

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ "Криворізький національний університет"

ГІРНИЧИЙ ВІСНИК

Науково-технічний збірник

Заснований у 1966 році

Випуск 100

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.; **Андрєєв Б. М.**, д-р техн. наук, проф.; **Бережний М. М.**, д-р техн. наук, проф.; **Блізнюков В. Г.**, д-р техн. наук, проф.; **Губін Г. В.**, д-р техн. наук, проф.; **Гурін А. О.**, д-р техн. наук, проф.; **Євтєхов В. Д.**, д-р геол.-мінерал. наук, проф.; **Жуков С. О.**, д-р техн. наук, проф.; **Моркун В. С.**, д-р техн. наук, проф.; **Ковальчук В. А.**, д-р техн. наук, проф.; **Перегудов В. В.**, д-р техн. наук, проф.; **Рудь Ю. С.**, д-р техн. наук, проф.; **Сидоренко В. Д.**, д-р техн. наук, проф.; **Толмачов С. Т.**, д-р техн. наук, проф.; **Федоренко П. Й.**, 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 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 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.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Криворізький національний університет»
Гірничий вісник
Науково-технічний збірник

Заснований у 1966 р.

Кривий Ріг

Випуск 100, 2015

Зміст

<i>Вилкул Ю.Г., Слободянюк В.К., Максимов И.И.</i> Оптимизация технологических параметров циклично-поточной технологии в глубоких карьерах	3
<i>Саженьєв С.В., Шапурін О.В., Швець Є.М.</i> Аналіз взаємодії зарядів за умов застосування різних схем монтажу вибухових мереж	8
<i>Левицкий А.П.</i> Методы управляемого фракционирования взрываеомой горной массы на карьерах	12
<i>Кучерявенко І.А., Чухарєв С.М.</i> Високопродуктивна система підземної розробки магнетитових кварцитів із застосуванням самохідної гірничої техніки	16
<i>Тищенко С.В., Еременко Г.И., Малых Д.Ю.</i> Временные параметры взаимодействия скважинных зарядов и энергетические характеристики процесса взрывного разрушения	22
<i>Калініченко О.В.</i> Удосконалення концепцій системного управління процесами підземних гірничих робіт з урахуванням впливу на них напружено-деформованого стану гірського масиву	27
<i>Повар С.В.</i> Ентропія, характеристичні функції та TS-діаграма термодинамічного процесу (конкретизація, унаочнення)	31
<i>Малашевський М.А.</i> Оподаткування земельних ділянок майданчиків біля закладів громадського харчування на прикладі міста Києва	37
<i>Поддубный Н.Н., Шашенко А.Н., Жуков С.А.</i> Разработка и экспериментальная оценка эффективности новых составов набрызг-бетона	42
<i>Білецький В.С., Сергєєв П.В.</i> Мікроскопія комплексів «вугілля-реагент»	48
