Казань : КГУ, 2008 — 112 с.
7. Фрѐлих Г. Теория диэлектриков : Диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери / Г. Фрѐлих ; [Перевод со второго английского издания проф. Г. И. Сканава]. — М. : Издательство иностранной литературы, 1960. — 252 с.
8. Браун В. Диэлектрики / В. Браун ; [перевод с английского А.Н. Губкина : под редакцией В.А. Чуенкова].- М.: Издательство иностранной литературы, 1961. — 328 с.
9. Нигматуллин Р.Р., Рябов Я.Е. Диэлектрическая релаксация типа Коула-Девидсона и самоподобный процесс релаксации / Р.Р. Нигматуллин, Я.Е. Рябов // Физика твердого тела. — 1997. — Т. 39. — Вып. 1. — С. 101–105
10. Нилова Л.И. Расчет напряженности электрического и магнитного полей изотропного излучателя в однородной среде / Л.И. Нилова // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов : 01.04.00 Физика. — 2010. — №1
11. Поплавко Ю. М. Физика активных диэлектриков: учебное пособие / Ю. М. Поплавко, Л. П. Переверзева, И.П. Раевский ; [Под ред. проф. В.П. Сахненко]. — Ростов н/Д : ЮФУ, 2009. — 480 с. — ISBN 978-5-9275-0636-1.

Рукопис подано до редакції 26.03.15

УДК 622.83

А.Ю. ПАЛАМАР, асистентка, Т.Д. СИЗОВА, студентка
Криворізький національний університет

АНАЛІЗ МЕТОДІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ГЕОМЕХАНІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В КРУПНИХ ГІРНИЧОВИДОБУВНИХ РЕГІОНАХ

Наведено основні методи спостережень за геомеханічними процесами в крупних гірничодобувних регіонах. Виконано аналіз існуючих методів спостереження: натурні маркшейдерські інструментальні спостереження, лабораторні дослідження, теоретичні дослідження та нівелювання III класу. Визначено основні переваги та недоліки вище вказаних методів, в результаті чого було обрано найбільш ефективний метод та метод, що потребує найбільших витрат. Було виконано нівелювання III класу на пунктах хвостосховища ПАТ «ПівнГЗК» та отримано значення створів, за результатами яких були побудовані графіки. Проведено аналіз результатів спостережень і виявлено, що контроль за геомеханічними процесами ведеться безперервно. Розглянуто волоконно-оптичний метод спостережень за геомеханічними процесами, за допомогою якого можна отримати високу точність 1-2 мкм, при цьому відносно невеликі витрати на обладнання та можливість спостережень на будь-якій глибині. Висока чутливість волоконно-оптичної системи до зсувів гірських порід дозволяє підвищити надійність і точність вимірювання вертикальних і горизонтальних зміщень гірських порід у зсуві, зміщення вимірюють одноподібно на одному переносному приладі і безконтактно. В результаті аналізу було визначено, що найбільш ефективним та вигідним є волоконно-оптичний метод спостережень за геомеханічними процесами.

Постановка проблеми. Все більш зростаючі масштаби гірничого виробництва, величезні перспективи його розвитку, пов'язані зі збільшенням глибини робіт і залученням в експлуатацію все більш складних родовищ виносять на перше місце вивчення окремих, найбільш важливих фізичних процесів, що безпосередньо впливають на ефективність і безпеку будівництва та експлуатації того чи іншого родовища. У результаті виймки вугільних пластів відбувається зрушення і деформування масиву гірських порід і земної поверхні, що викликає деформації об'єктів у зоні впливу підземної розробки і в окремих випадках може призводити до їх руйнування [1].

В Україні існують декілька великих гірничодобувних регіонів з майже схожими проблемами маркшейдерсько-геодезичного забезпечення. Одним з найбільших є Криворізький залізорудний басейн, в якому протягом більше 120 років проводяться розробки як підземним,

так і відкритим способами. Внаслідок цього виникли значні за обсягом підземні порожнини. Сотні квадратних кілометрів земної поверхні виявилися в зонах масового обвалювання, хвостосховищ та відвалів. Це призводить до постійної зміни напружено деформованого стану гірських масивів, що викликає зміни в природному процесі сучасних зсувів земної поверхні. Останнім часом згадані явища істотно активізувалися за рахунок екзогенних процесів. Внаслідок цього спостерігаються постійні зсуви земної поверхні, бортів кар'єрів. Крім цього, станції спостережень, які служать основою для спостережень за розвитком вказаних явищ, потрапили в зону впливу гірничих робіт і змінили своє положення, а деякі взагалі знищені.

Тому виникає необхідність у вирішенні найважливішої для теорії і практики проблеми, яка полягає в розробці нових методів і засобів маркшейдерсько-геодезичного обслуговування гірничих робіт і контролю за станом земної поверхні та штучних споруд з метою виключення загрози при експлуатації та видобутку корисних копалин в гірничодобувному регіоні [2].

Зв'язок із важливими науковими і практичними завданням. Геомеханічні процеси і зв'язані з цим явищем провальні процеси розвинені в зонах обрушення шахтних полів, де добування залізної руди проводилась без закладки відпрацьованого матеріалу. Провальні явища спостерігаються на земній поверхні у вигляді відкритих воронок. Яскравим прикладом є покинуті розробки старих шахт, які представляють небезпеку.

Покинуті розробки старих шахт становлять певну небезпеку для земної поверхні, що неодноразово відмічено в роботах як вітчизняних, так і зарубіжних фахівців. Відомо, що така небезпека полягає в раптовій і практично непередбачуваній на сьогоднішній день активізації процесу зрушення підробленої на малих глибинах товщі, що зависла над порожнечами.

Як наслідок, земна поверхня отримує різноманітні пошкодження (локальні осідання, провали, тріщини і тому подібне) одиничного або комплексного прояву, величини деформацій в яких у декілька разів перевищують гранично допустимі показники концентрації для споруд, а такі з них, як провали, діють просто руйнівню.

Очевидно, що експлуатація діючих поверхневих об'єктів і проектування нових в таких небезпечних зонах зв'язані з певними складнощами.

Встановлено, що для кожного типу старих гірських виробіток характерні певні види і форми пошкоджень на земній поверхні, обумовлені, перш за все, розмірами того або іншого вироблення, умовами залягання і підтримки, призначенням і часом проведення.

Викладення матеріалу дослідження. До геомеханічних процесів при відкритій розробці родовищ корисних копалин відносяться:

процеси формування та перерозподілу напружень в прибортовому масиві;

процеси деформування відкосів, які не впливають на стійкість бортів кар'єрів (просадки, опливини, фільтраційні деформації);

процеси деформування, що викликають руйнування бортів кар'єрів.

Зрушення гірських порід і земної поверхні вивчається практично на усіх родовищах корисних копалин [3-7].

При цьому використовуються різні методи вивчення цього складного техногенного явища, основні з яких представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика методів спостереження за геомеханічними процесами в крупних гірничодобувних регіонах

Методи спостереження за геомеханічними процесами в гірських породах	Переваги методів	Недоліки методів
Натурні маркшейдерські інструментальні спостереження	Дозволяють отримати детальну достовірну характеристику процесу зрушення та його окремих параметрів у конкретних гірничо-геологічних умовах.	Складність вивчення окремих питань, пов'язаних із інтерпретацією результатів спостережень, ув'язкою їх із геомеханічними процесами у гірничому масиві; обмеженість використання результатів досліджень конкретними умовами їх отримання; трудомісткість, громіздкість і значна тривалість спостережень (до декількох років і більше на одній спостережній станції).

Лабораторні дослідження	Значно менша тривалість і трудомісткість у порівнянні із проведенням натурних інструментальних маркшейдерських спостережень; наочність отриманих результатів (якісні показники), можливість широкого, практично безмежного, варіювання гірничо-геологічними параметрами та умовами.	Складність у підборі матеріалів моделі і, як наслідок, відсутність подібності моделі й натур; недостатня точність отриманих результатів (кількісних показників).
Теоретичні дослідження	невелика трудомісткість; незначна вартість робіт.	мають на меті розробку лише теорії зрушення гірських порід, яка була б заснована на фізико-механічних властивостях реального масиву з урахуванням усіх гірничо-геологічних факторів.
Нівелювання III класу	-	значна вартість робіт; велика трудомісткість; вплив рефракції та кривизни Землі; можливість виникнення суттєвих похибок через велику тривалість робіт.

Роблячи висновок методів спостереження можна сказати, що найбільш ефективним є метод натурних інструментальних досліджень, так як його використання дозволяє отримати детальну і достовірну характеристику процесу зрушення, а найбільш затратним є нівелювання III класу.

На основі даних організації «Укррудпром» спостережень за зміщеннями пунктів хвостосховища ПАТ «ПівнГЗК» вже тривалий час виконують спостереження за деформаційними процесами, за польовими результатами були опрацьовані дані з 2005 по 2011 рр. та отримані значення створів за результатами яких були побудовані графіки, які представлені на рис. 1.

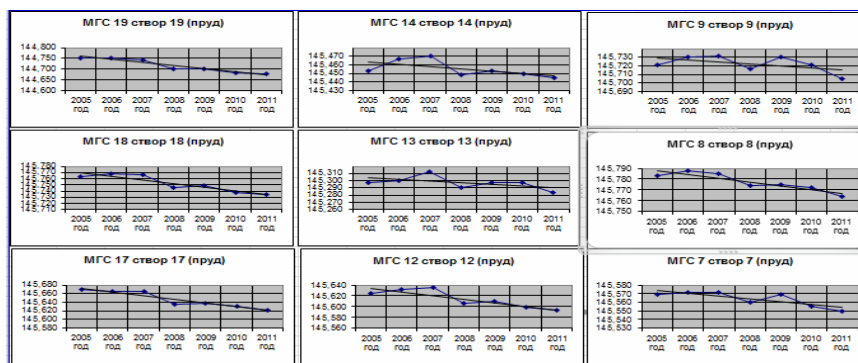


Рис. 1. Графіки спостережень на станціях за зміщеннями земні поверхні

Графіки свідчать про те, що контроль за зміщеннями гірських порід постійно в Криворізькому регіоні ведеться відповідними службами, тобто це питання є актуальним у наш час. Тому постійний моніторинг за зміщенням гірських порід в крупних гірничодобувних регіонах є необхідним, так як зрушення постійно відбуваються і ситуація може бути критичною, і як наслідок привести до тяжких процесів [8-10].

Недоліками існуючих пристроїв для реєстрації зміщення гірських порід є складність конструкції, трудомісткість установки, ряд серйозних невизначеностей у вимірах. Разом з тим, складна геотектонічна обстановка в ряді гірничодобувних регіонів, викликана істотним збільшенням глибини розробки, вимагає створення принципово нових пристроїв для спостереження зміщення гірських порід, що відрізняються підвищеною, порівняно з існуючими, точністю при спрощеній конструкції.

На підставі розробок проф. В.Д. Сидоренка визначено основні напрямки у створенні нових реєструючих пристроїв для вирішення маркшейдерсько-геодезичних задач на основі волоконно-оптичних систем [2]. Наведено дослідження волоконно-вимірювальних систем з метою розробки принципово нових пристроїв для комплексного вивчення геодинамічних та геомеханічних процесів, показали доцільність їх використання. Переваги та недоліки даного методу подано в табл. 2.

Характеристика переваг та недоліків волоконно-оптичного методу

Переваги	Недоліки
<p>Простота та оперативність спостережень; Відносно невеликі витрати на обладнання пристрою; Висока чутливість волоконно-оптичної системи до зсувів гірських порід; Підвищення надійності і точності вимірювання вертикальних і горизонтальних зміщень гірських порід у зсуві; Спрощена конструкція пристрою; Здійснення спостережень на будь-якій глибині; Можливість дистанційного знімання інформації з волоконно-оптичних опорних знаків; Зміщення вимірюють одноподібно на одному переносному приладі і безконтактно; Непервершена точність методу 1-2 мкм, при невеликих коливаннях до 5 мкм.</p>	<p>Корозія струни відвісу; Вимірювання ускладнюються за рахунок коливання поплавка в результаті поривів вітру та руху великовантажного транспорту, це також погіршувало пошук координат суміщення осей двох світловодів (радикальний спосіб зменшення впливу цих факторів: Підвищення в'язкості рідини в натягу вальному пристрої та пристрої вітрозахисту); Забезпечення повного збереження спостережної станції від антропогенного впливу.</p>

Висновки та напрямок подальших досліджень. Отже, великий вплив на зміщення земної поверхні призводять гірничі роботи, що викликають значні за площею зони зрушення. Масові вибухи, які періодично проводяться в кар'єрах і шахтах впливають на зміщення пунктів планово-висотного обґрунтування, величина якого визначається сумарною масою зарядів, що підриваються, фізичними властивостями руйнуючих порід і відстанню від місця підривання до точки спостереження. Встановлено емпіричні залежності для визначення зміщення пруткових і ґрунтових реперів щодо глибоких, закладених в корінні породи. Отримані результати дозволяють зробити висновок про нестабільність великого числа пунктів опорного планово-висотного обґрунтування на об'єктах Криворізьких ГЗК. Складні геодинамічні явища, що відбуваються в процесі розробки родовищ негативно впливають на якість маркшейдерського забезпечення гірничих робіт.

На основі волоконно-оптичних систем розроблені й облаштовані спостережні станції, проведені їх інструментальні випробування та впровадження з метою отримання інформації про геомеханічні процеси, що відбуваються в гірничодобувному регіоні, в тому числі і від впливу гірничих робіт. Експлуатація спостережних станцій довела теоретично обґрунтовану високу чутливість вимірювальних систем до деформації (зміщення) гірських порід. Отримані результати по деформації гірських порід під дією масових вибухів за допомогою волоконно-оптичних систем узгоджуються з вимірами, проведеними традиційними методами, але більш ніж на порядок перевершують їх по точності.

Список літератури

1. Сидоренко В.Д. Неотектонические движения физической поверхности в Криворожском бассейне. // Разработка рудных месторождений: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Кривой Рог: КТУ, 1999. – Вып. 67. – С. 50-53.
2. Сидоренко В.Д., Бойчук К.К. Закономерности сдвижения горных пород при разработке рудных залежей Кривбасса // Разработка рудных месторождений: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Кривой Рог, КТУ, 1998. – Вып. 66. – С. 132-137.
3. Долгих В.Н., Долгих Л.В., Сидоренко В.Д. Влияние геомеханических процессов на состояние пунктов планово-высотного обоснования // Разработка рудных месторождений: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Кривой Рог: КТУ, 1999. – Вып. 67. – С. 53-56.
4. Баклашов И.В., Борисов В.Н., Картозия Б.А., Шашенко А.Н. Геомеханика. Учебник для вузов. Том II. Геомеханические процессы. Издательство Московского государственного горного университета, Москва, 2004 г., С. 5-8.
5. Сидоренко В.Д., Здешиц В.М., Куликовская О.Е., Хльповка Е.Г. Оптимизация конфигураций марок для волоконно-оптических центров // Разраб. руд. месторожд. науч.-техн. сб. Вып. 71. – Кривой Рог: КТУ. 2000. С. 122-124.
6. Денисов А.И. Результаты исследований составляющих современных движений земной поверхности Криворожья // Современные движения земной коры. – М., 1984 – С. 138-140.
7. Сидоренко В.Д. Волоконно-оптичні системи для маркшейдерсько-геодезичних вимірювань / Відомості Академії гірничих наук України. – Кривий Ріг: Мінерал. - № 2. – 1997. – С. 100-101
8. Сидоренко В.Д., Куликовська О.Є. Про необхідність досліджень геодинамічних процесів у Кривбасі. – Вісник геодезії та картографії, 1998. - №1. – С. 8-12.
9. Чирва А.И., Сидоренко В.Д. Влияние массовых взрывов на устойчивость земной поверхности // Разработка рудных месторождений: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Кривой Рог: КТУ, 1999. – Вып. 67. – С. 46-50.
10. Сидоренко В.Д. Устройство для задания вертикального направления с использованием волоконно-оптической системы // Проблемы горнодобывающей промышленности металлургического комплекса Украины: Сб. науч. трудов. – Кривой Рог: НИГРИ, 1997. – С. 51-56.

Рукопис подано до редакції 26.03.15

УДК 622.1: 528.02

Н.В. НАЗАРЕНКО, канд. техн. наук, Криворожский национальный университет

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И РЕШЕНИЯ ДЛЯ МАРКШЕЙДЕРСКИХ СЛУЖБ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА БАЗЕ КОМПЛЕКСА МАРКШЕЙДЕРСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГИС K-MINE

В работе обоснована актуальность использования комплекса маркшейдерского обеспечения ГИС K-MINE. Освещаются вопросы использования современных аппаратно-программных средств, предназначенных для решения широкого круга задач маркшейдерских служб горных предприятий с открытым и подземным способами добычи, на примере использования данной системы. Описана ее функциональность, возможность применения методов лазерного сканирования, автоматизации камеральной обработки маркшейдерских съемок. Описаны регулярно выполняемые функции (обработка съемок, камеральная обработка полевых измерений, подсчет объемов, построение разрезов, профилей и пр.), а также функции, которые используются в зависимости от производственной ситуации. В статье также рассмотрены готовые технические решения применения комплекса маркшейдерского обеспечения ГИС K-MINE в современных условиях горного производства. Рассмотрены вопросы взаимодействия K-MINE с современными электронно-измерительными приборами и новыми технологиями маркшейдерской съемки. Показано, что эффективность работы комплекса маркшейдерского обеспечения подтверждена многолетним успешным опытом его использования на предприятиях Украины, в странах ближнего и дальнего зарубежья, а также в научно-исследовательских и специальных организациях, выполняющих геодезическую съемку территорий, объектов промышленного и гражданского строительства, высших учебных заведениях, а также органах государственного контроля и надзора.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. В связи с расширением сферы использования современных аппаратно-программных средств выполнения и обработки съемок, средств точного позиционирования, методов дистанционного зондирования и контроля, оптимизации штата инженерного персонала и увеличения площадей контролируемых промышленных территорий в расчете на одного человека, все более актуальными становятся вопросы автоматизации и компьютеризации для маркшейдерских служб горных предприятий.

Анализ исследований и публикаций. В современной литературе слабо освещены вопросы комплексного подхода к организации работ инженерно-технических служб горных предприятий, в том числе маркшейдерской службы, при использовании современных аппаратно-программных средств и информационных систем, в том числе геоинформационных систем.

Постановка задачи. Настоящая статья освещает вопросы использования современных аппаратно-программных средств, предназначенных для решения широкого круга задач маркшейдерских служб горных предприятий с открытым и подземным способами добычи, на примере использования комплекса маркшейдерского обеспечения геоинформационной системы (ГИС) K-MINE.

Изложение материала и результаты. В состав комплекса маркшейдерского обеспечения ГИС K-MINE включены регулярно выполняемые функции (обработка съемок, камеральная обработка полевых измерений, подсчет объемов, построение разрезов, профилей и пр.), а также функции, которые используются в зависимости от производственной ситуации. Например, расчет расстояний от забоев к местам разгрузки, подсчет остатков взорванных пород в карьере, расчет подготовленных и готовых к выемке запасов и т.д. Комплекс маркшейдерского обеспечения вот уже более пятнадцати лет используется на многих горных предприятиях Украины, России и стран ближнего и дальнего зарубежья. Система постоянно находится в процессе расширения функциональности и совершенствования существующих задач.

Гибкая настройка параметров комплекса маркшейдерского обеспечения K-MINE позволяет использовать его как для небольших предприятий, где работает 1–2 маркшейдера, так и для крупных предприятий, в которых штат маркшейдерской службы исчисляется десятками специалистов. Для этого предусмотрено использование сетевого режима работы. Основными особенностями сетевого режима является ведение единой базы опорного обоснования, съемок, методов обработки данных. Использование единого информационного массива исключает дублирование информации, делает прозрачным доступ к ней, упрощает процедуры поиска и администрирования данных, снижает риски от ошибок и повышает уровень исполнительской дисциплины (рис. 1).

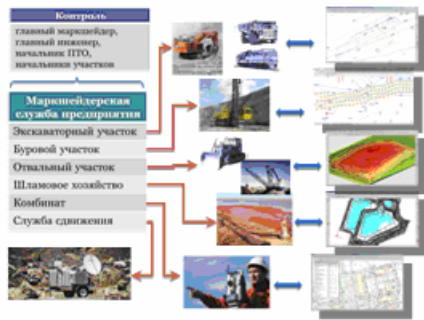


Рис.1. Сетевой режим работы маркшейдерской службы крупного горного предприятия

Один из перспективных направлений развития и совершенствования методов – это использование лазерных сканеров. Их особенностью является съемка облака данных, которое может содержать миллионы точек. Обработка таких массивов – процесс достаточно трудоемкий и требует значительного ресурсного потенциала техники и совершенства программного обеспечения. Современная версия ГИС K-MINE имеет возможность подгружать

и обрабатывать данные, полученные с лазерных сканеров.

Обработка данных лазерного сканирования показывает, что детализация представления поверхностей повышается в несколько раз. Использование метода лазерного сканирования позволяет повысить точность и оперативность подсчета. В первую очередь, это касается участков, доступ к которым ограничен (временно нерабочие борты, развалы, временные склады, шахтные выработки сложной конфигурации, восстающие). Применение сканеров также позволяет оперативно готовить данные для выполнения контрольных маркшейдерских пересчетов по итогам работы за определенный период времени, выявлять нарушения, связанные с устойчивостью горного массива, выполнять мониторинг состояния бортов и горных выработок и т.д.

В составе комплекса маркшейдерского обеспечения используется блок задач, связанный с камеральной обработкой данных маркшейдерских съемок. Выполнение подобных задач занимает наибольший процент времени в производстве маркшейдерских работ. Поэтому, с целью ускорения их выполнения, разработаны некоторые функции, позволяющие автоматически распознавать кодировки, идентифицировать и нумеровать объекты съемки (рис. 2).

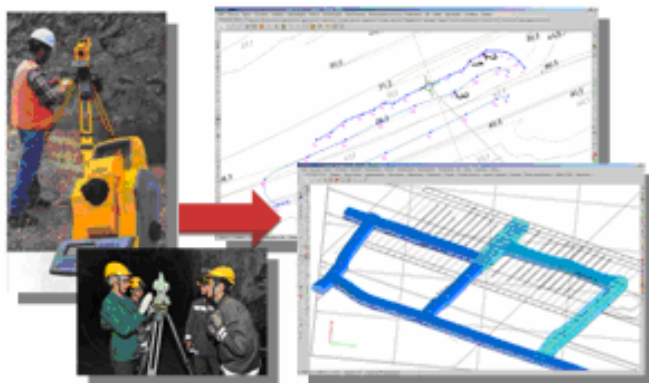


Рис. 2. Обработка данных инструментальных съемок

Их дополняют функции: быстрого построения домеров при невозможности прямой съемки объекта, быстрого оформления отчетных документов по выполнению полевых работ.

Совместимость K-MINE с современными измерительными приборами позволяет качественно изменить структуру и правила ведения единой маркшейдерской базы. Использование

авторизованного доступа позволяет специалистам инженерных служб горных предприятия вносить и корректировать данные в общей базе данных и выполнять обработку и построение съемок в виде объектов в графической среде системы. Например, специалисты геологических служб могут без привлечения к работе маркшейдеров выполнять съемку различных геологических объектов: контакты горных пород и минералогических разностей, границы выемки руды по развалу, координаты буровых скважин, точки и борозды опробования и пр.

Несмотря на значительный прогресс в развитии измерительной техники и технологии маркшейдерской съемки, многие небольшие предприятия до сих пор работают с оптико-механическими приборами. В составе комплекса остаются средства, позволяющие работать с этими приборами.

Комплекс маркшейдерского обеспечения поддерживает полный набор задач обработки данных полевых измерений в ручном и полуавтоматическом режимах. К ним относятся: определение координат точек с использованием засечек, обработка данных тахеометрических съемок, предварительный расчет планового положения точек методом обратной засечки с новой добавленной функцией контроля видимости пунктов опорного обоснования, электронный угломер с функциями формирования данных для выноса проектных решений в натуру и многие другие. При решении обратных задач реализованы функции экспорта данных в форматы измерительных приборов.

Для маркшейдеров, выполняющих обслуживание буровзрывных работ, разработаны специальные задачи: упорядочивания и нумерации скважин, нахождения и удаления дублирующихся

и повторно заснятых объектов, мультирежимное оконтуривание блоков, паспортизация блоков и многие другие.

Ведение и быстрое переключение шаблонов съемок буровых скважин позволяет определять и вести учет брака при выполнении буровых работ, а также готовить соответствующие справки и отчеты.

Интегрированные решения на базе модуля маркшейдерского обеспечения с системами диспетчерского управления горнотранспортным оборудованием и точного позиционирования буровых станков на базе GPS позволяют решать множество дополнительных задач (прямой обмен информацией о буровых скважинах с буровым оборудованием, определение местоположения экскаваторов и транспортных средств на территории карьера), что позволяет оптимизировать выполнение съемочных работ и улучшить контроль состояния участков ведения горных работ (рис. 3).

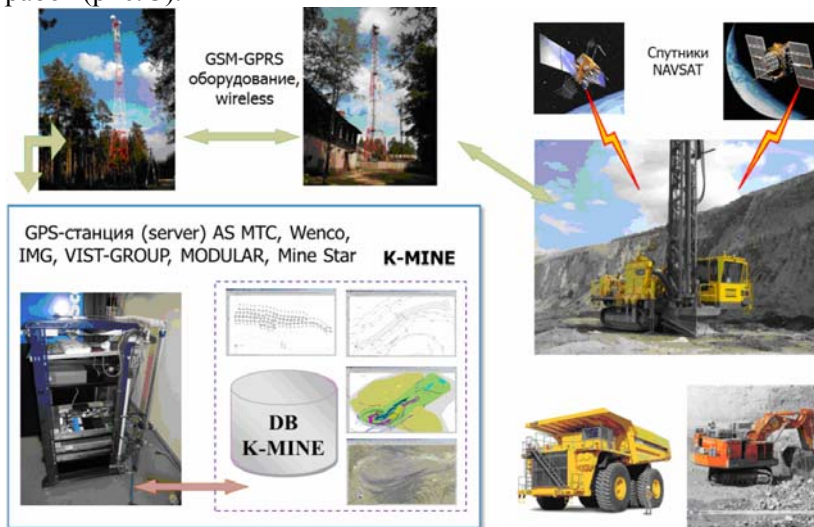


Рис. 3. Интеграция с системами точного позиционирования бурового оборудования и диспетчерскими системами

Блок геометрических построений, позволяет решать задачи геометрических построений произвольной сложности.

Усовершенствованы задачи построения профилей и маркшейдерских разрезов.

В качестве базовой функции модуля маркшейдерского обеспечения положена функция множественного построения совмещенных разрезов для нескольких положений горных работ по нескольким профильным линиям (рис. 4).

Данная функция широко используется при выполнении контрольных маркшейдерских пересчетов, контроля выполнения проектных решений по фактическому состоянию горных работ, для анализа объемов взорванной горной массы по карьеру и ряду других задач.

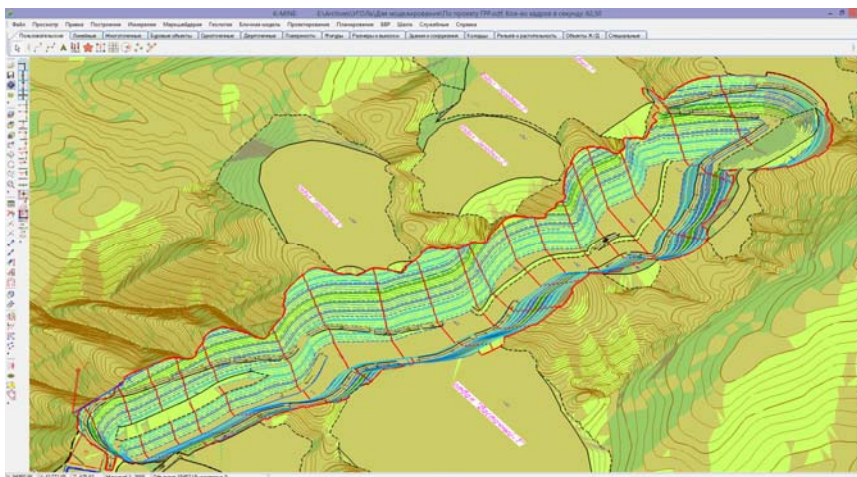


Рис. 4. Пример множественного построения разрезов по карьеру в 3D

Расширен набор сервисных функций модуля, позволяющих подготавливать и вести маркшейдерскую графическую документацию в соответствии с требованиями нормативных документов и ГОСТов.

К этим задачам относятся: автоматическое построение бергштрихов для откосов уступов, вынос размерных элементов (рис. 5), создание электронных планшетов и планов на базе шаблонов, разбивка области печати на листы заданного размера, подготовка и печать документов в заданном масштабе, вынесение текстовых отметок для объектов по любому свойству графических объектов для оформления чертежей и многие другие.

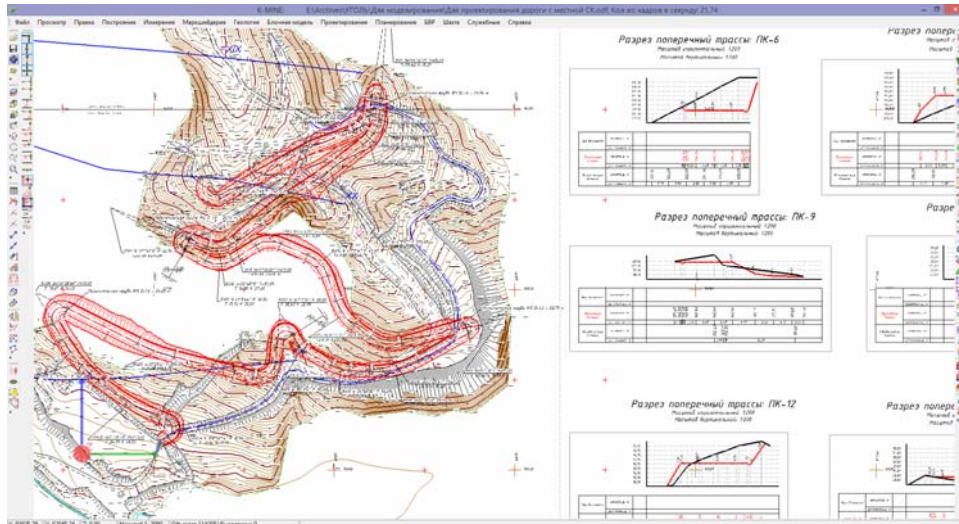


Рис. 5. Пример использования размерных элементов при подготовке чертежа к печати

Главной составляющей работ маркшейдерской службы, которая требует повышенной ответственности и точности, является подсчет объемов.

В составе системы применяются способы подсчета объемов, которые регламентированы положениями действующих нормативных документов в области маркшейдерского обеспечения горных работ (маркшейдерские инструкции и другие документы).

Функции подсчета максимально удобны и наглядны в использовании и позволяют выполнять расчеты объемов фигур любой сложности и геометрической формы, в том числе фигур с делением объемов на выемку и засыпку.

Регламент маркшейдерского сопровождения горных работ включает в состав контроль безопасного ведения горных работ. Свявано это с тем, что горные предприятия, в основе своей, относятся к группе объектов с повышенной опасностью.

Одной из основных задач маркшейдерских служб горных предприятий является контроль за правильностью ведения горных работ, а также наблюдения за деформациями бортов карьеров, отвалов, земной поверхности с целью выявления опасных явлений, связанных с их устойчивостью.

В составе комплекса маркшейдерского обеспечения используется модуль, задачи которого позволяют выполнять подготовительные и расчетные задачи, связанные с наблюдением за деформациями посредством обработки данных наблюдений и измерений, а также определением коэффициента запаса устойчивости для различных геологических и горно-технических условий (рис. 6).

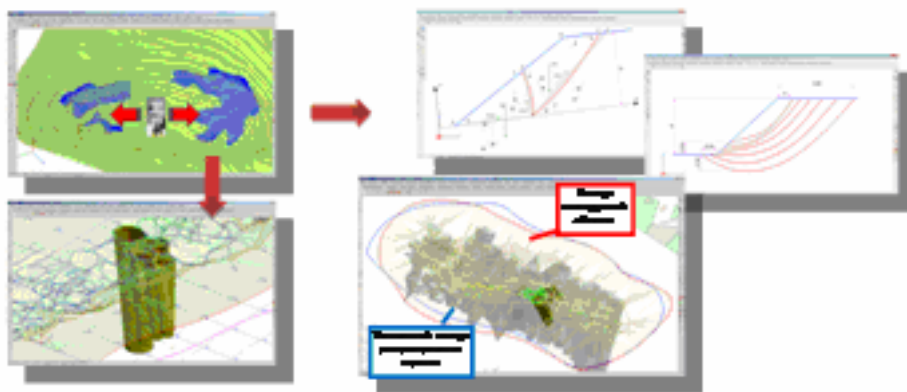


Рис. 6. Управление состоянием горных массивов

Одной из основных задач маркшейдерского сопровождения для горного предприятия является учет работы горнотранспортного, бурового и вспомогательного оборудования и подготовка акта маркшейдерского замера.

Задача «Акт маркшейдерского замера» представляет собой многофункциональный табличный редактор, с помощью которого выполняются расчеты добытых и погашенных запасов в выемочных единицах, учет и анализ движения горной массы в забоях на складах, перегрузках и отвалах.

Результаты задачи «Акт маркшейдерского замера» используются другими службами предприятия (бухгалтерия, плановое бюро, технические и производственные службы).

Кроме расчета добытых и погашенных запасов и их движения, задача содержит средства аналитики, позволяя выполнять сравнительный анализ плановых и фактических показателей работы рудника, анализ остатков горной массы на складах и отвалах в динамике и многие другие.

Выводы и направления дальнейших исследований. В статье рассмотрены технические решения применения комплекса маркшейдерского обеспечения ГИС K-MINE в современных условиях горного производства.

Рассмотрены вопросы взаимодействия K-MINE с современными электронно-измерительными приборами и новыми технологий маркшейдерской съемки.

Эффективность работы комплекса маркшейдерского обеспечения подтверждена многолетним успешным опытом его использования на предприятиях Украины, в странах ближнего и дальнего зарубежья, а также в научно-исследовательских и специальных организациях, выполняющих геодезическую съемку территорий, объектов промышленного и гражданского строительства, вузах, органах государственного контроля и надзора.

Список литературы

1. Інструкція з виконання маркшейдерських замірів і контролю гірничих робіт на підприємствах чорної металургії СРСР : НПАОН 74.2-5.03-85: Затверджено Держгіртехнаглядом СРСР: Узгоджено 01.11.85 / Держгіртехнагляд СРСР. – М., 1985.
2. Інструкція з виконання маркшейдерських робіт на вуглевидобувних підприємствах України : НПАОН 74.2-5.02-00 : затверджено наказом Мінпаливенерго України 12.12.2000 № 561 / Мінпаливенерго України. – К. – 2000.
3. **Ларченко В.Г.** Маркшейдерська справа / **В.Г. Ларченко** // ДонНТУ. – Алчевськ: ДонНТУ, 2005. – 141 с.
4. **Кологривко А.А.** Маркшейдерское дело. Подземные горные работы: учеб. Пособие / **А.А.Кологривко**. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. –412 с.
5. Инженерная геодезия: учебник для вузов / **Е.Б. Ключин, М.И. Киселев, Д.Ш. Михелев, В.Д. Фельдман** ; под ред. **Д.Ш. Михелева**. – 4-е изд., испр. – М.: Академия, 2004. – 480 с.
6. **Емельянов С.В.** Информационные технологии и вычислительные системы / **С.В. Емельянов**. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – 112 с.
7. **Капутин Ю.Е.** Горные компьютерные технологии и геостатистика / **Ю.Е. Капутин**. – СПб.: Недра, 2002. – 424 с.
8. **Назаренко В.М.** Автоматизированная система моделирования оценки запасов месторождений и управления горными работами на базе геоинформационной системы K-MINE / **В.М. Назаренко, М.В. Назаренко, С.А. Хоменко** // Титан. – 2009. – № 3(25).
9. RockWare [Electronic Resource]. – Mode of access : URL : <http://www.rockware.com/>. – Title from the screen.
10. **Хоменко С.А., Серкин В.Н.** Автоматизация работы маркшейдерских служб предприятий. Сборник докладов II Международного научно-практического семинара «SVIT GIS-2012» / **С.А. Хоменко, С.С. Барановский**–Кривой Рог: Дионис, 2012. – С. 107-113.
11. Геоінформаційні технології в надрокористуванні (на прикладі ГІС K-MINE) / **Г.І. Рудько, М.В. Назаренко, С.А. Хоменко, О.В. Нецький, І.А. Федорова**. – К.: «Академпрес», 2011. – 336 с.

АНОТАЦІЇ

УДК 622.272: 622.063.7

Калініченко В.О., Швагер Н.Ю., Чухарев С.М., Калініченко О.В., Грищенко Т.С., Грищенко М.А. Дослідження та удосконалення технології відпрацювання покладів із застосуванням самохідної доставочної техніки

Роботу присвячено вирішенню актуальної науково-практичної задачі дослідження та удосконалення технології відпрацювання покладів багатих залізних руд з використанням сучасної самохідної бурової та доставочної техніки.

Проаналізовано та узагальнено вітчизняний та зарубіжний досвід, наукові праці і проектні матеріали щодо використання самохідної техніки в підземних умовах.

Виконано детальний техніко-економічний аналіз факторів і умов, щодо ефективності відпрацювання багатих залізних руд підземним способом дозволив зробити висновки, що на сьогоднішній день шахти Кривбасу використовують застаріле гірничо-технічне обладнання. Застаріле обладнання не дозволяє в повній мірі використовувати при проектуванні прогресивні технології видобутку залізних руд.

Запропоновано удосконалені схеми конструкцій днища блоку з використанням самохідної гірничої техніки. При технологічному порівнянні запропонованих варіантів було встановлено, що найбільш ефективними з точки зору витрат на проходку виробок днища блоку є варіанти, які характеризуються мінімальною довжиною виробок.

Встановлено, що найбільш оптимальним варіантом по критерію собівартості є варіант з випускними воронками. Це пояснюється збільшенням запасом випущеної відбитої руди за рахунок більшої кількості випускних воронко та менших витрат руди у блоці у порівнянні з іншими варіантами.

Однак, з огляду стійкості та простоти формування горизонту випуску, перевагу має траншейне днище. Тому у кінцевому варіанті рекомендуємо до впровадження запропонований варіант з траншейним днищем.

На основі виконаних досліджень запропоновано нові високоефективні варіанти камерних систем розробки для покладів малої та середньої потужності.

Запропоновано варіанти систем розробки з обваленням руди та вмшуючих порід з використанням самохідної техніки для умов Криворізького басейну.

Доведено, що широке застосування самохідної техніки при відпрацюванні рудних покладів дозволить переоснастити діючі шахти Криворізького басейну новим обладнанням та удосконалити технологічні схеми відпрацювання родовищ багатих залізних руд з використанням самохідної гірничовидобувної техніки.

Калиниченко В.А., Швагер Н.Ю., Чухарев С.М., Калиниченко Е. В., Грищенко Т.С., Грищенко М.А. Исследование и усовершенствование технологии отработки залежей с применением самоходной доставочной техники

Работа посвящена решению актуальной научно-практической задачи исследования и совершенствования технологии отработки залежей богатых железных руд с использованием современной самоходной буровой и доставочной техники.

Выполнен анализ и обобщены отечественный и зарубежный опыт, научные работы и проектные материалы по использованию самоходной техники в подземных условиях. Выполнен детальный технико-экономический анализ факторов и условий по эффективности отработки богатых железных руд подземным способом, который позволил сделать выводы, что на сегодня шахты Кривбасса используют устаревшее горнотехническое оборудование. Устаревшее оборудование не позволяет в полной мере использовать при проектировании прогрессивные технологии добычи железных руд.

Предложены усовершенствованные схемы конструкций днищ блоков с использованием самоходной горной техники. При технологическом сравнении предложенных вариантов было установлено, что наиболее эффективными с точки зрения затрат на проходку выработок днища блока есть варианты, которые характеризуются минимальной длиной выработок.

Установлено, что наиболее оптимальным вариантом по критерию себестоимости является вариант с выпускными воронками. Это объясняется увеличенным запасом выпущенной отбитой руды за счет большего количества выпускных воронко и меньших потерь руды в блоке по сравнению с другими вариантами. Однако, с точки зрения устойчивости и простоты формирования горизонта выпуска преимущество имеет траншейное днище. Поэтому в конечном варианте мы рекомендуем к внедрению предложенный вариант с траншейным днищем.

На основе выполненных исследований предложены новые высокоэффективные варианты камерных систем разработки для залежей малой и средней мощности. Предложенные варианты систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород с использованием самоходной техники для условий Криворожского бассейна.

Доказано, что широкое применение самоходной техники при отработке рудных залежей позволит переоснастить действующие шахты Криворожского бассейна новым оборудованием и усовершенствовать технологические схемы отработки месторождений богатых железных руд с использованием самоходной горнодобывающей техники.

Kalinichenko V.A., Shvager N.Ju., Chukharev S.M., Kalinichenko E.V., Grychnko T.S., Grychenko M.A. Research and improvement of technology of working off deposits with the use of self-propelled delivery technique.

The article is devoted to solving actual scientific and practical objectives of the study and improvement of mining technology for rich iron ore deposits using modern self-propelled drilling and delivery technology. The paper analyzed and summarized native and foreign experience, research work and project materials on the use of self-propelled machinery in underground conditions. The detailed technical and economic analysis of factors and conditions on the effectiveness of rich iron ore mining by underground methods, which led to the conclusion that to date the mine Kryvbas using outdated mining and technical equipment. Obsolete equipment does not allow full use of advanced technology in the design of extraction of iron ores. The paper provides an improved circuit designs of bottoms blocks using self-propelled mining equipment. Comparing technology options, it was found that the most efficient in terms of costs of tunneling excavation of the bottom unit have options with a minimum length of workings. Besides, the best option for cost criterion is an option with the outlet funnels. This is due to increased stock issued broken ore due to a larger number of smaller exhaust funnels and ore losses in the unit, compared with

other options. However, from the point of view of stability and ease of formation of the release horizon prevail trench bottom. Therefore, in the final version, we recommend to the introduction of the proposed option to the bottom of the trench. On the basis of the research offered new options for high-performance camera systems for the development of deposits of small and medium power. Proposed the options for development systems with the collapse of the ore and host rocks with self-propelled machinery for the conditions of the Kryvyi Rih basin. It is proved that the widespread use of self-propelled machinery in mining ore deposits allow retrofitting of existing mines of Kryvyi Rih Basin with new equipment and improve the technological schemes of mining deposits of rich iron ore using a self-propelled mining equipment.

УДК 528.023

Куліковська О.С. Удосконалення методики виносу на місцевість пунктів геодинамічного полігону

Подано інформацію про сучасну ситуацію із методикою геодезичного забезпечення виносу на місцевість пунктів або розбивочних елементів. Рекомендовано для виносу в натуру (на місцевість) пунктів геодинамічного полігону застосовувати GPS-приймач Topcon Hiper, а в якості контролера користуватися ноутбуком із встановленим програмним забезпеченням TopSURV, який підключається в польових умовах до приймача. Проаналізовано існуючі способи перенесення проекту на місцевість, зазначено, що розглянута проблема є однією з найважливіших і відповідальних сторін діяльності інженера-геодезиста. Тому всі етапи геодезичних робіт, починаючи з їх підготовки і закінчуючи виконанням на будівельному майданчику, вимагають дуже серйозного до них ставлення. Обґрунтовано висновок про необхідність удосконалення наявних методик та технологій із геодезичної підготовки проекту стосовно виносу на місцевість точок. Детально описано технологічні й методичні особливості проведення робіт щодо винесення точок за відомими координатами, заданим напрямком, списками точок. Запропонована і перевірена в польових умовах методика розмічувальних геодезичних робіт із винесення пунктів геодинамічного полігону Криворізького гірничо-збагачувального комбінату окислених руд на місцевість в складних умовах будівельного майданчика із використанням GPS-приймача дозволяє вибрати найбільш раціональний і сучасний спосіб вирішення проблем і задач винесення пунктів проекту на місцевість та засвоїти нові практичні навички.

Ключові слова: геодезичне забезпечення, винос пунктів, GPS-приймач, системи координат, геодинамічний полігон.

Куліковська О. С. Усовершенствование методики выноса на местность пунктов геодинамического полигона

Изложена современная ситуация по методике геодезического обеспечения выноса на местность пунктов или разбивочных элементов. Рекомендовано для выноса в натуру (на местность) пунктов геодинамического полигона применять GPS-приемник Topcon Hiper, а в качестве контроллера пользоваться ноутбуком с установленным программным обеспечением TopSURV, который подключается в полевых условиях к приемнику. Проанализированы существующие способы перенесения проекта на местность, указано, что рассматриваемая проблема является одной из важнейших и ответственных сторон деятельности инженера-геодезиста. Поэтому все этапы геодезических работ, начиная от их подготовки и заканчивая выполнением на строительной площадке, требуют очень серьезного к ним отношения. Обоснован вывод о необходимости совершенствования имеющихся методик и технологий по геодезической подготовке проекта выноса на местность точек. Подробно описаны технологические и методические особенности проведения работ по выносу точек по известным координатам, заданному направлению, спискам точек. Предложенная и проверенная в полевых условиях методика геодезических работ по выносу пунктов геодинамического полигона на местность в сложных условиях строительной площадки хвостохранилища Криворожского горнообогатительного комбината окисленных руд с использованием GPS-приемника позволяет выбрать наиболее рациональный и современный способ решения проблем и задач вынесения пунктов проекта на местность, освоить новые практические навыки.