<i>Кондратець В.О., Мацуї А.М.</i> Теоретичне дослідження активного і пасивного сканування поверхні відкритих матеріальних потоків	52
<i>Азарян В.А.</i> Исследование влияния качества рудопотока железорудного карьера на прибыль горнообогатительного комбината	58
<i>Бровко Д.В., Хворост В.В.</i> Вероятностный подход при независимом многоступенчатом поступлении сигналов о дефектах элементов промышленных объектов на поверхности шахт	62
<i>Голик В.И., Комащенко В.И., Моркун В.С., Ляшенко В.И.</i> Повышение полноты использования недр с учетом напряжений при комбинированной разработке месторождений	68
<i>Жуков С.О., Кальчук С.В.</i> Аналітична модель процесу пасирування блоків каменю шпуровими методами в субдинамічному режимі навантаження	75
<i>Головко В.И., Рыбальченко М.А., Селегей А.Н.</i> Определение геометрических параметров доз шихтовых материалов с целью определения их секундных объемов	79
<i>Тронь В. В., Гуляєва Ю. В.</i> Оптимальне і модальне керування стадією збагачення технологічних різновидів залізорудної сировини	83
<i>Голышев А.А.</i> Определение оптимальных параметров работы бортового отсоса с передувкой	88
<i>Трачук А.А.</i> Анализ способов обогащения кусковых гематитовых руд Кривбасса	92
<i>Орловський В.М.</i> Термостійкі тампонажні матеріали	96
<i>Булах О.В., Хміль І.В., Булах О.О.</i> Тонке грохочення як перспективний метод підвищення ефективності збагачення магнетитових кварцитів	102
<i>Олійник Т.А., Макачова А.І.</i> Розробка технології комплексного збагачення біотит-гранатових гнейсів Завалівського родовища	105
<i>Шолох М.В.</i> Моделювання процесів формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині рудного потоку	111
<i>Стріха В.А., Жуков С.О., Наумова М.О.</i> Аналіз і удосконалення технологічних процесів й інформаційного супроводу видобування та зневоднювання паливного торфу	116
<i>Воротеляк Е.А., Коломіц Г.В., Кузьменко А.С.</i> Питання післяремонтної експлуатації глибокопазного асинхронного двигуна	121
<i>Артамонова Д.А., Дубровский С.С.</i> Расчет линейных размерных цепей, нагруженных ударным импульсом	125
<i>Файштейн В.Г., Пироженко А.В.</i> Лабораторный стенд для улучшения практических навыков при подготовке специалистов в области электропривода	128
<i>Рудь Ю.С., Кучер В.Г., Белоножко В.Ю.</i> Выбор параметров системы автоматической оптимизации влажности агломерационной шихты	133
<i>Кондратенко М.М.</i> Математична модель пускових режимів стрічкового конвеєра для аналізу стану роликоопор і барабанів	137