Ключевые слова: геодезическое обеспечение, вынос пунктов, GPS-приемник, системы координат, геодинамический полигон.

Kulikowska O. Ye. Improvement of the methods of staking out points of the geodynamic polygon

The article describes the current situation according to the methods of geodetic support of staking out points or separating elements. Recommended for Stakeout (area) of geodynamic polygon to use the GPS receiver Topcon Hiper, and the controller can use a laptop with installed software Top SURV, which is connected in the field to the receiver. Analyzed existing methods of transfer of the project area, indicates that the issue is one of the most important aspects of the surveyor. Therefore, all phases of surveying, starting with their training and ending with implementation at the construction site, require a very serious attitude toward them. Substantiated a conclusion about the need to improve existing methods and technologies with geodetic project preparation regarding staking out the terrain points. Described in detail the technological and methodological features of staking out the points by known coordinates, in a given direction, a list of points. Proposed and field-proven methods of geodetic works on the removal of the points of the geodynamic polygon the terrain in difficult conditions of the construction site Kryvyi Rih ore dressing tailing plant of oxidized ores with the use of GPS receiver allows to choose the most rational and modern way of solving problems and objectives of the sentencing points of the project area, to develop new practical skills.

Key words: geodetic supply, stake-out points, a GPS receiver, a coordinate system, geodynamic polygon.

УДК 622.012.2: 622.87

Афанасьєв В.Д., Гненна О.В. Оцінка ризиків від комплексної дії шкідливих факторів

Представлено дані про величини інтенсивності від дії шкідливих фізичних факторів та характеру праці для ряду професій працівників шахт Кривбасу. Розглянуто питання встановлення еквівалентності дії шкідливих факторів під час порівняння інтенсивності дії різних показників, які представляються в абсолютних величинах (разах) та у відносних величинах (дБ; дБА; дБВ). Оцінка ризиків від дії шкідливих факторів базується на аналізі даних про величини перевищення їх величин над гранично-допустимих значень для основних професій під час підземного добутку корисних копалин. Такий аналіз виконано на основі даних атестації робочих місць з умов та характеру праці Криворізьких шахт та шахти «Нова» м. Жовті Води. Для можливості оцінки інтенсивності різних факторів, величини яких

представлені в абсолютних величинах (рази) та у відносних величинах (дБ) виконано переведення (дБ) у рази з урахуванням їх відповідності згідно Гігієнічної класифікації умов праці та введення вагових коефіцієнтів на основі співвідношення числа захворювань від дії фіброгенного пилу, як базового шкідливого фактора та інших шкідливих факторів. Проведено вивчення даних щодо ймовірності виникнення захворювань від дії пилу та шуму з урахуванням інтенсивності їх дії та стажу роботи. Наведено перевищення для цих шкідливих факторів в діапазоні значень $R(I)$ від 0,2 до 0,8. Дана методика дає змогу встановлення безпечної стажу роботи (в роках) для працівників основних професій при підземному видобутку корисних копалин, а також розроблення пропозицій щодо продовження професійного та загального життєвого циклу для працівників із найбільш шкідливими умовами праці. Це дозволить підвищити рівень професійного здоров'я працівників і, як наслідок, знизити рівень професійної захворюваності на гірничих підприємствах.

Ключові слова: ймовірність професійних захворювань, інтенсивність шкідливих факторів, комплексна дія шкідливих факторів, базовий шкідливий фактор, пил фіброгенної дії, ризик професійного захворювання.

Афанасьев В. Д., Гненна Е.В. Оценка рисков от комплексного действия вредных факторов

Представлены данные, о величинах интенсивности от действия вредных физических факторов и характера труда для ряда профессий работников шахт Кривбассу. Рассмотрен вопрос установления эквивалентности действия вредных факторов во время сравнения интенсивности действия разных показателей, которые представляются в абсолютных величинах (разаах) и в относительных величинах (дБ; дБА; дБВ). Оценка рисков от действия вредных факторов базируется на анализе данных о величинах превышения их величин сверх предельно-допустимых значений для основных профессий во время подземного производства полезных ископаемых. Такой анализ выполнен на основе данных аттестации рабочих мест из условий и характера труда Криворожских шахт и шахты "Новая" г. Желтые Воды. Для возможности оценки интенсивности разных факторов, величины которых представлены в абсолютных величинах (разаа) и в относительных величинах (дБ) выполнен перевод (дБ) в разы с учетом их соответствия согласно Гигиенической классификации условий труда и введения взвешивающих коэффициентов на основе соотношения числа заболеваний от действия фиброгенной пыли, как базового вредного фактора и других вредных факторов. Проведено изучение данных относительно вероятности возникновения заболеваний от действия пыли и шума с учетом интенсивности их действия и стажа работы. Приведено превышение для этих вредных факторов в диапазоне значений $R(I)$ от 0,2 до 0,8. Данная методика дает возможность установления безопасного стажа работы (в годах) для работников основных профессий при подземной добыче полезных ископаемых, а также разработывание предложений относительно продолжения профессионального и общего жизненного цикла для работников с наиболее вредными условиями труда. Это позволит повысить уровень профессионального здоровья работников и, как следствие, снизить уровень профессиональной заболеваемости на горных предприятиях.

Ключевые слова: вероятность профессиональных заболеваний, интенсивность вредных факторов, комплексное действие вредных факторов, базовый вредный фактор, пыль фиброгенной действия, риск профессионального заболевания.

Afanasjev V.D., Gnenna E.V. Estimation of risks from the complex action of harmful factors

Data are presented, about the magnitudes of intensity from the action of harmful physical factors and character of work for a number of professions of mine workers Kryvbas. The question of establishing equivalence of action of harmful factors during comparison of action intensity of different indexes which are presented in absolute values (times) and in relative values (dB; dBA; dBV). The estimation of risks from the action of harmful factors is based on the data analysis about the values of exceeding of their values over maximum-possible values for basic occupations during underground workings minerals. Such analysis is made on the basis of data of certification of workplaces by conditions and character of mine works in Kryvyi Rih and mine "New" in Zhovti Vody. To estimate the intensity of different factors, the values of which are presented in absolute values (times) and in relative values (dB) the translation (dB) at times with regard to their conformity to Hygienic classification of working conditions and the introduction of weighing coefficients based on the ratio of the number of diseases from the action of fibro genic dust, as the basic harmful factors and other harmful factors. The study data regarding the probability of disease from the effects of dust and noise with the intensities of their action and experience. Given the excess of these harmful factors in the range of values $R(I)$ from 0.2 to 0.8. These methods enable establishment of safe work experience (in years) for the workers of basic professions at the underground mining, as well as development of suggestions for the continuing professional and general life cycle for workers with the most harmful terms of work. It will allow to promote a professional health workers level and, as a result, reduce the level of professional morbidity in mining.

Keywords: probability of professional diseases, intensity of harmful factors, a comprehensive action of harmful factors, the basic harmful factor of fibrogenic dust action, risk of professional disease.

УДК 621.51: 622.44

Кіянвський М.В., Бондар О.В. Вплив зміщення головної осі інерції агрегату на ресурс опор кочення стаціонарних гірничих машин

Встановлено, що фактичні терміни експлуатації стаціонарних гірничих машин (СГМ) у 4-10 разів менше проектного. У дослідженнях розкрита закономірність скорочення ресурсу опор кочення стаціонарних гірничих машин при зміні головного вектора дисбалансу робочого органу від впливу експлуатаційних факторів. Проведено розрахунок величини додаткових навантажень від дії неконтрольованих експлуатаційних дефектів. Зроблено аналіз впливу робочих навантажень, статичної та динамічної невірноваженості робочого органу на ресурсні характеристики опор машини. Виконано аналіз впливу робочих навантажень та статичної невірноваженості робочого органу на ресурсні характеристики опор кочення СГМ при симетричному навантаженні ротора (варіант абсолютно жорстких опор). Встановлено недостатня ефективність існуючих методів діагностики СГМ роторного типу. Виявлено, що в розрахунках ігноруються просторові коливальні рухи ротора. Зафіксовано значне осьове навантаження на опори СГМ, яке впливає на стійкість осі обертання робочого органу машини та призводить до виникнення динамічного розцентрування. Цей факт є джерелом формування додаткових динамічних навантажень, що пояснює низькі ресурсні показни-

ки СГМ роторного типу. Відповідно до чинної методики підбір підшипників кочення ведеться без урахування динамічних дій дисбалансів. Невраховане в розрахунку додаткове навантаження скоротить термін служби підшипників в s разів, що адекватно збільшенню їх навантаження в $s^{0,3}$ раз. Ресурсні характеристики СГМ повинні уточнюватись на підставі діагностичного моніторингу навантажень впродовж експлуатації для оперативного запобігання скороченню ресурсу засобами ТОіР. Подальші дослідження повинні визначити вплив кососиметричних дисбалансів робочого органу на інтенсивність спрацювання опор, що характерно для моментного та динамічного невривноваження робочого органу, особливо для роторних СГМ консольного типу: насоси збагачувальних виробництв, односекційні шахтні насоси, димососи, ексгаустери, вентилятори та ін.

Ключові слова: ротор, опора, коливання, дисбаланс, навантаження, спрацювання, ресурс.

Княновский Н.В., Бондарь Е.В. Влияние смещения главной оси инерции агрегата на ресурс опор качения стационарных горных машин

Установлено, что фактические сроки эксплуатации стационарных горных машин (СГМ) в 4-10 раз меньше проектного. В исследованиях раскрыта закономерность сокращения ресурса опор качения стационарных горных машин при изменении главного вектора дисбаланса рабочего органа от влияния эксплуатационных факторов. Проведен расчет величины дополнительных нагрузок от действия неконтролируемых эксплуатационных дефектов. Сделан анализ влияния рабочих нагрузок, статической и динамической неуравновешенности рабочего органа на ресурсные характеристики опор машины. Выполнен анализ влияния рабочих нагрузок и статической неуравновешенности рабочего органа на ресурсные характеристики опор качения СГМ при симметричной нагрузке ротора (вариант абсолютно жестких опор). Установлена недостаточная эффективность существующих методов диагностики СГМ роторного типа. Выявлено, что в расчетах игнорируются пространственные колебательные движения ротора. Зафиксировано значительная осевая нагрузка на опоры СГМ, которая влияет на устойчивость оси вращения рабочего органа машины и приводит к возникновению динамического расцентрирования. Этот факт является источником формирования дополнительных динамических нагрузок, и объясняет низкие ресурсные показатели СГМ роторного типа. Согласно действующей методики подбор подшипников качения ведется без учета динамических воздействий дисбалансов. Неучтенные в расчете дополнительные нагрузки сократят срок службы подшипников в s раз, что адекватно увеличению их нагрузки в $s^{0,3}$ раз. Ресурсные характеристики СГМ должны уточняться на основании диагностического мониторинга нагрузок в течение эксплуатации для оперативного предотвращения сокращения ресурса средствами ТО-иР. Дальнейшие исследования должны определить влияние кососимметричных дисбалансов рабочего органа на интенсивность износа опор, что характерно для моментной и динамической неуравновешенностей рабочего органа, особенно для роторных СГМ консольного типа: насосы обогатительных производств, односекционные шахтные насосы, дымососы, эксгаустеры, вентиляторы и другие.

Ключевые слова: ротор, опора, колебания, дисбаланс, нагрузка, износ, ресурс.

Knyanovsky N.V., Bondar E.V. Offset influence of the main inertia axis unit on a resource supports rolling stationary mining machines

It is found out that the actual lifetime of stationary mining machines (SMM) is 4-10 times less than the designed one. The research revealed a pattern of reducing resource supports rolling stationary mining machines when changing the main vector of the working body of the imbalance from the influence of operational factors. It presents the calculation of the value of additional loads caused by uncontrolled operational defects. The analysis of influence of working loads, static and dynamic imbalance of the working body on resource characteristics of the machine's foot. The analysis of the impact of workloads and the static imbalance of the working body on resource characteristics of the supports rolling SMM with balanced load rotor (option absolutely rigid supports). Established lack of effectiveness of existing methods of diagnostics of SMM rotary type. It is found out that calculations neglect the spatial vibrational motion of the rotor. Recorded a significant axial load on the bearings of the SMM, which affects the stability of the axis of rotation of the working body of the machine and leads to a dynamic misalignment. According to the current methods of selection of rolling bearings is conducted without taking into account the dynamic effects of imbalances. Neglected additional loads make the service life of bearings s times as short and their load $s^{0.3}$ times as large. SMM service life characteristics must be specified on the basis of the diagnostic monitoring of loads during operation to promptly prevent its reduction by means of maintenance and repair. Further studies should determine the influence of skew-symmetric unbalances of the rotor on the wear rate of bearings that is characteristic of moment and dynamic unbalances of the rotor, especially for SMM rotary console type; concentrating plant pumps, single-section mine pumps, exhausters, fans etc.

Keywords: rotor, bearing, vibrations, imbalance, load, service life, resource.

УДК 622.272

Гапоненко И.А. Зависимость грансостава взорванной горной массы от конструкции скважинного заряда ВВ

Производство взрывных работ на современном этапе в железорудных карьерах характеризуется сложными горно-геологическими условиями ведения буровзрывных работ.

Реальным путем достижения повышения качества взрывоподготовки горных пород в сложившихся условиях разработки полезного ископаемого на железорудных карьерах Украины, является разработка системы технологических методов взрывного разрушения, основанной на максимальной концентрации энергии взрыва и ее рациональном перераспределении в разрушаемом горном массиве. Возникает необходимость в разработке новых технологий взрывных работ, позволяющих получать высокое качество дробления взрывающей горной породы.

Характер процесса взрывного разрушения массива горных пород во многом определяется конструктивными особенностями скважинного заряда ВВ. Используя последние, возможно значительно уменьшить пиковое давление продуктов детонации на границе раздела заряд-порода, увеличить общее время воздействия взрывных нагрузок на разрушаемый массив и тем самым повысить КПД взрыва.

Исследована зависимость грансостава взорванной горной массы от конструкции скважинного заряда ВВ.

Гапоненко І.А. Залежність гранвмісту підірваної гірської маси від конструкції свердловинного заряду ВР
Виробництво вибухових робіт на сучасному етапі в залізрудних кар'єрах характеризується складними гірничо-геологічними умовами ведення буро-підривних робіт.

Реальним шляхом досягнення підвищення якості вибухпідготовки гірських порід в умовах розробки корисної копалини, що склалися, на залізрудних кар'єрах України, є розробка системи технологічних методів вибухового руйнування, заснована на максимальній концентрації енергії вибуху і її раціональному перерозподілі в руйнованому гірському масиві. Виникає необхідність в розробки нових технологій вибухових робіт, що дозволяють отримувати високу якість дроблення висаджуваної в повітря гірської породи.

Характер процесу вибухового руйнування масиву гірських порід багато в чому визначається конструктивними особливостями свердловинного заряду ВВ. Використовуючи останні, можливо значно зменшити піковий тиск продуктів детонації на межі розділу заряд-порода, збільшити загальний час дії вибухових навантажень на руйнований масив і тим самим підвищити ККД вибуху.

Досліджено залежність гранвмісту підірваної гірської маси від конструкції свердловинного заряду ВВ.

Гапоненко І.А. Dependence of granule composition of blasted mountain mass on the construction of downhole charge of explosive materials

Production blasting currently in the iron ore quarries are characterized by difficult mining and geological conditions of drilling and blasting. Practical way of upgrading the quality of preparation for blasting operations in rocks under the conditions of the development of minerals for iron ore quarries of Ukraine is the system of technological methods of explosive destruction based on maximum concentrations of explosion energy and its efficient redistribution in destructible rock mass. There is a necessity for development of new technologies of explosive works, allowing to obtain high quality of crushing the blasted mountain breed. The nature of process of rock explosive destruction is largely determined by the structural features of the explosive downhole charge. Using the latter, it is possible to considerably reduce the peak pressure of the detonation products at the interface, charge-breed and to increase the total exposure time of explosive loads on destroying the array and thereby to increase the efficiency of the explosion. Investigated the dependence of granule composition of blasted mountain mass on the construction of the explosive downhole charge

УДК 622.272.3.01: 536.24

Лапшин О.Є., Лапшин О.О., Лапшина Д.О. Використання шахтних вод для нормалізації мікроклімату в гірничих виробках глибоких шахт

Стаття присвячена розробленню заходів з нормалізації мікроклімату в гірничих виробках глибоких шахт. Авторами встановлено фактичні величини температур, вологості і забезпеченості повітрям вибоїв шахт. Так, температура повітря в зоні гірничих робіт шахт Кривбасу близька до гранично допустимої 26°C, а у вибоях шахти «Експлуатаційна» ЗЗРК досягає 30-31°C. При відносній вологості 80-90 %, забезпеченість повітрям вибоїв становить 60-85%. Математична модель змінення температурних режимів відповідає переходу процесів від ізотермічного до адиабатичного, що супроводжується конденсацією водяних парів та зміною температури повітря в гірничих виробках шахтних вентиляційних систем. Запропоновано спосіб акумуляції шахтних вод у відпрацьованій гірничій виробці на верхньому горизонті. Після механічного очищення та охолодження шахтні води подають на робочий горизонт для знепилення і зниження температури повітря у виробках робочої зони. Для цього застосовують зрошувальні камери, які розташовують в зоні гірничих робіт. Використання шахтних вод для нормалізації мікроклімату дозволяє поліпшити умови праці в гірничих виробках та знизити рівень професійних захворювань серед працюючих в глибоких шахтах.

Лапшин А. Е., Лапшин А. А., Лапшина Д.А. Использование шахтных вод для нормализации микроклимата в горных выработках глубоких шахт

Статья посвящена разработке мероприятий по нормализации микроклимата в горных выработках глубоких шахт. Авторами установлены фактические величины температур, влажности и обеспеченности воздухом забоев шахт. Да, температура воздуха в зоне горных работ шахт Кривбасса близка к предельно допустимой 26°C, а в забоях шахты "Эксплуатационная" ЗЗРК достигает 30-31°C. При относительной влажности 80-90 %, обеспеченность воздухом забоев представляет 60-85%. Математическая модель изменения температурных режимов отвечает переходу процессов от изотермического к адиабатическому, что сопровождается конденсацией водяных паров и изменением температуры воздуха в горных выработках шахтных вентиляционных систем. Предложен способ аккумуляции шахтных вод в отработанной горной выработке на верхнем горизонте. После механической очистки и охлаждения шахтные воды подают на рабочий горизонт для знепиления и снижение температуры воздуха в выработках рабочей зоны. Для этого применяют оросительные камеры, которые располагают в зоне горных работ. Использование шахтных вод для нормализации микроклимата позволяет улучшить условия труда в горных выработках и снизить уровень профессиональных заболеваний среди работающих в глубоких шахтах.

Lapshyn O.E., Lapshyn O.O., Lapshyna D.O. Usage of mine water for microclimate normalization in mine workings of the deep mines

The article is devoted to development of measures for microclimate normalization in the deep mines. The authors have defined the actual values of temperature, humidity and air provision of mine stopes. The temperature in a zone of mining operations at Krvbas mines is close to the maximum allowable 26°C, and in the stopes of mine "Operational" of "Zaporozhe iron ore combine" it reaches 30-31°C. At a relative humidity level above 80-90% the air provision level is 60-85%. Mathematical model of changing temperature regimes corresponds to the process transition from isothermal to adiabatic, which is accompanied by condensation of water vapor and air temperature change in mine workings of mine ventilation systems. The method of mine water accumulation in the exhaust mine working at upper horizons is also proposed by authors. After mechanical treatment and cooling, mine water is served at working horizon for dust elimination and reducing of air temperature in mine workings of working zone. With this purpose, the irrigation chambers are placed at mining area. The usage of mine water for microclimate normalization allows to improve the working conditions and to reduce the occupational diseases level among miners in deep mines.

УДК 622.453

Ошмянский И.Б., Евстратенко Л.И. Определение режима движения воздуха в вентиляционных системах рудников с учетом режима фильтрации через зону обрушения

Выполнены расчеты, которые свидетельствуют о неточности при выборе показателя режима движения воздуха через обрушенные зоны, которые приводят к значительным ошибкам при расчетах значений основных аэродинамических параметров вентиляционных сетей рудников с активными обрушениями. Приведенная методика определения общего показателя режима движения в вентиляционных сетях рудников с обрушениями позволяет уточнить закон сопротивления в сети, более надежно определять характеристики сетей рудников, режимы работы ГВУ и показатели эффективности их эксплуатации.

При движении через пористую среду зоны обрушения, газ испытывает два вида сопротивления: от внутреннего трения между частицами газа и от внешнего трения частиц газа о стенки частиц материала слагающих пористую среду. Вследствие бесконечной малости первого вида сопротивления им можно пренебречь. При малых скоростях движения газа в пористой среде сила сопротивления выражает действие лишь вязкостных сил и пропорциональна первой степени скорости, т.е. имеет место линейный закон сопротивления. Если же скорость движения газа высокая, то в потоке газа возникают инерционные силы в результате действия которых, сила сопротивления пропорциональна квадрату скорости газа.

Ошмянський І.Б., Євстратенко Л.І. Визначення режиму руху повітря у вентиляційних системах копалень з урахуванням режиму фільтрації через зону обвалення

Виконано розрахунки, які свідчать про неточності при виборі показника режиму руху повітря через обвалені зони, які призводять до значних помилок при розрахунках значень основних аеродинамічних параметрів вентиляційних мереж рудників з активними обваленнями. Наведена методика визначення загального показника режиму руху в вентиляційних мережах рудників з обваленнями дозволяє уточнити закон опору в мережі, більш надійно визначати характеристики мереж рудників, режими роботи ГВР і показники ефективності їх експлуатації.

При русі через пористе середовище зони обвалення, газ відчуває два види опору: від внутрішнього тертя між частинками газу і від зовнішнього тертя частинок газу об стінки частинок матеріалу складають пористе середовище. Внаслідок нескінченної малості першого виду опору їм можна знехтувати. При малих швидкостях руху газу в пористому середовищі сила опору виражає дію лише в'язкісних сил і пропорційна першого ступеня швидкості, тобто має місце лінійний закон опору. Якщо ж швидкість руху газу висока, то в потоці газу виникають інерційні сили в результаті дії яких, сила опору пропорційна квадрату швидкості газу.