<i>Герасимова К.В., Ткаченко.Г.І., Шепель А.А., Самойлюк О.А.</i> Дослідження впливу опору деформації на технологічні параметри процесу гарячої прокатки широких смуг	141
<i>Валовой О.І., Єрьоменко О.Ю., Валовой М.О.</i> Корозійна стійкість бетонів на заповнювачах з відходів металургійної промисловості	145
<i>Валовой О.І., Охрімчук В.Л.</i> Оцінка технічного стану протяжних кам'яних будівель в умовах сейсмонезпечних територій	150
<i>Рубан С.А.</i> Адаптивне прогнозує керування процесом термічної обробки обкотишів з оперативним оцінюванням параметрів процесу з використанням рекурсивного алгоритму найменших квадратів	154
<i>Паливода О.А., Жуков С.О.</i> Дослідження сумісної роботи оболонки та ядра трубобетонних елементів зі зміцненим осердям	160
<i>Анотації</i>	165

Ю.Г. ВИЛКУЛ, д-р техн.наук, проф.,
В.К. СЛОБОДЯНЮК, И.И. МАКСИМОВ, кандидаты техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ

Исследована зависимость технико-экономических показателей карьерного автотранспорта от количества и размещения перегрузочных пунктов в рабочей зоне карьера. Установлена аналитическая зависимость для определения оптимального количества перегрузочных пунктов при их равномерном расположении по длине и по высоте рабочей зоны. Исследованы особенности изменения основных технологических показателей работы карьерного автотранспорта в зависимости от количества дробильно-перегрузочных пунктов ЦПТ, производительности карьера и размеров рабочей зоны. Определены условия одновременного использования нескольких дробильно-перегрузочных пунктов, их основные технологические параметры, оптимальное количество пунктов по горизонтали и вертикали, оценена экономическая эффективность использования технологических схем с несколькими перегрузочными пунктами. Проведенными исследованиями установлено, что во всех случаях оптимизация количества перегрузочных пунктов и их увеличение приводит к уменьшению количества автосамосвалов на 50-60% по сравнению с вариантом использования одного перегрузочного пункта. Увеличение количества перегрузочных пунктов с одновременным снижением количества автосамосвалов повышает надежность работы карьерного транспорта. Оптимизация количества перегрузочных пунктов снижает требуемую производительность каждой дробильно-перегрузочной установки до 10-20 млн т/год. Использование мобильных дробильно-перегрузочных пунктов не замораживает запасы руды и не препятствует развитию рабочей зоны.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Эффективным способом стабилизации и снижения эксплуатационных затрат на открытую разработку железорудных месторождений является реконструкция транспортной схемы карьера. Реализация такого решения требует значительных капитальных затрат. В мировой практике открытой разработки сформировались требования, которым должна удовлетворять транспортная система глубокого карьера [1]. Наряду с надежностью оборудования, это способность транспортной схемы наилучшим образом адаптироваться под изменения горнотехнических условий разработки. Это достигается использованием в рабочей зоне карьера мобильных конвейерных систем и стационарных дробильно-перегрузочных пунктов. В то же время, при проектировании отечественных железорудных карьеров еще продолжают доминировать решения, реализованные в комплексах циклично-поточной технологии в 70-80-х годах прошлого столетия.

Основой этих решений является использование в карьере стационарных дробильно-перегрузочных пунктов. Продолжающееся увеличение глубины железорудных карьеров Кривбасса и соответствующее увеличение расстояния транспортирования автотранспортом горной массы из забоев на перегрузочные пункты ЦПТ снижают экономическую эффективность открытого способа разработки. Оценка целесообразности и условий одновременного использования нескольких дробильно-перегрузочных пунктов ЦПТ не получила должного отражения в теории горного дела.

Анализ последних исследований и публикаций. На большинстве железорудных карьеров Украины транспортирование горной массы осуществляется с применением циклично-поточной технологии [2-8]. Как правило, используются достаточно простые по топологии технологические схемы с одним стационарным дробильно-перегрузочным пунктом. При этом уменьшаются затраты на подъем горной массы на поверхность, но остаются значительными затраты на доставку горной массы автотранспортом до перегрузочного пункта. С увеличением глубины карьера и размеров рабочей зоны эти затраты возрастают.

В теории открытой разработки исследованы вопросы обоснования шага переноса перегрузочного пункта по глубине по мере понижения горных работ, но вопросы одновременного использования нескольких дробильно-перегрузочных пунктов исследованы в недостаточной степени.

Ранее авторами исследовался вопрос одновременного использования нескольких перегрузочных пунктов [9], располагаемых в пределах одного концентрационного горизонта. Была решена задача определения оптимального количества перегрузочных пунктов и основные технологические параметры.

Показано, что для широкого диапазона производительности карьера (10-40 млн т/год) ра-

ционально использовать три перегрузочных пункта. Дальнейшее увеличение количества дробильно-перегрузочных пунктов не приводит к существенному улучшению технико-экономических показателей. В работе [10] авторами разработана методика определения оптимального количества перегрузочных пунктов в глубоком карьере, как по вертикали, так и по горизонтали.

Постановка задач исследования. Целью работы является исследование зависимости технико-экономических показателей карьерного автотранспорта от количества и размещения перегрузочных пунктов в рабочей зоне карьера.

При выполнении работы решали следующие задачи:

установление аналитической зависимости для определения оптимального количества перегрузочных пунктов при их равномерном расположении по длине и по высоте рабочей зоны;

исследование особенностей изменения основных технологических показателей работы карьерного автотранспорта в зависимости от количества дробильно-перегрузочных пунктов ЦПТ, производительности карьера и размеров рабочей зоны.

Изложение материала и результаты. Основные положения методики определения оптимального количества перегрузочных пунктов рассмотрены в работе [10]. При этом основной целью являлось уменьшение общего количества затрат на доставку горной массы до основного конвейера.

$$Z = 0,001Q \left(C_A + \frac{A}{q \cdot T_A} \right) \left(\frac{l}{4n} + \frac{H}{4mi} \right) + 0,001C_k Qkd + \frac{C_o}{T_K} mnkd + \frac{C_D}{T_D} mn, \quad (1)$$

где C_A - себестоимость транспортирования горной массы автотранспортом, грн/ткм; A - стоимость одного автосамосвала, грн; q - годовая производительность автосамосвала, ткм/год; T_A - нормативный срок эксплуатации автосамосвала, лет; C_o - капитальные затраты на один погонный метр дополнительных конвейерных выработок (учитывает затраты на проходку, а также сооружение конвейера), грн/м; T_K - период эксплуатации вспомогательных конвейерных выработок, лет; C_k - себестоимость транспортирования горной массы конвейером, грн/ткм; T_D - период эксплуатации дробильно-перегрузочного пункта, лет; C_D - капитальные затраты на один дробильно-перегрузочный пункт, грн.

Определялось оптимальное количество перегрузочных пунктов по вертикали и горизонтали, при которых эти затраты минимизировались

$$n_o = l \times \sqrt[3]{0,001 \left(C_A + \frac{A}{q \cdot T_A} \right) \times i / 4 \left(\frac{C_o}{T_K} kd + \frac{C_D}{T_D} \right) \times \frac{Q}{Hl}}; \quad (2)$$

$$m_o = \frac{H}{i} \times \sqrt[3]{0,001 \left(C_A + \frac{A}{q \cdot T_A} \right) \times i / \left(\frac{C_o}{T_K} kd + \frac{C_D}{T_D} \right) \times \frac{Q}{Hl}}. \quad (3)$$

Общее количество перегрузочных пунктов равно

$$m_o n_o = \sqrt[3]{\left(0,001Q \left(C_A + \frac{A}{q \cdot T_A} \right) / \frac{C_o}{T_K} + \frac{C_D}{T_D} \right)^2 \cdot \frac{lH}{16(kd)^2 i}}. \quad (4)$$

Сомножители под кубическими корнями в формулах (2), (3) одинаковые и определяют некоторый коэффициент пропорциональности для значений m_o и n_o . Оптимальное количество перегрузочных пунктов по горизонтали пропорционально длине области горных работ, а по вертикали - пропорционально высоте области и обратно пропорционально уклону автомобильных трасс.

Поскольку ценовые и горно-геометрические параметры в формулах (2) и (3) входят под корнем кубическим, то даже значительные изменения одного из них приводят к незначительному изменению оптимального количества перегрузочных пунктов. Если любой из параметров или указанных выше дробей изменится на 30 %, то n_o и m_o изменятся только на 9 %. Даже при изменении одного из исходных параметров, например, производительности, в два раза, оптимальные значения n_o и m_o изменятся на 26 %.

На основе приведенных выше формул и полученных зависимостей построена экономико-

математическая модель. С ее помощью определялись оптимальное количество перегрузочных пунктов по горизонтали и вертикали, их общее количество, размеры и площадь отдельных зон, производительность одной дробильной установки, количество необходимых автосамосвалов, общий экономический эффект от оптимизации автомобильно-конвейерного транспорта. Моделировалось развитие горных работ в карьерах с глубиной рабочей зоны от 100 до 600 м и длиной от 1000 до 6000 м.

При небольших размерах рабочей зоны и производительности карьера оптимальным является использование одного перегрузочного пункта (например, при $H=100$ м, $L=1000$ м и производительности карьера менее 25 млн т/год). Во всех остальных случаях оптимальное количество дробильных установок увеличивается от 2 до 8 шт. При этом на увеличение количества перегрузочных пунктов одинаково влияет как рост глубины, так и длины рабочей зоны, что также следует из формулы (4), где L и H влияют в одинаковой степени.