Oshmjansky I.B., Evstratenko L. I. Determination of the air circulation mode in the ventilation systems of mines considering the filtration mode through the zone of the collapse

Calculations, which indicate an inaccuracy in the index selection of air flow regime through the collapse zone lead to significant errors in the calculation of values of basic aerodynamic parameters of the ventilation networks mines with active collapse. The above method of determining the general index movement mode in ventilation networks mines allows to refine the law of resistance in the network, more reliably determine the characteristics of mines networking modes and indicators of the effectiveness of their operation. When moving through a porous medium in the area of the collapse, the gas experiences two kinds of resistance: internal friction between the gas particles and the external friction of the gas particles on the walls of the material particles composing the porous medium. In consequence of infinite smallness of the first type of resistance, it can be neglected. At low speeds of the gas flow in a porous medium the resistance force expresses the action of viscous forces only and is proportional to the first class velocity, i.e. there is a linear law of resistance. If the gas velocity is high, the inertial forces arise in the gas flow, as a result of which actions the resistance force is proportional to the gas velocity squared. In this case, the quadratic law of resistance is operated.

УДК 622.788: 669.162

Журавлев Ф.М., Лялюк В.П., Кассим Д.А., Ляхова И.А., Чупринов Е.В. Технология получения офлюсованного окускованного материала с остаточным углеродом для доменной плавки

Проведенные лабораторные испытания позволили отработать и выбрать оптимальные технологические параметры получения сырых окатышей с высокой и низкой температурами плавления, главной особенностью которых является наличие закатанного внутрь высокотемпературных окатышей твердого топлива. Анализ характеристик полученных железорудных материалов свидетельствует об их соответствии всем требованиям для дальнейшей термообработки. Разработаны режимы получения сырых окатышей с высокой температурой плавления и закатанным внутрь антрацитом и термообработки (нагрева, обжига и охлаждения) смеси окатышей с низкой и высокой температурами плавления, позволяющие получать офлюсованные локальные спеки с максимальным количеством остаточного углерода в готовом продукте. Показано, что увеличение скорости нагрева окатышей после сушки со 100 до 500 °С/мин., а скорости охлаждения спеков со 100 до 600 °С/мин. позволяет повысить содержание остаточного углерода в спеках с 0,4% до 2,1-2,5 %. Сравнение технологических характеристик полученных офлюсованных локальных спеков с остаточным углеродом, агломерата и окисленных обожженных окатышей показало, что разработанный окускованный железосодержащий материал не только соответствует требованиям для доменной плавки, но и обладает лучшими металлургическими характеристиками.

Ключевые слова: твердое топливо, окатыши, окускование, прочность.

Журавльов Ф.М., Лялюк В.П., Кассім Д.О., Ляхова І.А., Чупринов Є.В. Технологія одержання офлюсованого огрудкованого матеріалу із залишковим вуглецем для доменної плавки

Проведені лабораторні випробування дозволили відпрацювати і вибрати оптимальні технологічні параметри отримання сирих окатишів з високою і низькою температурами плавлення, головною особливістю яких є наявність закатаного всередину високотемпературних окатишів твердого палива. Аналіз характеристик отриманих залізорудних матеріалів свідчить про їх відповідність усім вимогам для подальшої термообробки. Розроблено режими отримання

сирих окатишів з високою температурою плавлення і загорнення всередину антрацитом і термообробки (нагріву, випалу та охолодження) суміші окатишів з низькою і високою температурами плавлення, що дозволяють отримувати офлюсовані локальні спеки з максимальною кількістю залишкового вуглецю в готовому продукті. Показано, що збільшення швидкості нагріву окатишів після сушіння з 100 до 500 °C/хв., а швидкості охолодження спеків з 100 до 600 °C/хв. дозволяє підвищити вміст залишкового вуглецю в спіска з 0,4 % до 2,1-2,5%. Порівняння технологічних характеристик отриманих офлюсованих локальних спеків із залишковим вуглецем, агломерату та окислених обпалених окатишів показало, що розроблений огрудкований залізковмісний матеріал не тільки відповідає вимогам для доменної плавки, але і володіє кращими металургійними характеристиками.

Ключові слова: тверде паливо, окатиші, огрудкування, міцність.

Zhuravlyov F.M., Lyalyuk V.P., Kassim D.A., Lyahova I.A., Chuprinov E.V. Technology of obtaining fluxed agglomerate material with residual carbon for the blast furnace

The laboratory tests allowed to work and to choose the optimal technological parameters of obtaining raw pellets with high and low melting point, the main feature of which is the presence of high-seamed into solid fuel pellets. Analysis of the characteristics of the resulting iron material evidence of their compliance with all the requirements for further thermal treatment. Developed a mode of obtaining raw pellets with a high melting point and rolled into anthracite and thermal treatment (heating, firing and cooling) of a mixture of pellets with low and high melting points, allowing to obtain local fluxed product of thermal reaction with the maximum amount of residual carbon in the finished product. It has been shown that increasing the heating rate of the pellets after drying at 100 to 500 °C/min., and the cooling rate sinters from 100 to 600 °C/min. can increase the content of residual carbon in a product of thermal reaction from 0.4 % to 2.1-2.5 %. Comparison of technological characteristics obtained fluxed local product of thermal reaction with residual carbon, sinter and pellets burnt oxidized showed that the developed agglomerated iron-containing material not only meets the requirements for the blast furnace, but also has better metallurgical characteristics.

Keywords: solid fuel, pellets, agglomeration, strength.

УДК 622.81: 622.271: 622.235

Голик В.И., Комащенко В.И., Моркун В.С Разработка типовых проектов буровзрывных работ на карьерах открытой добычи с помощью компьютерных информационных систем

Совершенствование технологии открытой добычи руд на карьерах неразрывно связано с повышением эффективности буровзрывных работ (БВР), которые являются одной из важнейших составляющих современной технологии подготовки горной массы. Важным резервом повышения эффективности БВР является создание и внедрение новейших современных технологий взрывного разрушения, добычи и переработки железных руд, позволяющих снизить техногенные нагрузки горнодобывающих предприятий на окружающую среду. Следовательно, совершенствование взрывных работ на карьерах на основе оптимизации параметров БВР, базирующиеся на концепциях баз данных, имитационного моделирования, экспертных и геоинформационных систем-ГИС, а также разработки новых схем взрывания и конструкций зарядов, является актуальной задачей.

При проведении экспериментов использовалась комплексная методика исследований, включающая системный и статистический анализы, проведение экспериментальных взрывов, производственно-технические обобщения.

Ключевые слова: дробление горной массы, взрывная отбойка, карьеры, скважинные заряды, конверсионные добавки, буровзрывные работы, охрана окружающей среды, геоэкология.

Голик В. И., Комащенко В. И., Моркун В. С Разработка типовых проектов буроподвальных работ на карьерах открытого видобутку за допомогою комп'ютерних інформаційних систем

Вдосконалення технології відкритого видобутку руд на кар'єрах нерозривно пов'язано з підвищенням ефективності буроподвальных робіт (БВР), які є однією з найважливіших складових сучасної технології підготовки гірської маси. Важливим резервом підвищення ефективності БВР є створення і впровадження новітніх сучасних технологій вибухового руйнування, здобичі і переробки залізняку, що дозволяє понизити техногенні навантаження гірничодобувних підприємств на довкілля. Отже, вдосконалення вибухових робіт на кар'єрах на основі оптимізації параметрів БВР, що базуються на концепціях баз даних, імітаційного моделювання, експертних і геоінформаційних СИСТЕМ-ГИС, а також розробки нових схем підривання і конструкцій зарядів, є актуальним завданням.

При проведенні експериментів використовувалася комплексна методика досліджень, що включає системний і статистичний аналізи, проведення експериментальних вибухів, виробничо-технічні узагальнення.

Ключові слова: дроблення гірської маси, вибуховий відбій, кар'єри, свердловинні заряди, конверсійні добавки, буроподвальні роботи, охорона довкілля, геоэкологія. **Golik V.I., Komachenko V.I., Morkun V.S.** Development of model projects of drillings and blasting in the quarries of open mining by means of the computer informative systems

Upgrading of technology of open-pit mining of ores in quarries is inseparably linked with increase of efficiency of drilling and blasting works, which are one of the most important components of modern preparation technology of mountain mass. Important reserve of increasing an efficiency of drilling and blasting is creation and introduction of the modern technologies of explosive destruction, production and processing of the iron ores allowing to lower technogenic loads of the mining enterprises on environment. Therefore, improvement of explosive works in the quarries on the basis of optimization of the drilling and blasting parameters, based on concepts of databases, imitating modeling, expert and geoinformation systems, and also development of new schemes of detonation and designs of charges, are the actual tasks. Carrying out the experiments is used the complex research methodology including systematic and statistical analyses, carrying out experimental explosions, the production and technological generalizations.

Keywords: rock mass crushing, open pit/quarries, borehole charges, conversion additives, drilling and blasting, environmental protection, geology.

УДК 65.011.56: 622.7.05

Тронь В.В. Система ресурсозберігаючого керування гірничо-збагачувальним комбінатом як організаційно-технічною системою

Важливість формування енергоефективного та ресурсозберігаючого керування на гірничих підприємствах обумовлює необхідність розв'язання завдання удосконалення методів організаційно-технічного керування з комплексним урахуванням технологічних та еколого-економічних показників. Гірничо-збагачувальний комбінат представлено як організаційно-технічну систему, до складу якої входить центр керування, який шляхом різних видів стимулювання здійснює загальне керування та координацію діяльності технологічних підрозділів – агентів, які безпосередньо керують технологічними процесами перероблення сировини. Сформовано критерії і визначено тривірневу структуру системи, що представляє взаємодію центру керування, рудозбагачувальної фабрики як агента та технологічних процесів.

Ключові слова: ресурсозберігаюче керування, організаційно-технічна система, автоматизація збагачення руди.

Тронь В.В. Система ресурсосберегающего управления горно-обогатительным комбинатом как организационно-технической системой

Важность формирования энергоэффективного и ресурсосберегающего управления на горных предприятиях обуславливает необходимость решения задачи совершенствования методов организационно-технического управления с комплексным учетом технологических и эколого-экономических показателей. Горно-обогатительный комбинат представлен как организационно-техническая система, в состав которой входит центр управления, который путем различных видов стимулирования осуществляет общее управление и координацию деятельности технологических подразделениями – агентами, которые непосредственно управляют технологическими процессами переработки сырья. Рассмотрена модель технологического процесса обогащения руды, представленной технологическими разновидностями, как объекта автоматизированного управления. Рациональное поведение рудообогатительной фабрики определено состоящим в минимизации собственных энергетических затрат и максимизации эффективности использования технологического оборудования. К множеству критериев центра управления горно-обогатительным комбинатом отнесены эколого-экономические и технологические критерии. Определена трехуровневая структура системы, которая представляет взаимодействие центра управления, рудообогатительной фабрики как агента и технологического процесса обогащения железорудного сырья.

Ключевые слова: ресурсосберегающее управление, организационно-техническая система, автоматизация обогащения руды.

Tron V.V. System resource-saving control of a mining enterprise as a technical-organizational system

The importance of formation an energy-efficient and resource-saving control in mining enterprises necessitates solving the problem of improving the methods of organizational and technical control with integrated technological, ecological and economic indicators. Mining plant is presented as an organizational-technical system (the control center) which by various types of stimulation provides general control and coordination of technological units by personnel that directly control the technological processes of raw materials processing. Considered the model of technological process of ore enrichment which presented with different technological varieties as an automated control object. Rational behavior of the ore-enriching factory is determined to minimize energy costs and maximize the efficiency of use of technological equipment. The multi-criteria of control center of mining and processing enterprise related to ecological, economic and technological criteria. Defined a three-tier structure of the system, which represents the interaction of the control center of ore-enriching factory as personnel, and the technological process of enrichment of iron ore raw materials.

Keywords: resource control, organizational and technical system, automation of ore-enrichment.

УДК 331.436

Швагер Н.Ю., Комісаренко Т.А., Теус М.О. Наноматеріали: новий виклик для охорони праці на виробництві

За останній час широкого розвитку набуло застосування нанотехнологій у виробництві широкого кола виробів та матеріалів, що підвищує їх якість, довговічність та інші споживні властивості, але розвиток виробництва продукції з використанням наноматеріалів створює нову загрозу для працівників задіяних у нових галузях виробництва. Таким чином, необхідність визначити імовірні ризики, що можуть бути викликаними впливом на працюючих наноматеріалів є актуальною та важливою науково-технічною задачею. Аналіз впливу наночастинок на працюючих дозволить запропонувати запобіжні заходи та профілактику ймовірних захворювань.

Небезпека для здоров'я людей від наночастинок в забрудненому повітрі полягає в тому, що існує можливість виникнення респіраторних і серцево-судинних захворювань. Тому при використанні наночастинок передбачати заходи, що зменшують експозицію наночастинок працівників виробництв, такі як випуск продукції, що містить наночастинок, в формах, які не виділяють пил (пасти, гранули замість аерозолів і порошків) і в герметизованих упаковках та використовувати зволоження сировини і продукції, особливо при наявності джерел пиловиділення, а також автоматизувати і механізувати технологію виробництва, транспортування та фасування сировини, напівфабрикатів та продукції, що містить наноматеріали, з метою виключення безпосереднього контакту працівників із шкідливими та небезпечними виробничими чинниками.

Швагер Н.Ю., Комиссаренко Т.А., Теус Н.А. Наноматериалы: новый вызов для охраны труда на производстве

За последнее время широкого развитие получило применение нанотехнологий в производстве широкого круга изделий и материалов, что повышает их качество, долговечность и другие потребительские свойства, но развитие производства продукции с использованием наноматериалов создает новую угрозу для работников задействованных в новых отраслях производства. Таким образом, необходимость определять вероятные риски, которые могут быть вызванными воздействием на работающих наноматериалов, является актуальной и важной научно-технической задачей. Анализ влияния наночастиц на работающих позволит предложить предупредительные мероприятия, направленные на профилактику вероятных заболеваний.

Опасность для здоровья человека от наночастиц в загрязненном воздухе заключается в том, что существует возможность возникновения респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний. Поэтому при использовании наночастиц необходимо предусматривать мероприятия, уменьшающие экспозицию наночастицами работников производств, такие как выпуск продукции, содержащей наночастицы, в формах, которые не выделяют пыль (пасты, гранулы вместо аэрозолей и порошков) и в герметизированных упаковках и использовать увлажнение сырья и продукции, особенно при наличии источников пылевыведения, а также автоматизировать и механизировать технологию производства, транспортировки и фасовки сырья, полуфабрикатов и продукции, содержащей наноматериалы, с целью исключения непосредственного контакта работников с вредными и опасными производственными факторами.

Schwager N., Komisarenko T. A., Teus M. A. Nanomaterials: a new challenge for a labor protection

In recent years' extensive development has received the application of nanotechnology in the production of a wide range products and materials, which increases their quality, durability and other consumer characteristics. However, the development of the production using nanomaterials causes a new threat to the workers involved in the new industries. Thus, the need to identify the likely risks, that may be caused by impact on the employees with nanomaterials, is a relevant and important scientific and technical problem. Analysis of the impact of nanoparticles on employees allows to offer preventive measures aimed at the prevention of possible diseases. The risk to human health from nanoparticles in polluted air is a possibility of respiratory and cardiovascular diseases. Therefore, when using nanoparticles is necessary to provide measures that reduce the exposure of nanoparticles production workers, such as the release of products containing nanoparticles in forms that do not emit dust (paste, granules instead of sprays and powders) and in sealed containers; use the moisture of raw materials and products, especially in the presence of sources of dust emission; automate and mechanize the production technology; transportation and packaging of raw materials, semi-finished products and products containing nanomaterials in order to exclude direct contact of workers with hazardous and harmful production factors.

УДК 622.723:004.275

Тиханський М.П., Цвиркун С.Л. Определение оптимального количества кластеров при использовании метода Густафсона-Кесселя для определения технологических разновидностей железной руды

Рассмотрена задача кластерного анализа в условиях неопределенности для формирования автоматического управления процессом сортировки крупнокускового железорудного сырья с оперативным распознаванием его минералоготехнологических разновидностей отдельных кусков в потоке на конвейерной ленте учитывая физико-механические свойства. Кластер-анализ получил широкое применение в различных отраслях, где имеются множества объектов произвольной природы, которые необходимо автоматически разбить на кластера. Все алгоритмы кластеризации можно подразделить на две группы: алгоритмы с заданным количеством кластеров и алгоритмы, которые сами устанавливают оптимальное количество кластеров. Наиболее предпочтительными алгоритмами кластер-анализа являются алгоритмы, которые сами устанавливают количество кластеров или алгоритмы самоорганизации, одним из которых является алгоритм Густафсона-Кесселя. Оценка качества кластеризации была проведена с использованием скалярных мер достоверности. Проведены экспериментальные исследования показателей качества кластеризации от количества кластеров для определения минералоготехнологических разновидностей железной руды. Было установлено по результатам проведенных исследований, что для формирования автоматического управления сортировкой кусковой руды с оперативным распознаванием минералоготехнологических разновидностей отдельных кусков в потоке, с помощью нечеткой кластеризации её характеристик, оптимальным количеством кластеров, является 7, при этом необходимо 29 итераций.

Ключевые слова: нечеткая кластеризация, кластер, метод Густафсона-Кесселя, рудоподготовка, сортировка руды.

Тиханський М.П., Цвиркун С.Л. Визначення оптимальної кількості кластерів при використанні методу Густафсона-Кесселя для визначення технологічних різновидів залізної руди

Розглянуто завдання кластерного аналізу в умовах невизначеності для формування автоматичного управління процесом сортування крупнокускової залізорудної сировини з оперативним розпізнаванням його минералоготехнологических різновидів окремих шматків в потоці на конвеєрній стрічці враховуючи физико-механические властивості. Кластер-аналіз отримав широке застосування в різних галузях, де є безліч об'єктів довільної природи, які необхідно автоматично розбити на кластера. Усі алгоритми кластеризації можна підрозділити на дві групи: алгоритми із заданою кількістю кластерів і алгоритми, які самі встановлюють оптимальну кількість кластерів. Найбільш прийнятними алгоритмами кластер-анализа є алгоритми, які самі встановлюють кількість кластерів або алгоритми самоорганізації, одним з яких є алгоритм Густафсона-Кесселя. Оцінка якості кластеризації була проведена з використанням скалярних заходів достовірності. Проведені експериментальні дослідження показників якості кластеризації від кількості кластерів для визначення минералоготехнологических різновидів залізняку. Було встановлено за результатами проведених досліджень, що для формування автоматичного управління сортуванням кускової руди з оперативним розпізнаванням минералоготехнологических різновидів окремих шматків в потоці, за допомогою нечіткої кластеризації її характеристик, оптимальною кількістю кластерів, являється 7, при цьому потрібно 29 ітерацій.

Ключові слова: нечітка кластеризація, кластер, метод Густафсона-Кесселя, рудопідготовка, сортування руди.

Tyhanskyj M.P., Tsvirkun S. L. Determining the optimal number of clusters using the method of Gustafson-Kessel to identify technological varieties of iron ore

Investigated the problem of cluster analysis in conditions of uncertainty for forming automatic control of sorting process of lumpy iron ore with the operational identification of its mineralogical and technological varieties of separate pieces in the stream on the conveyor belt considering the physical and mechanical properties. Cluster analysis has been widely used in various industries, where there are many objects of arbitrary nature that should be automatically broken on the clusters. All clustering algorithms can be divided into two groups: algorithms with a given number of clusters and algorithms that determine the optimal number of clusters. The most preferable algorithms of cluster analysis are algorithms which determine the number of clusters or self-organizing algorithms, one of which is the algorithm of Gustafson-Kessel. Assessment of the clus-

terization quality was carried out using the scalar measures of accuracy. Conducted the experimental research of relations of the clustering quality indicators and the number of clusters to determine the mineralogical and technological varieties of iron ore. By results of the conducted researches were established that the forming automatic control of the lump ore sorting with prompt recognition of mineralogical and technological varieties of separate pieces in the stream, using unclear clustering of its characteristics by optimal number of clusters is 7, this requires 29 iterations.

Keywords: unclear clustering, method of Gustafson-Kessel, ore preparation, ore sorting.

УДК 622.7

Білецький В.С., Шпильовий К.Л. Вилучення важких мінералів з рідкіснометалічної руди у відцентровому полі
Статтю присвячено проблемі збагачення тонковкраплених рідкіснометалічних руд у безнапірних відцентрових концентраторах. Показано, що збагачення таких руд, які містять крім легких та важких мінералів також мінерали проміжної густини, проходить з малою ефективністю. Для підвищення ступеню контрастності мінеральних зерен, що розділяються, нами запропоновано перед розділенням важких і легких мінералів у відцентровому полі проводити попереднє вилучення магнітною сепарацією мінералів проміжної густини - егірину, біотиту і т.ін. Але повна відсутність в збагачуваній руді зерен проміжної густини також є несприятливою.

Досліджено закономірності вилучення важких мінералів рідкіснометалічної руди одного із вітчизняних родовищ у відцентровому полі за різного вмісту мінералів проміжної густини. Показано, що для даного типу руд оптимальним є вміст мінералів проміжної густини на рівні 4,8-5,2 %.

Проведене вивчення магнітних властивостей мінералів дозволило визначити технічні параметри магнітного поля, за яких забезпечується необхідний вміст в руді мінералів проміжної густини.

Ключові слова: рідкіснометалічна руда, відцентрова концентрація, магнітна сепарація, вилучення

Белецкий В.С., Шпилевой К. Л. Извлечение тяжелых минералов из редкометаллической руды в центробежном поле

Статья посвящена проблеме обогащения тонковкрапленных руд в безнапорных центробежных концентраторах. Показано, что обогащение таких руд, которые содержат помимо легких и тяжелых минералов также минералы промежуточной плотности, проходит с низкой эффективностью. Для повышения степени контрастности разделяемых минеральных зерен нами предложено перед разделением легких и тяжелых минералов в центробежном поле проводить предварительное извлечение магнитной сепарацией минералов промежуточной плотности - эгирина, биотита и т.п. Но полное отсутствие в обогащаемой руде зерен промежуточной плотности также является неблагоприятным.

Исследованы закономерности извлечения тяжелых минералов редкометаллической руды одного из отечественных месторождений в центробежном поле при разном содержании минералов промежуточной плотности. Показано, что для данного типа руд оптимальным является содержание минералов промежуточной плотности на уровне 4,8-5,2 %.

Проведенное изучение магнитных свойств минералов позволило обосновать технические параметры магнитного поля, при которых обеспечивается необходимое содержание в обогащаемой руде минералов промежуточной плотности.

Ключевые слова: редкометаллическая руда, центробежная концентрация, магнитная сепарация, извлечение

Beletsky V.S. Shpilevoy K.L. Extraction of heavy minerals of rare metals ore in a centrifugal field

This article dedicated to the problem of separation subtle-inclusion rare metal ores at depressurized centrifugal concentrators. The extraction of heavy minerals of rare metals from the ore in a centrifugal field

Article is devoted to the problem of enrichment of the fine-impregnated ore in non-pressure centrifugal concentrators. It is shown that the enriching such ores, which contain light and heavy minerals as well as minerals of intermediate density, carries out with low efficiency. To enhance the contrast of the shared mineral grains was suggested by us before splitting the light and heavy minerals in a centrifugal field to conduct a pre-extraction of minerals by magnetic separation of intermediate density - aegirine, biotite, etc. But the complete absence of intermediate density grains in enriched ore is also unfavorable. Investigated the regularities of extraction of heavy mineral ore from rare metals in one of the local deposits in a centrifugal field at different content of minerals of intermediate density. It is shown that for this type of ores the optimal content of intermediate density minerals is varied at 4.8-5.2 percent. The study of the mineral magnetic properties allowed to substantiate technical parameters of magnet field, which provide the required content of intermediate density mineral in ore.

Key words: rare ore, centrifugal concentration, magnetic separation, extraction.

УДК 622.7.09.543.52

Гриценко А.Н. Исследование взаимосвязи показаний ручного и комбинированного каротажного зонда при каротаже буровзрывных скважин

Изложены результаты полевых испытаний разработанного ручного скважинного прибора для каротажа взрывных скважин при открытой добыче железных руд. Результаты каротажа сопоставлялись с данными каротажа по этим же скважинам каротажной станцией «Карьер-Кривбасс», зарекомендовавшей себя и эксплуатируемой на предприятиях Криворожского месторождения более 10 лет. Ручной каротажный зонд превосходит эксплуатируемую каротажную станцию мобильностью, высокой скоростью получения результатов измерений и снижением затрат физического труда бригады каротажников. Для исключения влияния некорректной градуировки устройств, на точность показаний, а также отсутствием градуировочной зависимости в разработанном скважинном приборе сопоставление проводилось по интенсивности, - величине, которая регистрируется датчиком. Полученные результаты были сопоставлены в табличном и графическом виде, что позволило получить градуировочную зависимость для ручного зонда по данным каротажной станции. В результате чего были сопоставлены показания содержания железа обеих устройств. После чего построен график сходимости этих величин, по которому можно сделать вывод, о том, что ручной скважинный прибор обеспечивает точность каротажа, заявленную техническими характеристиками каротажной станции «Карьер-Кривбасс», и может заменить комбинированный каротажный зонд.

Гриценко А.М. Дослідження взаємозв'язку свідчень ручного і комбінованого каротажного зонду при каротажі буропідливних свердловин

Викладено результати польових випробувань розробленого ручного свердловинного снаряда для каротажу вибухових свердловин при відкритому видобутку залізних руд. Результати каротажу зіставлялися з даними каротажу по цих же свердловинах каротажною станцією «Карьер-Кривбасс», що зарекомендувала себе і експлуатується на підприємствах Криворізького родовища більше 10 років. Ручний каротажний зонд перевершує експлуатовану каротажну станцію мобільністю, високою швидкістю отримання результатів вимірювань і зниженням витрат фізичної праці бригади каротажників. Для виключення впливу некоректності градування пристроїв, на точність показань, а також відсутності градуювочної залежності в розробленому свердловинному снаряді зіставлення проводилося за інтенсивністю, - величиною, яка реєструється датчиком. Отримані результати були зіставлені в табличному і графічному вигляді, що дозволило отримати градуювальну залежність для ручного зонда за даними каротажної станції. В результаті чого були зіставлені покази вмісту заліза обох пристроїв. Після чого побудований графік співпадіння цих величин, за яким можна зробити висновок, про те, що ручний свердловинний снаряд забезпечує точність каротажу, заявлену технічними характеристиками каротажної станції «Карьер-Кривбасс», і може замінити комбінований каротажний зонд.

Grytsenko A.N. Study of the interrelationship of manual and combined logging sonde while logging the blasting holes
Demonstrated the results of field tests of developed manual downhole logging apparatus for explosive wells in open-pit mining of iron ore. Results were compared with the logging data of the same well logging station "CAREER-Kryvbass", proven and exploited at the enterprises of Kryvyi Rih basin more than 10 years. Manual logging sonde is superior to the exploited logging station with its mobility, high speed of obtaining results of measurements and reduce of the cost of physical labour team. To eliminate the influence of incorrect calibration devices for accuracy of the reading, and the lack of calibration based on the developed downhole, the comparison was made by intensity, a value of which is detected by a sensor. The obtained results were compared in tabular and graphic form, which allowed to obtain the calibration dependence for the manual sonde according to the logging station. The results were compared to the readings of the iron content of both devices. Plotted a graph of the convergence of these quantities, by which can be concluded, that the manual downhole projectile provides accurate measurements of the technical characteristics of the logging stations.

УДК 669.712: 628.4.03

Губіна В.Г., Губін Г.Г., Ярош Т.П. Про речовинний склад червоних шламів

Світові родовища бокситів сильно відрізняються по хіміко-мінералогічному складу, що обумовлює застосування різних технологій їх переробки й одержання червоних шламів різного складу. На прикладі українських підприємств ВАТ «Миколаївський глиноземний завод» і ВАТ «Запорізький алюмінієвий комбінат» розглянуто речовинний склад червоних шламів глиноземного виробництва з метою вирішення питання їх подальшого використання.

У процесі тривалого зберігання шламів у шламосховищах змінюються їх властивості. Під час накопичення відходи піддаються впливу компонентів, які знаходяться в повітрі (кисень, діоксид вуглецю, агресивні техногенні речовини, що утворюються в технологічних процесах), природних і техногенних вод і мікроорганізмів. Приведені результати порівняльного аналізу фазово-мінералогічного складу свіжих відвальних шламів, шламів, що зберігалися в шламо-накопичувачі від декількох місяців до 30 років, а також спеціально відібраних шламів, що зберігалися в лабораторії в умовах, близьких до природних. Це дозволило виявити хіміко-мінералогічні особливості таких шламів.

Завдяки своєму речовинному складу червоні шлами треба розглядати не просто як відходи глиноземного виробництва, а як вторинну техногенну сировину, що потребує комплексної переробки до отримання з них товарних продуктів. Червоні шлами можна ефективно використовувати в чорній металургії, будівельній, скляній промисловості та сільському господарстві. Комплексний підхід до переробки вторинної сировини дозволить витягати і використовувати цінні для України кольорові метали і забезпечувати підвищення екологічної безпеки територіальних комплексів і відповідних технологій.

Губина В.Г., Губин Г.Г., Ярош Т.П. О вещественном составе красных шламов

Мировые месторождения бокситов сильно отличаются по химико-минералогическому составу, который обуславливает применение разных технологий для их переработки и получение красных шламов разного состава. На примере украинских предприятий ОАО «Николаевский глиноземный завод» и ОАО «Запорожский алюминиевый комбинат» рассмотрен вещественный состав красных шламов глиноземного производства с целью решения вопроса их последующего использования.

В процессе длительного хранения шламов в шламохранилищах изменяются их свойства. Во время накопления отходы подвергаются воздействию компонентов, которые находятся в воздухе (кислород, диоксид углерода, агрессивные техногенные вещества, которые образуются в технологических процессах), природных и техногенных вод и микроорганизмов. Приведены результаты сравнительного анализа фазово-минералогического состава свежих отвальных шламов, шламов, которые хранились в шламо-накопителе от нескольких месяцев до 30 лет, а также специально отобранных шламов, которые хранились в лаборатории в условиях, близких к природным. Это позволило выявить химико-минералогические особенности таких шламов.

Благодаря своему вещественному составу красные шлами необходимо рассматривать не просто как отходы глиноземного производства, а как вторичное техногенное сырье, которое требует комплексной переработки для получения из них товарных продуктов. Красные шлами можно эффективно использовать в черной металлургии, строительной, стеклянной промышленности и сельском хозяйстве. Комплексный подход к переработке вторичного сырья позволит извлекать и использовать ценные для Украины цветные металлы и обеспечивать повышение экологической безопасности территориальных комплексов и соответствующих технологий.

Gubina V.G., Gubin G.G., Jarosh T.P. About material structure of red mud

World bauxite mines differ greatly in chemical and mineralogical composition, which necessitates the application of different technologies for their processing and obtaining of red mud of different structure. On example of the Ukrainian enterprises

"Mykolaiv aluminous plant" and "Zaporizhzhia aluminum plant" was reviewed a material composition of red mud of aluminous production to address the issue of their further use. In the process of prolonged waste accumulation in slurry depository change their properties. During accumulation the wastes are affected by components in the air (oxygen, carbon dioxide, aggressive man-made substances that are formed in technological processes), natural and technogenic water and microorganisms. The results of the comparative analysis of the phase and mineralogical composition of a fresh dump slimes, slimes that were stored in the tailing ponds from a few months up to 30 years, as well as specially selected slimes, which were stored in the laboratory in conditions close to natural. This allowed to identify chemical and mineralogical features of these muds. Due to their material composition the red muds should not be seen just as the aluminous waste production, but as a secondary technogenic raw materials which require complex processing to produce of them commercial products. Red mud can be effectively used in ferrous metallurgy, construction, glass industry and agriculture. A comprehensive approach to recycling allows to extract and use the valuable for Ukraine non-ferrous metals, and to improve ecological safety of territorial systems and related technologies.

Keywords: rare metal ore, centrifugal separation, magnetic separation, recovery.

УДК 504(075.8)

Часова Е.В., Івчук В.В. Екологічні аспекти застосування сурфактантів різної природи походження та їх вплив на важкі метали

Розглянуто можливість використання біосурфактантів, як нових перспективних речовин природного походження, у технологіях біологічної ремедіації ґрунтів. Показані механізми вилучення важких металів з ґрунту за допомогою біосурфактантів. Біосурфактанти мають ряд переваг перед синтетичними аналогами – природне походження, низька токсичність, біодеградабельність, висока активність в екстремальних умовах зовнішнього середовища, а також можливість отримання на нетрадиційних та відносно дешевих джерелах сировини. Комплекси кадмій-рамноліпід стійкі при рН = 6.0-7.0, а невеликі розміри їх везикул полегшують рух в ґрунті. Слід зазначити, що зазвичай присутні в ґрунті катіони (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) практично не конкурують з важкими металами за комплексоутворення з рамноліпідами. Зв'язування важких металів з лігандами катіонних біосурфактантів базується на формуванні координаційних сполук. При цьому метали діють як кислота Льюїса (акцептор електронів), а органічні ліганди – як основа Льюїса (донор електронів). Експериментальні дані з очищення ґрунту, забрудненого кадмієм і свинцем, за допомогою обробки аесцином (біосурфактант, що синтезуються *Aesculus hippocastanum* L.) показали, що метали інтенсивно мігрують у водну фазу ґрунту залежно від значення рН середовища.

Додавання біосурфактантів в ґрунт, забруднений важкими металами і органічними поллютантами, сприяє одночасній десорбції органічних забруднювачів і важких металів. В експериментах рамноліпідний біосурфактант знижував токсичність важких металів і прискорював процес деградації нафтопродуктів. Можливий механізм даного процесу полягає у зв'язуванні металу з мицелами сурфактанту, які містять солюбілізовані молекули вуглецю. Сурфактин, що продукується *B. subtilis*, ефективний у видаленні важких металів з ґрунту, забрудненого сумішшю Cu^{2+} , Zn^{2+} і вуглеводнів. Трегалозоліпідний біосурфактант, що синтезується *Rhodococcus ruber*, успішно використовується для десорбції нафти з ґрунту і біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів. В даний час досліджується можливість застосування бактеріальних сурфактантів для біоремедіації ґрунтів, забруднених поряд з нафтовими вуглеводнями такими токсичними металами, як уран, кадмій, свинець і цинк.

Ключові слова: сурфактанти, біосурфактанти, важкі метали, ремедіація ґрунтів

Часова Э.В., Ивчук В.В. Экологические аспекты применения сурфактантов разной природы происхождения и их влияние на тяжелые металлы

Рассмотрены возможности использования биосурфактантов, как новых перспективных веществ природного происхождения, в технологиях биологической ремедиации почв. Показаны механизмы извлечения тяжелых металлов из почвы с помощью биосурфактантов. Биосурфактанты имеют ряд преимуществ перед синтетическими аналогами – природное происхождение, низкая токсичность, биodegradability, высокая активность в экстремальных условиях внешней среды, а также возможность получения на нетрадиционных и относительно дешевых источниках сырья. Комплексы кадмий-рамнолипид устойчивы при рН = 6.0-7.0, а небольшие размеры их везикул облегчают движение в почве. Следует отметить, что обычно присутствующие в почве катионы (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) практически не конкурируют с тяжелыми металлами по комплексообразованию с рамнолипидами. Связывание тяжелых металлов с лигандами катионных биосурфактантов базируется на формировании координационных соединений. При этом металлы действуют как кислота Льюиса (акцептор электронов), а органические лиганды – как основание Льюиса (донор электронов). Экспериментальные данные по очистке почвы, загрязненной кадмием и свинцом, с помощью обработки аэсцином (биосурфактант, синтезируемый *Aesculus hippocastanum* L.) показали, что металлы интенсивно мигрируют в водную фазу почвы в зависимости от значения рН среды.

Добавление биосурфактантов в почву, загрязненную тяжелыми металлами и органическими поллютантами, способствует одновременной десорбции органических загрязнителей и тяжелых металлов. В экспериментах рамнолипидный биосурфактант снижал токсичность тяжелых металлов и ускорял процесс деградации нефтепродуктов. Возможный механизм данного процесса заключается в связывании металла с мицеллами сурфактанта, содержащего солюбилизованные молекулы углерода. Сурфактин, продуцируемый *B. subtilis*, эффективен в удалении тяжелых металлов из почвы, загрязненной смесью Cu^{2+} , Zn^{2+} и углеводородов. Трегалозоліпідний біосурфактант, синтезируемый *Rhodococcus ruber*, успешно используется для десорбции нефти из почвы и биоремедіації нефтезагрязненных почв. В настоящее время исследуется возможность применения бактериальных сурфактантов для биоремедіації почв, загрязненных вместе с нефтяными углеводородами такими токсичными металлами, как уран, кадмий, свинец и цинк.

Ключевые слова: сурфактанты, биосурфактанты, тяжелые металлы, ремедіація почв

Chasova E.V., Ivchuk V.V. Environmental aspects of the use of surfactants of different natural origin and their impact on heavy metals

Considered the possibilities of the use of biosurfactants as new promising substances of natural origin in the technologies of biological remediation of soils. Showed the extraction mechanisms of heavy metals from soil using biosurfactants. Biosurfactants have several advantages over synthetic analogs such as natural origin, low toxicity, biodegradability, high activity in extreme environmental conditions, as well as the possibility of extraction from non-traditional and relatively cheap sources of raw materials. Complexes of cadmium-rhamnolipids are stable at pH 6.0-7.0, and the small size of their vesicles facilitate the movement in the soil. It should be noted that usually presented in the soil cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}) practically do not compete with heavy metals by complex formation with rhamnolipids. The binding of heavy metals with ligands cationic biosurfactants is based on formation of coordination compounds. The metals act as a Lewis acid (electron acceptor) and organic ligands as a Lewis base (electron donor). Experimental data on decontamination of soil contaminated with cadmium and lead, through processing by aescin (biosurfactant synthesized *Aesculus hippocastanum* L.) have shown that metals intensely migrate to the water phase of the soil depending on value of H environment. Adding biosurfactants in soil, contaminated with heavy metals and organic pollutants, facilitates the simultaneous desorption of organic pollutants and heavy metals. In experiments the rhamnolipid biosurfactants reduced the toxicity of heavy metals and accelerated the process of oil products degradation. The possible mechanism of this process is the binding of metals with the surfactant micelles containing solubilized carbon molecules. Surfactin produced by *B.subtilis* is effective in removing heavy metals from the soil contaminated with a mixture of Cu^{2+} , Zn^{2+} , and hydrocarbons. Biosurfactants synthesized by *Rhodococcus ruber* have been used successfully for the oil desorption from soil and bioremediation of oil-contaminated soils. We are still investigating the possibility of using bacterial surfactants for the bioremediation of soils contaminated with oil hydrocarbons such toxic metals as uranium, cadmium, lead and zinc.

Key words: surfactants, biosurfactants, heavy metals, remediation of soils.

УДК 622.7: 622.3

Ніколаєнко К.В., Заверюха Ю.К. Шляхи підвищення якості аглоруди підземного видобутку

Розглянуто питання підвищення якості аглоруди з гематитових руд Шахтоуправління ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» шляхом виводу з технології продукту в якому в процесі дроблення та грохочення вихідної руди по існуючій технологічній схемі дробарно-сортувальної фабрики, концентруються засмічуючі різновиди і наступного сухого магнітного збагачення поточної аглоруди з отриманням концентрату з вмістом заліза не менше 58,0%. Вивчено речовинний склад вихідної руди підземного видобутку Шахтоуправління та визначено її різновиди, які засмічують кінцеву товарну продукцію. Визначено продукт в якому в процесі дроблення та грохочення вихідної руди по існуючій технологічній схемі дробарно-сортувальної фабрики, концентруються засмічуючі різновиди. Запропоновано вивести з технологічного процесу цей продукт, що дозволить підвищити якість товарної аглоруди на 2,6%. Вивчено можливість подальшого підвищення якості аглоруди, отриманої після виводу з існуючої технологічної схеми дробарно-сортувальної фабрики засмічуючих різновидів, сухою магнітною сепарацією на сепараторах з індукцією магнітного поля 0,7 Тл. Визначено крупність аглоруди, яка піддається сухій магнітній сепарації. Виконано дослідження поділу вузьких класів аглоруди на магнітному сепараторі. Встановлено, що при магнітній сепарації в полі 0,7 Тл, крім магнітних продуктів високої якості, отримуються багаті промпродукти, які потребують подальшого збагачення. Вивчена можливість їх подальшого збагачення в сепараторах з індукцією магнітного поля 0,9-1,3 Тл. Визначено величину індукції магнітного поля для отримання якісних показників поділу. Встановлено, що суха магнітна сепарація аглоруди дозволяє додатково підвищити її якість на 2,6%. Отримані результати дозволили виявити нові параметри та технологічні вимоги щодо рекомендації вдосконалення конструкцій високоінтенсивних магнітних сепараторів для збагачення гематитових залізних руд шахтного видобутку. Розроблено технологію збагачення із застосуванням виводу з існуючої технологічної схеми дробарно-сортувальної фабрики засмічуючих різновидів та наступною високоінтенсивною сухою магнітною сепарацією поточної аглоруди.

Ніколаєнко К.В., Заверюха Ю.К. Пути повышения качества аглоруды подземной добычи

Рассмотрены вопросы повышения качества аглоруды с гематитовых руд Шахтоуправления ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» путем размыкания замкнутого цикла III стадии дробления и последующего сухого магнитного обогащения текущей аглоруды с получением концентрата с содержанием железа не менее 58,0%. Изучен вещественный состав исходной руды подземной добычи Шахтоуправления и определены ее разновидности, которые засоряют конечную товарную продукцию. Определен продукт в котором в процессе дробления и грохочения исходной руды по существующей технологической схеме дробильно-сортировочной фабрики, концентрируются засоряющие разновидности. Предложено вывести из технологического процесса этот продукт, что позволит повысить качество товарной аглоруды на 2,6%. Изучена возможность дальнейшего повышения качества аглоруды, полученной после вывода из существующей технологической схемы дробильно-сортировочной фабрики засоряющих видов, сухой магнитной сепарацией на сепараторах с индукцией магнитного поля 0,7 Тл. Определена крупность аглоруды, которая подвергается сухой магнитной сепарации. Выполнены исследования разделения узких классов аглоруды на магнитном сепараторе. Установлено, что при магнитной сепарации в поле 0,7 Тл, кроме магнитных продуктов высокого качества, получаем богатые промпродукты, которые требуют дальнейшего обогащения. Изучена возможность их дальнейшего обогащения в сепараторах с индукцией магнитного поля 0,9-1,3 Тл. Определена величина индукции магнитного поля для получения качественных показателей разделения. Установлено, что сухая магнитная сепарация аглоруды позволяет дополнительно повысить ее качество на 2,6%. Полученные результаты позволили выявить новые параметры и технологические требования по рекомендации совершенствования конструкций высокоинтенсивных магнитных сепараторов для обогащения гематитовых железных руд шахтной добычи. Разработана технология обогащения с применением вывода из существующей технологической схемы дробильно-сортировочной фабрики засоряющих видов и последующей высокоинтенсивной сухой магнитной сепарации текущей аглоруды.

Nykolaenko K.V., Zaveriukha Y.K. Ways of improving the quality of sinter ore underground mining.

Examined the issues of improving the quality of sintered ore from hematite ore mines of a private enterprise "ArcelorMittal Krivyi Rih" by opening the closed loop of the third stage of the crushing and further dry magnetic enrichment of the current sintering to produce a concentrate with an iron content not less 58,0%. Studied the material composition of the original ore mining underground mine control and identified its types that clog up the final commercial products. Defined the product which in the process of crushing and screening of initial ore under the existing technological scheme of crushing and sorting factory and in which contaminating species concentrate. Proposed to withdraw from the process this product that will improve the quality of sinter ore up to 2,6%. Investigated the possibility to further improving the quality of sinter ore, obtained after the withdrawal of the existing technological scheme crushing-and-sorting factory-clogging types, dry magnetic separation in separators with magnetic field 0,7 TL. Determined the size of sinter ore, which is subjected to dry magnetic separation. Studied the separating the narrow classes of sinter ore in the magnetic separator. Established that during magnetic separation in a field of 0.7 T, in addition to magnetic products of high quality, we get products that require further enrichment. Studied the possibility of their further enrichment in the separators with the magnetic field from 0.9 to 1.3 Tesla. Determined the size of the magnetic field to obtain high-quality separation performance. It is established that dry magnetic separation of sintered ore allows to further improve its quality to 2.6%. The obtained results allowed to identify new parameters and process requirements for recommendations for improving the design of high-intensity magnetic separators for enrichment of hematite iron ores mining. Developed the enrichment technology with the use of output from the existing technological scheme of crushing and sorting factory pollutes species and subsequent high-intensity dry magnetic separation current of sinter ore.

УДК 622.788: 004.032.26

Кузьменко А.С., Барановская М.Л. Использование нейронной сети для управления чашевым окомкователем

Чашевый окомкователь является сложной, с точки зрения автоматического управления, машиной. Большое количество входящих (влажность шихты, скорость вращения чаши, угол наклона чаши, расход шихты и воды в чашу), исходящих (диаметр, прочность и влажность окатыша) параметров и внешних воздействий (температура и влажность воздуха, содержание железа в шихте) зависят друг от друга не линейно и в некоторых случаях не явно, что создает большие трудности при управлении чашевым окомкователем. Определению подходящей системы автоматического управления чашевым окомкователем посвящена серия работ, включая эту. В данной работе обоснован выбор направления поиска подходящей системы управления. Для этого составлена математическая модель одноконтурной системы управления приводом вращения чаши чашевого окомкователя. В модели для сравнения автоматических систем управления использована классический ПИД регулятор и однослойная нейронная сеть обученная по алгоритму «дельта-правила». Произведено сравнение систем управления при разных входящих воздействиях. Определены основные параметры переходных процессов (время первого согласования t_y , перерегулирование σ , время переходного процесса $t_{\text{пн}}$) и найдены коэффициенты ошибок позиционирования c_0 , скорости c_1 и ускорения c_2 для каждого типа системы управления. Показаны закономерности, по которым найдены соответствующие коэффициенты ошибок. Для наглядности работы разных систем управления приведены графики ошибок c_0 , c_1 и c_2 .