Установлено, что при глубине карьера, превышающей 200 м, или протяженности рабочей зоны более 2000 м рационально использовать не менее двух перегрузочных пунктов.

Определяемое оптимальное количество перегрузочных пунктов целочисленное (округленное) при целом количестве концентрационных горизонтов и перегрузочных пунктов на каждом горизонте. Поэтому при $H=200$ м и $L=4000$ м определялось два концентрационных горизонта по два перегрузочных пункта (всего 4), а при увеличении длины рабочей зоны до 5000-6000 м как оптимальный определялся один горизонт с тремя перегрузочными пунктами (аналогичным образом объясняется непропорциональное увеличение количества перегрузочных пунктов с увеличением глубины и длины рабочей зоны).

Как видно из табл. 1, при производительности карьера 25 млн т/год всегда рационально использовать от 2 до 6 перегрузочных пунктов, что обеспечивает существенное снижение затрат на автотранспортные перевозки.

Таблица 1

Оптимальное количество перегрузочных пунктов для разной глубины и ширины рабочей зоны при годовой производительности карьера 25 млн т

Высота рабочей зоны, м	Длина рабочей зоны, м					
	1000	2000	3000	4000	5000	6000
100	2	2	3	3	4	4
200	2	4	4	4	3	3
300	3	2	4	4	4	6
400	4	3	6	4	4	6
500	4	3	3	6	6	4
600	5	4	3	6	6	6

Анализ табл. 2 показывает, что даже при производительности карьера 10 млн т/год в большинстве случаев является рациональным использование нескольких перегрузочных пунктов. Использование одного перегрузочного пункта рационально при небольшой глубине и длине рабочей зоны.

Таблица 2

Оптимальное количество перегрузочных пунктов для разной глубины и ширины рабочей зоны при годовой производительности карьера 10 млн т

Высота рабочей зоны, м	Длина рабочей зоны, м					
	1000	2000	3000	4000	5000	6000
100	1	1	2	2	3	3
200	2	1	1	2	2	2
300	2	2	2	2	2	2
400	3	2	2	2	4	4
500	3	3	2	2	4	4
600	3	3	3	2	2	4

Основной целью комбинированного карьерного транспорта является минимизация затрат на работу сборочного транспорта, обслуживающего экскаваторные забои в карьере. Проведенными исследованиями установлено, что во всех случаях оптимизация количества перегрузочных пунктов и их увеличение приводит к уменьшению количества автосамосвалов на 50-60 %

(в 2-2,5 раза) по сравнению с вариантом использования одного перегрузочного пункта, причем данное снижение наблюдается во всех рассмотренных вариантах примерно на одном уровне.

Увеличение количества перегрузочных пунктов с одновременным снижением количества автосамосвалов повышает надежность работы карьерного транспорта, снижает грузонапряженность карьерных дорог и непроизводительные потери времени при ожидании на перегрузочных пунктах.

Оптимизация количества перегрузочных пунктов позволяет значительно снизить производительность каждой дробильно-перегрузочной установки. При небольших размерах рабочей зоны и одном-двух перегрузочных пунктах их производительность составляет 25-30 млн т/год. При увеличении глубины рабочей зоны до 300 м и длины до 3000 м оптимальное количество пунктов увеличивается, а их производительность снижается до 15-20 млн т/год.

При дальнейшем увеличении размеров рабочей зоны производительность дробильно-перегрузочных пунктов снижается до 7-10 млн т/год.

Снижение требуемой производительности перегрузочного пункта позволяет их оборудовать щековыми дробилками крупного дробления, которые характеризуются небольшим весом и небольшими затратами на перемещение и обслуживание.

Использование при циклично-поточной технологии мобильных дробильно-перегрузочных пунктов не требует замораживания на десятилетия значительных запасов руды и не создает препятствий для развития рабочей зоны.