Кузьменко А.С., Барановська М. Л. Використання нейронної мережі для управління чашовим обгрудкувачем

Чашовий обгрудкувач є складною, з точки зору автоматичного управління, машиною. Велика кількість параметрів, що входять (вологість шихти, швидкість обертання чаши, кут нахилу чаши, витрата шихти і води в чашу), витікаючих (діаметр, міцність і вологість окатиша), і зовнішніх дій (температура і вологість повітря, зміст заліза в шихті) залежать один від одного не лінійно і в деяких випадках не явно, що створює великі труднощі при управлінні чашевим окомкователем. Визначенню відповідної системи автоматичного управління чашовим обгрудкувачем присвячена серія робіт, включаючи цю. У цій роботі обґрунтований вибір напряму пошуку відповідної системи управління. Для цього складена математична модель одноконтурної системи управління приводом обертання чаши чашового обгрудкувача. У моделі для порівняння автоматичних систем управління використано класичний регулювальник і одношарова нейронна мережа ПИД навчена по алгоритму "дельта-правила". Вироблено порівняння систем управління при різних діях, що входять. Визначені основні параметри перехідних процесів (час першого узгодження t_y , перерегулювання σ , час перехідного процесу $t_{\text{пн}}$) і знайдені коефіцієнти помилок позиціонування c_0 , швидкості c_1 і прискорення c_2 для кожного типу системи управління. Показані закономірності, по яких знайдені відповідні коефіцієнти помилок. Для наочності роботи різних систем управління приведені графіки помилок c_0 , c_1 і c_2 .

Kuzmenko A.S., Baranovskaja M.L. The use of neural nets for control of a bowl pelletizer

A bowl pelletizer is difficult from the point of view of automatic control machine. A large number of incoming (humidity of the charge, the speed of rotation of the bowl, tilt angel of the bowl, the flow of the mixture and water in a bowl), outgoing (diameter, tensile strength and moisture content of the pellet) parameters and external influences (temperature and humidity, the iron content of the charge) are dependent on each other not linear and, in some cases, not clearly that creates great difficulties in controlling of the bowl pelletizer. To the definition of a suitable system of automatic control of the bowl pelletizer is dedicated a series of works, including this one. In this work we justified the choice of the direction of search for a suitable control system. For this was presented the mathematical model of single-loop actuator control system of the rotation of the bowl pelletizer. In the model for comparison auto control systems is used a classical PID (Proportional Integral Derivative) controller and single-layer neural network trained by the algorithm "Delta-rule". Made a comparison of control systems for different incoming influences. The main parameters of the transients (time of the first agreeing t_y , overshoot, transition time t) and the coefficients of the error c_0 positioning, speed of c_1 and acceleration of c_2 for each type of control system. Showed the patterns due to which were found corresponding coefficients errors. For clarity of the operation of different control systems are given diagrams of errors c_0 , c_1 and c_2 .

УДК 622.27

Письменный С.В., Томашевський О.Б. Моделирование стійкої форми очисної камери при розробці магнетитових кварцитів Криворізького залізрудного басейну

За результатами виконаного аналізу існуючих запасів Криворізького залізрудного басейну встановлено, що розвіданих запасів залізних руд нараховується понад 23,5 млрд т, з них перспективних до розробки підземним способом близько 13,5 млрд т. В умовах діючих підприємств з підземним видобутком залізних руд нараховується понад 5,0 млрд т магнетитових кварцитів. З метою збереження денної поверхні, а також головних розкривних виробок встановлено, що розробка магнетитових кварцитів в умовах діючих підприємств з підземним способом видобутку доцільна системами з закладкою виробленого простору. При застосуванні даного класу систем розробки виникає проблема стійкості очисних камер у період від початку її відробки до повної її закладання твердочими сумішами. В лабораторних умовах на моделях з використанням еквівалентного матеріалу досліджували як впливає термін існування на стійкість очисних камер прямокутної, шатрової та склепистої форм. За результатами лабораторних досліджень встановлено, що раціональна форма очисної камери з умови її стійкості та терміну існування є склепінна у верхній її частині. Достовірність результатів моделювання підтверджується високою збіжністю отриманих значень.

Ключові слова: очисна камера, стійкість, термін існування, моделювання, магнетитові кварцити, підземна розробка

Письменный С.В., Томашевський О.Б. Моделирование устойчивых форм очистных камер при разработке магнетитовых кварцитов Криворожского железорудного бассейна

По результатам выполненного анализа существующих запасов Криворожского железорудного бассейна установлено, что разведанных запасов железных руд насчитывается более 23,5 млрд т, из них перспективных к разработке подземным способом около 13,5 млрд т. В условиях действующих предприятий с подземной добычей железных руд насчитывается более 5,0 млрд т магнетитовых кварцитов. С целью сохранения дневной поверхности, а также главных вскрышных выработок установлено, что разработка магнетитовых кварцитов в условиях действующих предприятий с подземным способом добычи целесообразна системами с закладкой выработанного пространства. При применении данного класса систем разработки возникает проблема устойчивости очистных камер в период от начала ее отработки до полной их закладки твердеющими смесями. В лабораторных условиях на моделях с использованием эквивалентного материала исследовали, как влияет срок существования очистных камер на их устойчивость в зависимости от прямоугольной, шатровой и сводчатой форм. По результатам лабораторных исследований установлено, что рациональная форма очистной камеры из условия ее устойчивости и срока существования является сводчатая в верхней ее части. Достоверность результатов моделирования подтверждается высокой сходимостью полученных значений.

Ключевые слова: очистная камера, устойчивость, время существования, моделирование, магнетитовые кварциты, подземная разработка

Pismennij S.V., Tomashevsky O.B. Modeling sustainable forms of treatment chambers in the development of magnetite quartzite of Kryvyi Rih iron ore basin

According to the results of the analysis of existing deposits of Kr Rih iron ore basin it found that explored reserves of iron ore have more than 23.5 billion tons, of which promising to the development of underground mining of approximately 13.5 billion tons. In terms of existing enterprises with underground mining of iron ore there are more 5.0 billion tons of magnetite quartzite. In order to preserve the earth surface, as well as the main overburden excavations it is established that the development of magnetite quartzite in terms of operating enterprises with the underground mining method suitable systems with a laying out space. In the application of this development class arises the problem of stability of the treatment chambers during the period from the beginning of their practice to their complete filling with hardening mixtures. In laboratory models using equivalent material it was explored the effect of lifetime treatment chambers on their resistance depending on rectangular, tented and vaulted forms. By results of laboratory researches it is revealed that the rational form of the treatment chamber from the condition of its stability and lifetime is arched one in its upper part. The accuracy of the simulation results is confirmed by the high precision of the obtained values.

Key words: treatment chambers, stability, lifetime, simulation, magnetite quartzite, underground mining

УДК 622.647.7+621.928.23+621.976.5

Горбачов Ю.Г. Перспективи використання вібраційних ефектів для створення нового гірничо-збагачувального обладнання

У роботі відзначено численні переваги вібраційних технологій та техніки в порівнянні з традиційними. Коливальні впливи, прикладені до твердих тіл, дисперсних середовищ, пульпи та рідин, надають їм нові різноманітні властивості, які примушують швидше та якісніше виконувати ті чи інші дії. Зроблено оцінку актуальності теми дослідження. На підставі аналізу науково-технічної інформації розглянуто аспекти використання вібраційних ефектів для інтенсифікації виробничих процесів в гірничій та гірничозбагачувальній промисловості, зокрема для обробки різноманітних дисперсних середовищ. Аналіз використання вібраційних ефектів в гірничозбагачувальній промисловості свідчить про те, що вібраційні машини застосовуються здебільшого для операцій переміщення, навантаження та грохочення насипних матеріалів (віброживильники, віброконвеєри, віброгрохоти). Зроблено висновок про значні перспективи розширення сфери застосування вібраційної техніки в підготовчих, основних та допоміжних процесах збагачення мінеральної сировини. Проведені дослідження довели можливість розробки нових конструкцій дробильно-помольного обладнання з вібраційними приводами, які забезпечують високі показники призначення та надійності, вібраційних машин для підвищення ефективності процесів гравітаційного збагачення у важких середовищах, віброустаткування для транспортування гірничої маси і продуктів її переробки, пульпи різних ступенів жорсткості, обладнання для радіометричного збагачення руди в рухомому рудопотоці, для вібраційної зміцнювальної обробки сирих окатишів, інтенсифікації випуску насипних матеріалів з різноманітних ємностей, полегшення процесу впровадження робочих органів гірничого та гірничозбагачувального обладнання в породу тощо. Практичне застосування

переваг вібраційних технологій дасть можливість суттєво підвищити ефективність багатьох підготовчих, основних та допоміжних технологічних процесів збагачення.

Горбачев Ю.Г. Перспективы использования вибрационных эффектов для создания нового горнообогатительного оборудования

В работе отмечены многочисленные преимущества вибрационных технологий и техники в сравнении с традиционными. Колебательные воздействия, приложенные к твердым телам, дисперсным средам, пульпам и жидкостям, придают им новые разнообразные свойства, заставляют быстрее и качественнее выполнять те или иные действия. Выполнена оценка актуальности темы исследования. На основании анализа научно-технической информации рассмотрены аспекты использования вибрационных эффектов для интенсификации производственных процессов в горной и горнообогатительной промышленности, в частности для обработки разнообразных дисперсных сред. Анализ использования вибрационных эффектов в горнообогатительной промышленности свидетельствует о том, что вибрационные машины применяются в основном для операций перемещения, погрузки и грохочения насыпных материалов (вибропитатели, виброконвейеры, виброгрохоты). Сделан вывод о значительных перспективах расширения сферы применения вибрационной техники в подготовительных, основных и вспомогательных процессах обогащения минерального сырья. Проведенные исследования доказали возможность разработки новых конструкций дробильно-размольного оборудования с вибрационными приводами, которые обеспечивают высокие показатели назначения и надежности, вибрационных машин для повышения эффективности процессов гравитационного обогащения в тяжелых средах, вибрационных установок для транспортировки горной массы и продуктов ее переработки, а также пульп различных степеней жесткости, оборудования для радиометрического обогащения руды в движущемся рудопотоке, для вибрационной упрочняющей обработки сырых окатышей, для интенсификации выпуска сыпучих материалов из различных емкостей, облегчение процесса внедрения рабочих органов горного и горнообогатительного оборудования в породу и т.д. Практическое использование преимуществ вибрационных технологий обеспечит возможность существенного повышения эффективности многих подготовительных, основных и вспомогательных технологических процессов обогащения.

Gorbachev Y.G Prospects for the use of vibration effects to create a new mining and processing equipment

Noted many advantages of vibration technology and engineering compared to traditional. Vibrational effects applied to solids, dispersion media, slurries and liquids, giving them different properties, make faster and better to perform certain actions. Performed an assessment of the relevance of the research topic. Based on the analysis of scientific and technical information are considered aspects of the use of vibration effects for the intensification of industrial processes in mining and mining industry, in particular for the processing of a variety of disperse media. Analysis of the use of vibration effects in the mining industry suggests that the vibrational machine is mainly used for the operations of moving, loading and screening of bulk materials handling (vibratory feeders, vibrating conveyors, vibrating screens). Made a conclusion about the considerable prospects of extending the application of vibration techniques in the preparatory, main and auxiliary processes of enriching mineral raw materials. Studies have demonstrated the possibility of developing new designs for crushing and grinding equipment with vibrational drives that provide high levels of appointment and reliability of vibration machines to improve the efficiency of the gravity concentration in heavy media, vibration systems for transportation of rock mass and its products, as well as slurries of various hardness degree, the equipment for radiometric ore enrichment in a moving production intensity for vibration hardening treatment of raw pellets to intensify the production of bulk materials of various capacities, facilitating the implementation of the working bodies of the mining and mineral processing equipment in the breed, etc. Practical use of the advantages of vibratory technology will provide the opportunity to substantially improve the efficiency of many preparatory, main and auxiliary technological processes of enrichment.

УДК 681.51:622.788

Лобов В.Й., Лобова К.В. САК рівномірності нагріву шару обкотишів на конвеєрній випалювальній машині

Проведення досліджень в області створення ефективних методів та засобів автоматизації процесу обпалу обкотишів на конвеєрній опалювальній машині є актуальною задачею. Для вирішення цієї задачі запропонована структура САК рівномірності нагріву поверхні шару обкотишів, в якій використовується плавне керування витратами природного газу на кожному із основних пальників. Одночасно для їх запуску застосовують полум'я пілотних пальників, що функціонують за принципом бінарного керування (увімкнено, вимкнено). Дросельними заслінками, що приводяться у рух синхронними сервоприводами регулюються витрати газу на основних пальниках. Як показали дослідження, використання таких виконавчих механізмів із управлінням за зворотним від'ємним зв'язком дозволяє точно визначати положення регулюючих органів. Для керування подачею природного газу на пілотні пальники достатньо використати клапани з електромагнітними приводами, що здатні займати лише два фіксовані положення.

Принцип роботи САК полягає у підтриманні температури заданих точок поверхні шару обкотишів на заданому користувачем рівні. Контроль температури ведеться на основі даних, отриманих з чотирьох опорних точок поверхні обкотишів. В основу розглянутого проекту автоматизації АСУ ТП покладені функціональна схема керування процесом обпалювання обкотишів, оновлена матеріально-технічна база існуючої системи регулювання, в якій використовуються сучасні первинні перетворювачі, великі інтегральні схеми, спеціалізовані контролери та інша елементна база.

Лобов В.Й., Лобова К.В. САК равномерности нагрева слоя окатышей на конвейерной обжиговой машине

Проведение исследований в области создания эффективных методов и средств автоматизации процесса опалювання окатышей на конвейерной отопительной машине является актуальной задачей. Для решения этой задачи предложена структура САК равномерности нагрева поверхности слоя окатышей, в которой используется плавное управление расходами природного газа на каждом из основных горелок. Одновременно для их запуска применяют пламя пилотных горелок, которые функционируют по принципу бинарного управления (включено, выключено). Дросельными заслонками, которые приводятся в движение синхронными сервоприводами регулируются расходы газа на основных горелках. Как показали исследование, использование таких исполнительных механизмов с управлением за

обратной отрицательной связью позволяет точно определять положение регулирующих органов. Для управления подачей природного газа на пилотные горелки достаточно использовать клапаны с электромагнитными приводами, которые способны занимать лишь два фиксированных положения.

Принцип работы САК заключается в поддержании температуры заданных точек поверхности слоя окатышей на заданном пользователем уровне. Контроль температуры ведется на основе данных, полученных из четырех опорных точек поверхности окатышей. В основу рассмотренного проекта автоматизации АСУ ТП положены функциональная схема управления процессом обжига окатышей, обновлена материально-техническая база существующей системы регуляции, в которой используются современные первичные преобразователи, большие интегральные схемы, специализированные контроллеры и другая элементная база.

Lobov V.J., Lobova K.J. System Automated Control of uniformly heating pellets on the roasting kiln conveyor

Research in the field of creating effective methods and means of automation of the process fallen pellets on the conveyor of the heating machine is an actual problem. To solve this problem is proposed a structure of SAK of surface heating pellets which uses a smooth control the consumption of natural gas for each of the main burners. At the same time to launch them is used flame pilot burners, which operate on the principle of binary control (on, off). The throttle shutters, which are driven by synchronous servo motors, regulate gas consumption for the main burners. The study showed that the use of such control drivers over negative feedback allows to accurately determine the position of the regulators. To control the gas supply to the pilot burner is sufficient to use the valves with electromagnetic wires and which are able to take only two fixed positions. The principle of operation of SAC is to maintain the temperature of specified points on the surface layer of pellets on the given user levels. Temperature control is conducted on the basis of data obtained from four reference points on the surface of pellets. The basis of the project of automation of APCS required functional diagram of the control process of firing pellets, updated material and technical base of the existing regulation system, which uses modern primary converters, integrated scheme, specialized controllers and other circuitries.

УДК 622.79: 622.793

Олійник Т.А., Скляр Л.В., Олійник М.О., Дрожевська П.С. Обґрунтування механізму закріплення аніонного флокулянту на поверхні часточок відходів збагачення магнетитових кварцитів ПАТ «ПівніГЗК»

Сьогодні досить актуальним технічним та екологічним завданням є зменшення об'єму відходів гірничо-збагачувальних підприємств, які щорічно складаються в хвостосховища. Виходом з цієї ситуації може бути скорочення об'ємів відходів збагачення руд на ГЗК за рахунок зменшення в них вмісту вологи. Для швидкого і повного виходу вологи з тонко-дисперсних суспензій, до яких відносяться відходи збагачувальних фабрик, їх доцільно обробляти реагентом-флокулянтом. У зв'язку з цим обґрунтування нових режимів флокуляції тонко-дисперсної сировини за рахунок застосування аніонних та катіонних флокулянтів для скорочення об'ємів хвостосховищ та очищення стічних вод ПАТ «ПівніГЗК» є актуальним практичним завданням. У роботі приведено результати розробки технології згущення відходів збагачення магнетитових - кварцитів ПАТ «ПівніГЗК» для цього був проведений підбір оптимального флокулянта, що проводився в лабораторних умовах за загальноприйнятою Підбір оптимального флокулянта проводився в лабораторних умовах за загальноприйнятою методикою в стандартних циліндрах, по кінетиці відстоювання після етапів змішування і утворення пластівців. Вивчалась флокулююча дія слабоаніонного Magnafloc338. Вивчення процесу утворення флокул проводилось на хвостах ПАТ «ПівніГЗК». Лабораторні дослідження суспензії відходів показали, що вміст твердих домішок склав 10195 мг/л. В результаті проведених досліджень встановлено, що для осадження мінеральних частинок у суспензіях відходів без флокулянта необхідно до 50 хв., а з флокулянтом для осадження мінеральних частинок достатньо 3 хв.

Олейник Т.А., Скляр Л.В., Олейник М.А., Дрожевская П.С. Обоснование механизма закрепления анионного флокулянта на поверхности частиц отходов обогащения магнетитовых кварцитов ПАО "СевГОК"

Сегодня достаточно актуальным техническим и экологическим заданием является уменьшение объема отходов горно-обогатительных предприятий, которые ежегодно складываются в хвостохранилища. Выходом из этой ситуации может быть сокращение объемов отходов обогащения руд на ГОК за счет уменьшения в них содержания влаги. Для быстрого и полного выхода влаги из тонко-дисперсных суспензий, к которым относятся отходы обогатительных фабрик, их целесообразно обрабатывать реагентом-флокулянтом. В связи с этим обоснование новых режимов флокуляции тонко-дисперсного сырья за счет применения анионных и катионных флокулянтов для сокращения объемов хвостохранилищ и очистки сточных вод ПАО "СевГОК" является актуальным практическим заданием. В работе приведены результаты разработки технологии сгущения отходов обогащения магнетита - кварцитов ПАО "СевГОК" для этого был проведенный подбор оптимального флокулянта, который проводился в лабораторных условиях за общепринятой Подбор оптимального флокулянта проводился в лабораторных условиях по общепринятой методике в стандартных цилиндрах, по кинетике отстаивания после этапов смешивания и хлопьеобразования. Изучалось флокулирующее действие слабоанионного Magnafloc338. Изучение процесса образования флокул проводилось на хвостах ПАО "СевГОК". Лабораторные исследования суспензии отходов показали, что содержание твердых примесей сложило 10195 мг/л. В результате проведенных исследований установлено, что для осаднения минеральных частиц в суспензиях отходов без флокулянта необходимо до 50 мин., а с флокулянтом для осаднения минеральных частиц достаточно 3 мин.

Oleynik T.A., Skljjar L.V., Oleynik M.A., Drozevska P.S. Justification of the mechanism of fixing anionic flocculant on the surface of the waste particles during enrichment of magnetite quartzite of a private enterprise "Northern mining plant"

Current relevance of technical and environmental mission is to reduce the volume of wastes from mining and processing plants, which are annually stored in the tailings pond. A way out of this situation is reducing the amount of ore waste in the mine by reducing the content of moisture. For fast and complete release of moisture from finely dispersed suspensions, which include waste from processing plants, they should be treated with a reagent-flocculant. In this regard, the rationale new modes of flocculation of fine-dispersed raw materials through the use of anionic and cationic flocculants for reducing the volume of wastes and wastewater of a private enterprise "Northern Mining Plant" is the actual practical task. The paper pre-

sents the results of technology development of thickening wastes of magnetite - quartzite of a private enterprise "Northern Mining Plant". This was accomplished through selection of the best flocculant in the laboratory according to the standard technique in a standard cylinder on the kinetics of settling of the phases after mixing and flocculation. We studied the flocculating effect of weakly anionic Magnafloc 338. Study of the formation process of floccule was carried out at a private enterprise "Northern Mining Plant". Laboratory studies of waste slurry showed that the content of solid impurities was 10195 mg/l. The result of the research demonstrated that for deposition of mineral particles in suspension without the flocculant of waste needs up to 50 min, and flocculant for the deposition of mineral particles 3 min enough.

УДК 621.65.03

Данилейко О.К., Рожненко Ж.Г., Дубовий В.О. Розробка лабораторного стенда для дослідження режимів роботи відцентрових насосів

Розроблено лабораторний стенд для аналізу режимів роботи насосів та побудови напірних та енергетичних характеристик насоса. Стенд має резервуар з рідиною, відцентровий насос, трубопроводи, які перекачують воду по замкненому циклу. Для регулювання продуктивності встановлено кран з сервоприводом. Змінюючи положення засувки крана можна міняти продуктивність. Продуктивністю насоса можна управляти змінюючи частоту обертання насоса. Другий спосіб має кращі енергетичні характеристики. Для зміни частоти обертання насоса стенд має привід змінного струму. Для автоматичного керування насосом встановлено персональний комп'ютер. Система автоматичного керування включає датчики тиску та витрати рідини, цифровий мультиметр для вимірювання струму та потужності. Усі елементи системи включені в локальну мережу і через неї зв'язані з персональним комп'ютером.

Розроблено програмне забезпечення для лабораторного стенда насосної установки. SCADA система автоматично фіксує параметри роботи установки. У автоматичному режимі програма будує напірно-витратні і енергетичні характеристики. Проаналізовано вплив способу регулювання продуктивності насосної установки на процеси енергозбереження. Стенд призначено для виконання лабораторних робіт та закріплення теоретичних знань; придбання навичок експлуатації обладнання; роботи із регулювальною, контрольно-вимірною й частотно-перетворювальною апаратурою насосної установки.

Ключові слова: лабораторний стенд, насос, частотний перетворювач, система керування, scada система

Данилейко О. К., Рожненко Ж.Г., Дубовой В.О. Разработка лабораторного стенда для исследования режимов работы центробежных насосов энергосбережения, программа

Разработан лабораторный стенд для анализа режимов работы насосов и построения напорных и энергетических характеристик насоса. Стенд имеет резервуар с жидкостью, центробежный насос, трубопроводы, которые перекачивают воду по замкнутому циклу. Для регулировки производительности установлен кран с сервоприводом. Изменяя положение заслонки крана можно менять производительность. Производительностью насоса можно управлять меняя частоту вращения насоса. Второй способ имеет лучшие энергетические характеристики. Для изменения частоты вращения насоса стенд снабжен приводом переменного тока. Для автоматического управления насосом установлен персональный компьютер. Система автоматического управления включает датчики давления и расхода жидкости, цифровой мультиметр для измерения тока и мощности. Все элементы системы включены в локальную сеть и через нее связаны с персональным компьютером.

Разработано программное обеспечение для лабораторного стенда насосной установки. SCADA система автоматически фиксирует параметры работы установки. В автоматическом режиме программа строит напорно-расходные и энергетические характеристики. Проанализировано влияние способа регулирования производительности насосной установки на процессы энергосбережения. Стенд предназначен для выполнения лабораторных работ и закрепления теоретических знаний; приобретения навыков эксплуатации оборудования; работы с регулирующей, контрольно-измерительной и частотно-преобразовательной аппаратурой насосной установки.

Ключевые слова: лабораторный стенд, насос, частотный перетворювач, система керування, scada система, енергозбереження, програма

Danileyko O.K., Roznenko Z.G., Dubovoy V.O. Development of the laboratory stand for research of operating modes of centrifugal pumps of the energy saving program

Developed a laboratory stand for the analysis of the operating modes of the pump and construction of the pressure and energy characteristics of the pump. The stand has a reservoir with liquid, a centrifugal pump, the pipes that pump water in a closed cycle. To adjust the performance is installed the valve is with the servo. The valve position change of the crane can change its performance. The capacity of the pump can be controlled by changing the speed of the pump. The second method has better energy characteristics. To change the frequency of pump rotation the stand is equipped with an AC drive. For automatic control of pump is installed a personal computer. The automatic control system includes pressure sensors and fluid flow, digital multimeter to measure current and power. All elements of the system are included in the local network and via it connected with a personal computer. Developed the software for the laboratory stand of the pumping unit. The SCADA system automatically records the operating parameters of the installation. In automatic mode the program builds the pressure-flow and energy characteristics. Analyzed the influence of the regulation method of pump unit productivity on the energy saving processes. The stand is designed for laboratory work and fixing theoretical knowledge; acquisition of skills of the equipment operation; work with regulatory, instrumentation and frequency-converting equipment of the pumping unit.

Keywords: laboratory stand, pump, frequency converter, control system, scada stand, energy saving program

УДК 528.8: 622.831.6

Здещиц В.М., Шолох М.В., Сергєєва М.П. Визначення неоднорідностей та порожнеч в гірському масиві

Розглянуто теоретичні положення математичного моделювання маркшейдерсько-геодезичних напівавтоматичних систем для визначення неоднорідностей та порожнеч в напружено-деформованому гірському масиві, породи в загальному випадку якого є структурними середовищами, компоненти яких володіють різними пружними властивостями. Міцні гірські породи при нарузі, що не перевищує межі пружності, поведуться як однорідні пружні середови-

ща, повністю поновлюючи свої розміри і форму після зникання деформуючих сил. Обґрунтовано, що по мінливості швидкості розповсюдження акустичних хвиль можна судити і про мінливість міцності гірського масиву при видобуванні корисної копалини. Хвилі, що розповсюджуються через гірську породу, несуть з собою певну енергію. Інтенсивність пучка при розповсюдженні через середовище зменшується по експоненті в результаті поглинання і по ступеню ослаблення інтенсивності пучка можна судити про мінливість міцності породи. Поперечний перетин рудного тіла обмежений, тому, вимірявши часовий інтервал між приходом прямої хвилі і відбитою на межі розділу середовищ з різною міцністю визначається швидкість розповсюдження сейсмічної хвилі. Запропоновано метод спектрально-сейсмічного профілювання для отримання перерізу товщі гірського масиву на підставі зареєстрованого спектру сейсмічного сигналу. При цьому використовується відповідність значень власних частот гармонійних складових сейсмічного сигналу потужностям геологічних структур. На спектрально-сейсмічному профілі проявляються межі між породами, що розрізняються по міцності, ослабленості механічного контакту і тріщинуватості. Інтерпретація експериментальних даних дозволяє згідно виявленням властивостей шару-резонатора, його коливальний процес використовувати тільки при безпосередньому контакті сейсмоприймача з цим шаром. За допомогою вейвлет-перетворення будь-який процес, що змінюється в часі, відображається на вісі частот в спектральному вигляді. Перерахунок за допомогою формули спектральної сейсмічної розвідки дозволяє провести вісь глибин, і тоді спектрограма набуває сенсу перерізу. Виконано оцінку стану геомеханічних процесів в породах біля виробленого простору з використанням спектрально-сейсмічного профілювання.

Здециц В.М., Шолох М. В., Сергеева М. П. Определение неоднородности и пустот в горном массиве

Рассмотрены теоретические положения математического моделирования маркшейдерско-геодезических полуавтоматических систем для определения неоднородности и пустот в напряженно-деформированном горном массиве, породы в общем случае которого являются структурными средами, компоненты которых владеют разными упругими свойствами. Крепкие горные породы при напряжении, которое не превышает предела упругости, ведут себя как однородные упругие среды, полностью возобновляя свои размеры и форму после исчезновения деформирующих сил. Обосновано, что по переменной скорости распространения акустических волн можно судить и о переменности прочности горного массива при добыче полезного ископаемого. Волны, которые распространяются через горную породу, несут с собой определенную энергию. Интенсивность пучка при распространении через среду уменьшается по экспоненте в результате поглощения и по степени ослабления интенсивности пучка можно судить о переменности прочности породы. Поперечное пересечение рудного тела ограничено, тому, измерив часовой интервал между приходом прямой волны и отбитой на грани раздела сред с разной прочностью определяется скорость распространения сейсмической волны. Предложен метод спектрально-сейсмической профилизации для получения перереза толщи горного массива на основании зарегистрированного спектра сейсмического сигнала. При этом используется соответствие значений собственных частот гармоничных составляющих сейсмического сигнала мощностям геологических структур. На спектрально-сейсмическом профиле проявляются пределы между породами, которые различаются по прочности, ослабленности механического контакта и трещиноватости. Интерпретация экспериментальных данных позволяет согласно выявленным свойствам слоя-резонатора, его колебательный процесс использовать только при непосредственном контакте сейсмоприемника с этим слоем. С помощью вейвлет-преобразования любой процесс, который изменяется во времени, отображается на вехе частот в спектральном виде. Пересчет с помощью формулы спектральной сейсмической разведки позволяет провести ось глубин, и тогда спектрограмма приобретает смысл перереза. Выполнена оценка состояния геомеханических процессов в породах около выработанного пространства с использованием спектрально-сейсмической профилизации.

Zdechyts V.M., Sholokh M.V., Sergeeva M.P. The determination of heterogeneity and voids in the rock mass

Considered the theoretical principles of mathematical modeling of mining surveying and geodetic semi-automatic systems for determining the inhomogeneity and voids in the stress-strained rock mass, breed as a structural environment, the components of which have different elastic properties. Strong rocks at a pressure that does not exceed the elastic limit, behave as a homogeneous elastic medium totally renewing their size and shape after deforming forces disappearance. Reasonably, that by variability of the propagation velocity of acoustic waves can be determined the variability strength rock mass in mining. Waves, propagated through the rock, carry a certain amount of energy. The intensity of the beam during propagation through a medium decreases exponentially in the result of the absorption. By attenuation degree of beam intensity can be determined the variability strength breed.

УДК 691: 692: 620: 624.01

Сургаєв В.В. Застосування конструкцій зовнішніх огорожень будівель з підвищеним теплозахистом

Виконано історичний огляд, проведено аналіз стану енергозбереження при будівництві і експлуатації промислових і громадських будівель, наведені проблемні питання в даному аспекті досліджень. У наш час у будівництві все більш широке поширення отримують технології зниження тепловтрат огорожувальних конструкцій, з використанням теплоізоляційних матеріалів на мінеральній основі «Rockwool» і панелей «Сендвич», пінобетону, «теплої» цегли. Прогрес у даній галузі пов'язаний також з постійним зростанням жорсткості вимог до теплової захищеності будинків і загальною тенденцією до зниження енергозатрат і енергозбереженням у будівництві й при експлуатації будинків. Прогрес у даній галузі пов'язаний також з постійним зростанням жорсткості вимог до теплової захищеності будинків і загальною тенденцією до зниження енергозатрат і енергозбереженням у будівництві і при експлуатації будинків. Вітчизняний рівень техніки, технології, теоретичні і прикладні знання про процес дозволяють стверджувати, що в будівництві будинків з підвищеним теплозахистом, спучений перліт, термоперліт, неопор-бетон, лігноперліт і інші розглянуті матеріали, унікальні по своїх властивостях і сферам застосування, будуть затребувані в усе більшій мірі.

Ключові слова: панелі «Сендвич», «тепла» цегла, теплоізоляція, бетон, газонаповнений бетон, теплоізоляційні наповнювачі, «тепла» штукатурка

Суртаев В.В. применение конструкций наружных ограждений зданий с повышенной теплозащитой

Выполнен исторический обзор, проведен анализ состояния энергосбережения при строительстве и эксплуатации промышленных и общественных зданий, приведены проблемные вопросы в данном аспекте исследований. В настоящее время в строительстве все более широкое распространение получают технологии снижения теплопотерь ограждающих конструкций с использованием теплоизоляционных материалов на минеральной основе «Rockwool» и панелей «Сэндвич», пенобетона, «теплого» кирпича. Прогресс в данной отрасли связан также с постоянным ужесточением требований к тепловой защищенности зданий и общей тенденцией к снижению энергозатрат и энергосбережением в строительстве и при эксплуатации зданий. Отечественный уровень техники, технологии, теоретические и прикладные знания позволяют утверждать, что в строительстве зданий с повышенной теплозащитой, вспученный перлит, термоперлит, неопор-бетон, лигноперлит и другие рассмотренные материалы, уникальные по своим свойствам и сферам применения, будут востребованы во все большей мере.

Ключевые слова: панели «Сэндвич», «теплый» кирпич, теплоизоляция, бетон, газонаполненный бетон, теплоизоляционные наполнители, "теплая" штукатурка

Surtaev V.V. The use of external fencing structures of buildings with high thermal protection

We made a historical overview, an analysis of energy saving state in the construction and operation of industrial and public buildings, given the problematic issues in this research aspect. Currently, more and more in building are used the technologies reducing heat loss due to thermal insulation materials based on mineral "Rockwool" and "sandwich" panels, foam concrete, "warm" brick. Progress in this field is also related to a constant tightening of the requirements for the thermal protection of buildings and the general tendency to reduce energy consumption and energy efficiency in construction and operation of buildings. The level of native technology, theoretical and applied knowledge allow to assert that in the construction of buildings with improved thermal protection expanded perlite, thermoperlit, neopor-concrete, ligniperda and other considered materials with unique properties and applications will be demanded increasingly.

Key words: panel "Sandwich", "warm" brick, insulation, concrete, gasless concrete, thermal insulating fillers, "warm" plaster.

УДК 621.9.04: 622.012

Нечаев В.П., Бугай Л.А. Исследование потери эксплуатационных свойств деталей поворотных механизмов переносных и телескопных перфораторов, эксплуатируемых в шахтных условиях

На шахтах Украины наряду с классическими отечественными конструкциями пневматических переносных и телескопных перфораторов, массово закупаются и внедряются в горнодобывающую отрасль переносные и телескопные перфораторы моделей УТ28, УТ24, УТ27, УСП45 (Китай). Эти модели разработаны на давно известных и традиционных для перфораторов принципах, у которых зависимый поворот буровой штанги осуществляется с помощью храпового механизма и геликоидальной пары. Эффективность работы переносных и телескопных пневматических перфораторов определяется конструктивными их параметрами ударно-поворотного механизма, который является одним из основных узлов перфораторов и определяет важные его показатели: величину энергии удара, скорость вращения бура, крутящий момент. Частые поломки и износы этих деталей, снижают технологические показатели переносных и телескопных пневматических перфораторов. Одной из причин может быть, не выдержанные требования термической обработки технологического процесса изготовления деталей ударно-поворотного механизма.

Для повышения эксплуатационных свойств деталей поворотных механизмов переносных и телескопных перфораторов необходимо произвести металлографическое исследование деталей поворотных механизмов переносных и телескопных перфораторов. Для металлографического исследования выбраны детали ударно-поворотного механизма «Винт поворотный». Целью исследования: определение химического состава металлов, их твердости и микроструктуры. Выявлены причины вызывающие разрушения деталей перфораторов и поставлены задачи для проведения новых исследований.

Ключевые слова: пневматический перфоратор, эксплуатационные свойства, металлографические исследования, пара геликоидальная.

Нечаев В.П., Бугай Л.А. Дослідження втрати експлуатаційних властивостей деталей обертових механізмів переносних та телескопних перфораторів, які експлуатуються в шахтних умовах

На шахтах України разом з класичними вітчизняними конструкціями пневматичних переносних і телескопних перфораторів, масово купуються і впроваджуються в гірничодобувну галузь переносні і телескопні перфоратори моделей УТ28, УТ24, УТ27, УСП45 (Китай). Ці моделі розроблені на давно відомих і традиційних для перфораторів принципах, у яких залежний поворот бурової штанги здійснюється за допомогою храпового механізму і пари гелікоїда. Ефективність роботи переносних і телескопних пневматичних перфораторів визначається конструктивними їх параметрами ударно-поворотного механізму, який є одним з основних вузлів перфораторів і визначає важливі його показники, : величину енергії удару, швидкість обертання бура, момент, що крутить. Часті поломки і знос цих деталей, знижують технологічні показники переносних і телескопних пневматичних перфораторів. Однією з причин може бути, не витримані вимоги термічної обробки технологічного процесу виготовлення деталей ударно-поворотного механізму.

Для підвищення експлуатаційних властивостей деталей поворотних механізмів переносних і телескопних перфораторів необхідно виробити металографічне дослідження деталей поворотних механізмів переносних і телескопних перфораторів. Для металографічного дослідження вибрані деталі ударно-поворотного механізму "Гвинт поворотний". Метою дослідження : визначення хімічного складу металів, їх твердості і микроструктури. Виявлені причини зухвалі руйнування деталей перфораторів і поставлені завдання для проведення нових досліджень.

Ключові слова: пневматичний перфоратор, експлуатаційні властивості, металографічні дослідження, пара гелікоїдальна.

Nechaev V.P., Bugaj L.A. Loss research of operational properties of details of rotary mechanisms and telescopic portable drill used in mine conditions

In the mines of Ukraine along with the classic domestic designed telescopic pneumatic portable drills, largely are bought and implemented in the mining industry the portable telescopic drills of models YT28, YT24, YT27, YSP45 (China). These models are developed on the well-known and traditional principles. The dependent rotation of the drill rod is carried out by means of a ratchet mechanism and a helical pair. The operating efficiency of the portable telescopic pneumatic drills is determined by the design parameters of a shock-rotary mechanism, which is one of the main units of the drill and identifies the important parameters: the magnitude of the impact energy, the speed of the drill rod rotation. Frequent breakdowns and wear on the details reduce the technical characteristics of the portable telescopic pneumatic drills. One of the reasons may be fails requirements for heat treatment technological process of manufacturing details of shock-rotary mechanism. In order to improve operational properties of parts and rotary mechanisms of the telescopic portable drills is necessary to make metallographic examination of parts and rotary mechanisms of the telescope portable drills. For metallographic studies are selected the parts of the shock-rotating mechanism "the Screw-rotary." The aim of the study is determination of chemical composition of metals, their hardness and microstructure. Investigated the reasons causing the destruction of drill details and set the tasks to conduct new research.

Keywords: pneumatic drill, operating properties, metallographic studies, a helical pair

УДК 622.7: 681

Хорольская Т.В. Моделирование процессов разделения частиц по магнитной восприимчивости и плотности для создания робототехнологических комплексов

Рассмотрены модели и аналитические зависимости, описывающие процесс разделения магнитных частиц в рабочей зоне индуктора работo-технологического комплекса - интенсификатора. Лабораторные исследования, по определению амплитуды вибрации магнитных частиц составляющие ферромагнитные флоккулы, и на которые действуют разновидности бегущих электромагнитных полей, доказали, что максимальные вибрации возникают в случае, когда электромагнитное поле индуцированное трехфазной системой токов. Полученные результаты перспективные по использованию свойств импульсно - виброфлокулярной среды при конструировании робототехнологических комплексов - интенсификаторов с целью получения концентратов с массовой долей железа до 69,5% и выше. Определены сферы использования импульсно - виброфлокулярной среды, имеющую большую магнитную проницаемость по отношению к извлечению железа за счет взаимодействия его с гравитационными и инерционными полями. Доказана возможность выполнения с помощью импульсно - виброфлокулярной среды разделения магнитных частиц по магнитной восприимчивости как в системе технологической классификации и сепарации в гидроциклонах с бегущим полем, так и в процессах флотации для оптимизации процессов разделения с помощью робототехнологических - интенсификаторов.

Ключевые слова: импульсное бегущее поле, частица железа, классификация, сепарация, оптимизация, комплекс робототехнологический.

Хорольска Т. В. Моделювання процесів розподілу часток по магнітній сприйнятливості і щільності для створення робототехнологічних комплексів

Розглянуто моделі і аналітичні залежності, що описують процес розділення магнітних частинок в робочій зоні індуктора робототехнологічного комплексу - інтенсифікатора. Лабораторні дослідження, щодо визначення амплітуди вібрації магнітних частинок, які складають феромагнітні флоккули, і на які діють різновиди бігучого електромагнітного поля, довели, що максимальні вібрації виникають у випадку, коли електромагнітне поле індуковане трьохфазною системою струмів. Одержані результати перспективні щодо використання властивостей імпульсно-віброфлокулярного середовища при конструюванні робототехнологічних комплексів – інтенсифікаторів з метою одержання концентратів з масовою часткою заліза до 69,5 % і вище. Визначені сфери використання імпульсно-віброфлокулярного середовища, яке має значно більшу магнітну сприйнятливості по відношенню до вилучення заліза за рахунок взаємодії його з гравітаційними та інерційними полями. Доведено можливість виконання за допомогою імпульсного віброфлокулярного середовища розділення магнітних частинок по магнітній сприйнятливості як в системі технологічної класифікації і сепарації у гідроциклонах з бігучим полем, так і в процесах флотації для оптимізації процесів розділення за допомогою робототехнологічних – інтенсифікаторів.

Ключові слова: імпульсне бігуче поле, віброфлокулярне середовище, частинка заліза, класифікація, сепарація, оптимізація, комплекс робототехнологічний.

Khorolska T.V. Modeling of processes of particle separation by magnetic susceptibility and density for the creation of robotized complexes

Considered the models and analytical dependences describing the process of magnetic separation of particles in the working area of the inductor of the robotized technological complex - intensifier. Laboratory tests for determining the amplitude of vibration of the magnetic particles constituting the ferromagnetic flocculi and affected by varieties of a traveling electromagnetic fields, proved that the maximum vibration occurs when the electromagnetic field induced by a three-phase system currents. The obtained results are promising for the use of the properties of pulse - vibrofloculli environment when designing robotized complexes of intensifiers, with the aim of obtaining concentrates with a mass fraction of iron to 69,5% and higher. Identified areas of use for pulse - vibrofloculli environment having a large magnetic permeability in relation to the extraction of iron through its interaction with gravitational and inertial fields. Proven the ability to perform, using pulse - vibrofloculli environment, separation of magnetic particles by the magnetic susceptibility as in the system of technological classification and separation in hydrocyclone with a traveling field, and in the processes of flotation to optimize the separation processes using robotized technology - intensifiers.

Keywords: a pulse traveling field, a particle of iron, classification, separation, optimization, robotized technology complex

УДК 621.3.029.4: 622.785

Filatov S.V., Zukov S.A., Girin I.V., Filatov A.S. Justification of parameters and technology of building quarry roads

Considered the technology of construction and profiling the new cross-profile of the quarry roads, set the parameters of the two-lane road depending on the width of the roadway. In addition, the diagram partially illustrates the possible reduction of overburden volumes by increasing the slope angle of the pit side. The new technology of construction of mining roads with concave profile, which help to reduce the consumption of fuel and lubricants, to increase the efficiency of heavy-haul trucks and complexity of maintenance, current repair, respectively increase the movement safety of career dump trucks and their rate stability as well as reduce the volume of overburden removal while spacing the pit walls. Hence, to solve the problem of mining and metallurgical complex, the economy and ecology of transport.

Keywords: new construction technology, a concave profile, the width of the roadway, the angle slope side of the pit, reducing volumes of overburden, the cost of transportation.

Філатов С. В., Жуков С.О., Гірін І.В., Філатов А.С. Обґрунтування параметрів та технологія будівництва кар'єрних автодоріг

Розглядається технологія будівництва і профілізації нового поперечного профілю кар'єрних автодоріг, задані параметри двопутної кар'єрної автодороги залежно від ширини проїжджої частини. Окрім цього схемний показано можливе зниження об'ємів вскрішних порід від збільшення кута укосу борту кар'єру. Запропонована нова технологія будівництва кар'єрних автодоріг з вогонутим поперечним профілем, яка допоможе понизити витрату паливно-мастильних матеріалів, підвищити ефективність роботи великовантажних кар'єрних автосамоскидів і трудомісткість технічного обслуговування, поточного ремонту, який тим самим підвищить безпеку руху кар'єрних автосамоскидів, і їх курсову стійкість, а також зменшить об'єм вскрішних робіт при рознесенні бортів кар'єру, а також підвищить безпеку руху кар'єрних автосамоскидів, і їх курсову стійкість, тим самим понизити собівартість транспортування великовантажними кар'єрними автосамоскидами, а також розв'язати проблему гірничо-металургійного комплексу, економіки і екології транспорту.

Ключові слова: нова технологія будівництва, увігнутий поперечний профіль, ширина проїжджої частини, кут укосу борту кар'єру, зниження об'ємів вскрішних порід, собівартість транспортування.

Філатов С. В., Жуков С.А., Гірін І.В., Філатов А.С. Обоснование параметров и технологии строительства карьерных автодорог

Рассматривается технология строительства и профилирования нового поперечного профиля карьерных автодорог, заданы параметры двопутной карьерной автодороги в зависимости от ширины проезжей части. Кроме этого схематично показано возможное снижение объемов вскрывных пород от увеличения угла откоса борта карьера. Предложена новая технология строительства карьерных автодорог с вогнутым поперечным профилем, которая поможет снизить расход горюче-смазочных материалов, повысит эффективность работы большегрузных карьерных автосамосвалов и трудоемкость технического обслуживания, текущего ремонта, который тем самым повысит безопасность движения карьерных автосамосвалов, и их курсовую стойкость, а также уменьшит объем вскрывных работ при разносе бортов карьера, а также повысит безопасность движения карьерных автосамосвалов, и их курсовую стойкость, тем самым снизит себестоимость транспортирования большегрузными карьерными автосамосвалами, а также решит проблему горно-металлургического комплекса, экономики и экологии транспорта.

Ключевые слова: новая технология строительства, вогнутый поперечный профиль, ширина проезжей части, угол откоса борта карьера, снижение объемов вскрывных пород, себестоимость транспортирования.

УДК 624.012.45

Валовой О.І., Срьоменко О.Ю., Валовой М.О. Тенденції розвитку методів розрахунку залізобетонних конструкцій
Нові нормативні документи зобов'язують проводити проектування конструкцій на основі нелінійної деформаційної моделі. Деформаційні моделі, покладені в основу розрахунку, більш точно відображають фактичну роботу елементів під навантаженням, але, водночас, значно ускладнюють розрахунок. Проектування, навіть нескладних елементів, перетворюється на доволі трудомісткий процес або потребує використання спеціальних обчислювальних комплексів. У той же час, методики розрахунку на міцність та жорсткість наведено у відміненому СНiП характеризуються, відносно простотою але також мали значні недоліки.

У зв'язку з викладеним, є порівняння результатів розрахунку залізобетонного елемента за діючими до недавня та теперішніми нормами, а також європейськими нормами з фактичними показниками його міцності, отриманими експериментально.

Проведене порівняння експериментальних результатів випробування підсиленої залізобетонної балки з розрахунковими значеннями (за чинними і європейськими нормами та за деформаційним методом).

Валовой А.И., Еременко А.Ю., Валовой М.А. Тенденции развития методов расчета железобетонных конструкций
Новые нормативные документы обязывают проводить проектирования конструкций на основе нелинейной деформационные модели. Деформационные модели, положенные в основу расчета, более точно отражают фактическую работу элементов под нагрузкой, но в то же время значительно усложняют расчет. Проектирование, даже несложных элементов, превращается в довольно трудоемкий процесс или требует использования специальных вычислительных комплексов. В то же время, методики расчета на прочность и жесткость приведены в отмененном СНiП характеризуются, относительной простотой, но также имели значительные недостатки.

В связи с изложенным есть сравнение результатов расчета железобетонного элемента по действующим до недавнего и нынешними нормами, а также европейскими нормами с фактическими показателями его прочности, полученными экспериментально.

Проведено сравнение экспериментальных результатов испытания усиленной железобетонной балки с расчетными значениями (по действующим и европейскими нормами и с деформационным методом).

Valovoy O.I., Eremenko O.Yu , Valovoy M.O. Trends in the development of calculation methods in the reinforced concrete structures

New regulations require to conduct construction planning on the basis of nonlinear deformation model. Deformation model underlying the calculation more accurately reflect the actual work elements under load, but at the same time, greatly complicate the calculation. Design of even simple items turns into a rather time-consuming process or requires the use of special computer systems. At the same time, methods of calculation for strength and stiffness given in the repealed SNiP characterized by relative simplicity, but also had significant weaknesses. In view of the above there is a comparison of the calculation results of the reinforced concrete element applicable to recent and the current regulations as well as European standards with actual performance, its strength, obtained experimentally. A comparison of the experimental test results of reinforced concrete beams with the calculated values (according to the current European norms and with a deformation method).

УДК 62-83

Литвинов О.В. До проблеми використання автономної мінівітрової електростанції для виробництва електричної енергії в підземних умовах залізрудних шахт

Для реалізації оптимально можливої ефективності функціонування електромеханічного комплексу вітроенергетичної установки обґрунтована та пропонується для практичної реалізації її конструкція. Розроблено структуру електромеханічної частини вітроенергетичного комплексу і система управління ним з прогнозованим потенціалом надійності і якості електропостачання споживачів електричної енергії підземних виробок залізрудних шахт. Теоретичні аспекти підтверджено експериментальними дослідженнями. Проаналізовано можливість і специфіка роботи вітроенергетичного комплексу в умовах діючих гірничих підземних виробок залізрудних шахт. Розроблено структуру електромеханічної частини вітроенергетичного комплексу і система управління ним з прогнозованим потенціалом надійності й якості електропостачання споживачів. Доведено економічну ефективність застосування вітроенергетичної установки в умовах підземних виробок залізрудних шахт.

Ключові слова: вітроенергетична установка, енергетичний комплекс, поновлювані джерела енергії, залізрудні шахти.

Литвинов О.В. К проблеме использования автономной миниветровой электростанции для производства электрической энергии в подземных условиях железорудных шахт

Для реализации оптимально возможной эффективности функционирования электромеханического комплекса ветроэнергетической установки обоснована и предлагается для практической реализации ее конструкция. Разработана структура электромеханической части ветроэнергетического комплекса и система управления им с прогнозируемым потенциалом надежности и качества электроснабжения потребителей электрической энергии подземных выработок железорудных шахт. Теоретические аспекты подтверждено экспериментальными исследованиями. Проанализирована возможность и специфика работы ветроэнергетического комплекса в условиях действующих горных подземных выработок железорудных шахт. Разработана структура электромеханической части ветроэнергетического комплекса и система управления им с прогнозируемым потенциалом надежности и качества электроснабжения потребителей. Доказана экономическая эффективность применения ветроэнергетической установки в условиях подземных выработок железорудных шахт.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, энергетический комплекс, возобновляемые источники энергии, железорудные шахты.

Litvinov O.V. The problem of using autonomous mini-wind power station for production of electricity in the underground iron ore mines

In order to realize the best possible functioning efficiency of the electromechanical complex wind power plant is justified and proposed for the practical implementation of its construction. Designed the structure of electromechanical part of wind-power complex and control system with projected electricity supply reliability and quality of potential consumers of electricity in the underground iron ore mines. Theoretical aspects confirmed by experimental studies. Analyzed the possibility and specifics of wind power complex in conditions of active mining and underground mining iron ore mines. Designed the structure of electromechanical part of the wind power complex and control systems with projected capacity of reliability and quality of electricity supply for consumers. Proved the economic efficiency of wind power installations in the conditions of underground workings iron ore mines.

Key words: wind power plant, energy complex, renewable energy, iron ore mines.

УДК 622.72: 622.341

Азарян В.А., Серебренников В.М. Исследование влияния дискретности измерения содержания полезного компонента на показатели прибыли горнообогатительного комбината

Стабилизация качества в рудопотоках карьеров невозможна без получения достоверной информации о содержании полезного компонента в каждом забое карьера. Качество руды из забоев предопределяет качество рудопотока, который является сырьевой основой для обогатительного производства. От качества рудопотока напрямую зависит качество концентрата, являющегося конечным продуктом ГОКа. Таким образом, существует взаимосвязь между дискретностью опробования забоев карьера, дающим информацию о качестве железорудного сырья и показателями прибыли ГОКа. В статье рассмотрена математическая модель процесса опробования забоев карьера при формировании рудопотока. По данным ПАО «Полтавский ГОК» был рассмотрен пример с применением методов спектрального анализа. В результате была оценена потеря информации о содержании полезного компонента как функция дискретности опробования, что привело к снижению прибыли ГОКа. По итогам исследований были даны рекомендации по выбору оптимальных дискретностей опробования забоев карьера при формировании рудопотока.

Ключевые слова: рудопоток карьера, опробование забоев карьера, дискретность опробования, содержание полезного компонента, потеря информации, спектральный анализ

Азарян В. А., Серебренников В. М. Дослідження вплив дискретності виміру змісту корисного компонента на показники прибутку гірничо-збагачувального комбінату

Стабілізація якості в рудопотоках кар'єрів неможлива без отримання достовірної інформації про вміст корисного компонента в кожному забої кар'єру. Якість руди з забоїв зумовлює якість рудопотока, який є сировинною основою для збагачувального виробництва. Від якості рудопотока безпосередньо залежить якість концентрату, що є кінцевим продуктом гірничо-збагачувального комбінату. Таким чином існує взаємозв'язок між періодом випробування вибоїв кар'єра, що дає достовірну інформацію про якість залізорудної сировини і показником прибутку комбінату. У статті розглянута математична модель процесу опробування забоїв кар'єра при формуванні рудопотока. За даними ПАТ «Полтавський ГЗК» було розглянуто приклад із застосуванням автоковаріаційних функцій. В результаті були побудовані графіки втрати інформації про вміст корисного компонента як функції від періоду опробування, а також зниження прибутку від збільшення періоду опробування. За підсумками досліджень було надано рекомендації щодо можливої мінімізації періоду випробування.

Ключові слова: рудопоток кар'єра, опробування забоїв кар'єра, період опробування, вміст корисного компонента, втрата інформації, графік автоковаріаційної функції.

Azaryan V.A., Serebrennikov V.M. Investigation of the influence of discrete measurement of the useful component in the ore processing plant performance gains

Stabilization of quality in the production intensity of pits is not possible without obtaining accurate information about the content of useful component in each of the mine pit. The quality of the ore from the mine determines the quality of the ore-flow, which is the raw material base for processing industry. The quality of the ore-flow directly affects the quality of the concentrate, which is the end product of the plant. Thus, there is a relationship between the discrete sampling of the stopes career, informing about the quality of iron ore, and indicators of the mining profits. Discussed the mathematical model of the testing process of the career during the formation of the ore-flow. According to the "Poltava Mining Enterprise" was considered an example of using the methods of spectral analysis. In the results was evaluated the loss of information on mineral content as a function of the discreteness of sampling, which led to lower profit Mining. According to the results of researches were given recommendations for the choice of optimal sampling discrete careers during the formation of the ore-flow.

Keywords: ore-flow careers, testing career, the discrete sampling, the content of the useful component, loss of data, spectral analysis.

УДК 622.725: 681.518.52

Зубкевич В.Ю. Теоретические основы систем термографического контроля и сепарации минерального сырья

Рассмотрены вопросы определения аналитических зависимостей эффектов взаимодействия сверхвысокочастотного излучения с минеральным веществом с учетом резонансных явлений (релаксаций) молекул и атомов при изменении частотных параметров возбуждающего сверхвысокочастотного излучения и определения параметров, влияющих на термодинамический сверхвысокочастотный фактор данного вещества с использованием теории Дебая и представленный о комплексной диэлектрической проницаемости.

Приводится формализации зависимостей величин термодинамических эффектов взаимодействия высокоэнергетического сверхвысокочастотного электромагнитного излучения с минеральным веществом с целью идентификации качественных характеристик последнего. Это обеспечивает создание информационного обеспечения для оперативного прогнозирования показателей технологических процессов добычи и переработки минерального сырья и может стать альтернативой периодически проводимого аналитического исследования контролируемых технологических потоков.

Определены зависимости и параметры эффектов взаимодействия электромагнитного поля на минеральное вещество от его физических электрических и термодинамических свойств и параметров возбуждающего электромагнитного излучения

Полученные результаты предназначены для использования в системах термографического контроля и сепарации минерального сырья и техногенных отходов и создания ряд способов термографической многофакторной сепарации. Ключевые слова: релаксация; комплексная диэлектрическая проницаемость; оперативное прогнозирование; минеральное сырье; термодинамический эффект; сверхвысокочастотное излучение; качество; контроль; сепарация.

Зубкевич В. Ю. Теоретичні основи систем термографічного контролю і сепарації мінеральної сировини

У статті розглянуті питання визначення аналітичних залежностей ефектів взаємодії надвисокочастотного випромінювання з мінеральною речовиною з урахуванням резонансних явищ (релаксації) молекул і атомів при зміні частотних параметрів збуджуючого надвисокочастотного випромінювання і визначення параметрів, що впливають на термодинамічний надвисокочастотний чинник цієї речовини з використанням теорії Дебая і уявлень про комплексну діелектричну проникність.

Наводиться формалізація залежностей величин термодинамічних ефектів взаємодії високоенергетичного надвисокочастотного електромагнітного випромінювання з мінеральною речовиною з метою ідентифікації якісних характеристик останньої. Це забезпечує створення інформаційного забезпечення для оперативного прогнозування показників технологічних процесів видобутку та переробки мінеральної сировини і може стати альтернативою аналітичного дослідження контрольованих технологічних потоків, що періодично проводиться.

Визначені залежності і параметри ефектів взаємодії електромагнітного поля на мінеральну речовину від її фізичних електричних і термодинамічних властивостей і параметрів збуджуючого електромагнітного випромінювання

Отримані результати призначені для використання в системах термографічного контролю і сепарації мінеральної сировини і техногенних відходів та створення ряд способів термографічної багатофакторної сепарації.

Ключові слова: релаксація; комплексна діелектрична проникність; оперативне прогнозування; мінеральна сировина; термодинамічний ефект; надвисокочастотне випромінювання; якість; контроль; сепарація.

Zubkevich V. Ju The theoretical basis of thermographic control system and separation of mineral raw materials
 Considered the questions of definition of analytical dependences of the effect of microwave radiation interaction with the mineral substance considering resonance phenomena (relaxation) of molecules and atoms while changing frequency parameters of the excitation microwave radiation and determination of the parameters affecting microwave thermodynamic factor of the substance using the theory of Debye and idea of complex permittivity. Provided a formalization of the dependencies of the thermodynamic effects values of the interaction of high-energy microwave electromagnetic radiation with the mineral substance with a view to identifying quality characteristics. This ensures the creation of an information system for operational forecasting of technological processes parameters of extraction and processing of mineral raw materials and can be as an alternative periodic analytical studies of a controlled flow. Determined the dependences and the parameters of the interaction of the electromagnetic field to the mineral substance from its physical electric and thermodynamic properties and parameters of the excitation electromagnetic radiation. The obtained results are intended for use in the thermographic systems of control and separation of mineral raw materials and technogenic waste and create a number of thermographic methods of multivariate separation.

Key words: relaxation; complex dielectric permittivity; operational forecasting; mineral raw materials; thermodynamic effects; microwave radiation; quality; control; separation.

УДК 622.83

Паламар А.Ю., Сизова Т.Д. Аналіз методів спостереження за геомеханічними процесами в крупних гірничовидобувних регіонах

Наведено основні методи спостережень за геомеханічними процесами в крупних гірничовидобувних регіонах. Виконано аналіз існуючих методів спостереження: натурні маркшейдерські інструментальні спостереження, лабораторні дослідження, теоретичні дослідження та нівелювання III класу. Визначено основні переваги та недоліки вище вказаних методів, в результаті чого було обрано найбільш ефективний метод та метод, що потребує найбільших витрат. Було виконано нівелювання III класу на пунктах хвостосховища ПАТ «ПівніГЗК» та отримано значення створів, за результатами яких були побудовані графіки. Проведено аналіз результатів спостережень і виявлено, що контроль за геомеханічними процесами ведеться безперервно. Розглянуто волоконно-оптичний метод спостережень за геомеханічними процесами, за допомогою якого можна отримати високу точність 1-2 мкм, при цьому відносно невеликі витрати на обладнання та можливість спостережень на будь-якій глибині. Висока чутливість волоконно-оптичної системи до зсувів гірських порід дозволяє підвищити надійність і точність вимірювання вертикальних і горизонтальних зміщень гірських порід у зсуві, зміщення вимірюють одноподобно на одному переносному приладі і безконтактно. У результаті аналізу було визначено, що найбільш ефективним та вигідним є волоконно-оптичний метод спостережень за геомеханічними процесами.

Ключові слова: геомеханічні процеси, зсуви, методи спостереження, волоконно-оптичний метод, натурні спостереження, хвостосховища, нівелювання, деформування відкосів, створи, борти кар'єрів.

Паламар А.Ю., Сизова Т.Д. Анализ методов наблюдений за геомеханическими процессами в крупных горнодобывающих регионах

Приведены основные методы наблюдений за геомеханическими процессами в крупных горнодобывающих регионах. Выполнен анализ существующих методов наблюдения: натурные маркшейдерские инструментальные наблюдения, лабораторные исследования, теоретические исследования и нивелирование III класса. Определены основные преимущества и недостатки вышеуказанных методов, в результате чего был избран наиболее эффективный метод и метод, требующий наибольших затрат. Было выполнено нивелирование III класса на пунктах хвостохранилища ОАО «СевГОК» и получено значение створов, по результатам которых были построены графики. Проведен анализ результатов наблюдений и обнаружено, что контроль за геомеханическими процессами ведется непрерывно. Рассмотрен волоконно-оптический метод наблюдений за геомеханическими процессами, с помощью которого можно получить высокую точность 1-2 мкм, при этом относительно небольшие затраты на оборудование и возможность наблюдений на любой глубине. Высокая чувствительность волоконно-оптической системы в оползне горных пород позволяет повысить надежность и точность измерения вертикальных и горизонтальных смещений горных пород, смещение измеряют однообразно на одном переносном приборе и бесконтактно. В горизонтальных смещений горных пород, смещение измеряют однообразно на одном переносном приборе и бесконтактно. В результате анализа было определено, что наиболее эффективным и выгодным является волоконно-оптический метод наблюдений за геомеханическими процессами

Ключевые слова: геомеханические процессы, оползни, методы наблюдения, волоконно-оптический метод, натурные наблюдения, хвостохранилища, нивелирование, деформирование откосов, створы, борта карьеров.

Palamar A. Yu., Sizova T.D. Analysis of observation methods of geomechanical processes in large mining regions

Carried out the basic observation methods of geomechanical processes in large mining regions. Analyzed the existing observation methods: natural surveying instrumental observations, laboratory studies, theoretical studies and III- class leveling. Identified the main advantages and disadvantages of the above-mentioned methods, as a result was elected the most effective method and the method that requires the highest cost. Performed the III-class leveling in the areas of tailings of a private enterprise "Northern Mining" and obtained the value of alignment, the results of which were demonstrated graphically. Discussed the results of observations and discovered that the control on geomechanical processes is carried out continuously.

Considered the fiber-optical observation method of geomechanical processes by which it is possible to obtain high accuracy 1-2 μm , with relatively low expenses for equipment and observations at any depth. The high sensitivity of the fiber-optic system in a landslide of rocks allows to increase the reliability and accuracy of measuring vertical and horizontal displacements of rocks, displacement measure uniformly on a single portable device and contactless. As a result of analysis, it was determined that the most effective and beneficial is the fiber-optical observation method of geomechanical processes.

Key words: geomechanical processes, landslides, observation methods, fiber-optical method, natural observation, tailing dumps, the leveling, the deformation of slopes, cross-sections, the sides of the pits.

УДК 622.1: 528.02

Назаренко Н.В. Современные подходы и решения для маркшейдерских служб горных предприятий на базе комплекса маркшейдерского обеспечения ГИС K-MINE

В работе обоснована актуальность использования комплекса маркшейдерского обеспечения ГИС K-MINE. Освещаются вопросы использования современных аппаратно-программных средств, предназначенных для решения широкого круга задач маркшейдерских служб горных предприятий с открытым и подземным способами добычи, на примере использования данной системы. Описана ее функциональность, возможность применения методов лазерного сканирования, автоматизации камеральной обработки маркшейдерских съемок. Описаны регулярно выполняемые функции (обработка съемок, камеральная обработка полевых измерений, подсчет объемов, построение разрезов, профилей и пр.), а также функции, которые используются в зависимости от производственной ситуации. В статье также рассмотрены готовые технические решения применения комплекса маркшейдерского обеспечения ГИС K-MINE в современных условиях горного производства. Рассмотрены вопросы взаимодействия K-MINE с современными электронно-измерительными приборами и новыми технологиями маркшейдерской съемки. Показано, что эффективность работы комплекса маркшейдерского обеспечения подтверждена многолетним успешным опытом его использования на предприятиях Украины, в странах ближнего и дальнего зарубежья, а также в научно-исследовательских и специальных организациях, выполняющих геодезическую съемку территорий, объектов промышленного и гражданского строительства, высших учебных заведениях, а также органах государственного контроля и надзора.

Назаренко Н.В. Сучасні підходи і рішення для маркшейдерських служб гірничих підприємств на базі комплексу маркшейдерського забезпечення ГИС K-MINE

Обгрунтовано актуальність використання комплексу маркшейдерського забезпечення ГИС K-MINE. Освітлюються питання використання сучасних аппаратно-програмних засобів, призначених для вирішення широкого круга завдань маркшейдерських служб гірських підприємств з відкритим і підземним способами добування, на прикладі використання цієї системи. Описано її функціональність, можливість застосування методів лазерного сканування, автоматизації камеральної обробки маркшейдерських зйомок. Описано регулярно виконувані функції (обробка зйомок, камеральна обробка польових вимірів, підрахунок об'ємів, побудова розрізів, профілів і ін.), а також функції, які використовуються залежно від виробничої ситуації. У статті також розглянуті готові технічні рішення застосування комплексу маркшейдерського забезпечення ГИС K-MINE в сучасних умовах гірського виробництва. Розглянуто питання взаємодії K-MINE з сучасними електронно-вимірювальними приладами і новими технологіями маркшейдерської зйомки. Показано, що ефективність роботи комплексу маркшейдерського забезпечення підтверджена багаторічним успішним досвідом його використання на підприємствах України, в країнах Ближнього і Дальнього зарубіжжя, а також в науково-дослідних і спеціальних організаціях, що виконують геодезичну зйомку територій, об'єктів промислового і цивільного будівництва, вищих навчальних закладах, а також органах державного контролю і нагляду.

Nazarenko N.V. Modern approaches and solutions for mine surveying services at mining enterprises on the basis of complex survey software geoinformation systems(GIS) K-MINE

The work proves the relevance of using complex survey software GIS K-MINE. It covers the issues of use of modern hardware and software tools designed to solve a wide range of tasks of surveying services for mining companies with open pit and underground mining methods on the example of the use of this system. Described its functionality, the possibility application of laser scanning method, automation of post-processing surveying surveys. Described the regularly performed functions (processing surveys, laboratory processing of field measurements, estimation of quantities, construction of sections, profiles, etc.), as well as the functions that are used depending on the production situation. The article also describes the use of ready technical solutions for complex survey software GIS K-MINE in modern conditions of mining production. Considered the questions of interaction of the K-MINE with modern electronic measuring instruments and new technologies in surveying. It is shown that the efficiency of surveying maintenance of the complex is confirmed by many years of successful experience in its use at the enterprises of Ukraine, CIS and other foreign countries, as well as in research and specialized organizations that perform surveying areas of industrial and civil construction, higher education, as well as organs of state control and supervision.

Збірник наукових праць

В і с н и к

Криворізького національного університету

Випуск 40

Редактор, коректор
Комп'ютерний набір, верстка

Кривенко Т.А., Наумова Н.В.
Самойлюк О.Г.

Здано в набір 21.03.15. Підписано до друку 27.05.15 за рекомендацією Вченої Ради
ДВНЗ «Криворізький національний університет», протокол № 9.
Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 24 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»
2015. Вип. 40, С. 3-200.