В качестве критерия оптимизации технологических схем использовался экономический эффект ($\Delta Z = Z_1 - Z_{m_0 n_0}$), равный разности суммарных затрат на доставку горной массы до магистрального конвейера при одной дробильной установке Z_1 и при оптимальном их количестве ($Z_{m_0 n_0}$).

При производительности карьера 25 млн т/год использование оптимального количества дробильно-перегрузочных пунктов снижает затраты на карьерный транспорт на 15-25 % при глубине рабочей зоны 200-300 м и длине 2000-3000 м и на 25-40 % при больших размерах рабочей зоны.

При производительности карьера 10 млн т/год снижение затрат на 10-17 % наблюдается при глубинах 300-400 м и длине рабочей зоны 3000-4000 м.

При увеличении производительности карьера до 40 млн т/год снижение затрат на карьерный транспорт составляет 25-30 % при глубине рабочей зоны 200-300 м и ее длине 2000-3000 м, и достигает 40-50 % при больших размерах рабочей зоны.

Рассмотрим характер изменения количества автосамосвала при оптимизации параметров ЦПТ в карьере производительностью 25 млн т/год, с глубиной рабочей зоны 400 м при изменении ее длины от 1500 до 4500 м (рис. 1).

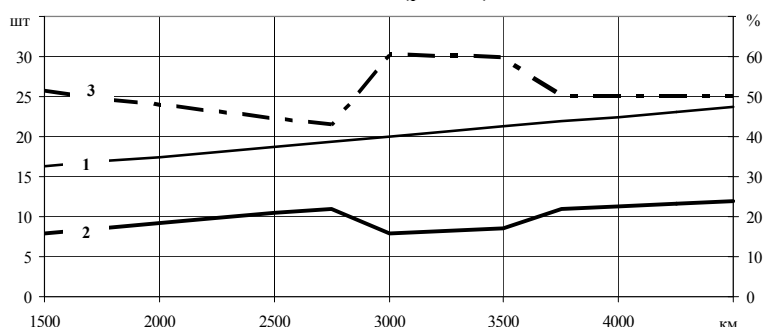


Рис. 1 Изменение количества автосамосвалов при разной длине рабочей зоны: 1 - при одном дробильно-перегрузочном пункте; 2 - при оптимальном их количестве; 3 - относительное уменьшение количества автосамосвалов при оптимизации количества перегрузочных пунктов, %

Анализ рис. 1 показывает, что при одном перегрузочном

пункте по мере увеличения длины рабочей зоны количество автосамосвалов пропорционально возрастает с 16 до 24 шт. При оптимизации количества дробильно-перегрузочных пунктов (их количество изменяется от 3 до 6) количество автосамосвалов изменяется в пределах от 8 до 12 шт.

При этом их относительное количество уменьшается на 50-60 %. В связи с тем, что оптимальное количество дробильно-перегрузочных пунктов округляется до целочисленного значе-

ния изменение их количества по вертикали и горизонтали неравномерное, что объясняет непропорциональное изменение графиков на рис. 1.

В рассмотренном случае необходимая производительность одной дробильно-перегрузочной установки изменяется от 4,2 до 8,2 млн т/год.

При проектировании схем вскрытия карьеров с большой производительностью на этапе предварительных исследований необходимо определять оптимальное количество перегрузочных пунктов и схему их перемещения по мере развития открытых горных работ.

Это позволит значительно снизить общие затраты на карьерный транспорт, уменьшить необходимое количество карьерных автосамосвалов и улучшить условия их работы.

Использование перемещаемых дробильно-перегрузочных пунктов позволяет улучшить режим горных работ и не требует зацеливания вскрытых запасов руды под объектами транспортных коммуникаций.

Выводы и направления дальнейших исследований. Выполненные исследования показали возможность значительного снижения затрат на автомобильно-конвейерный транспорт при оптимальном количестве нескольких нестационарных дробильно-перегрузочных пунктов. Результаты исследований могут быть использованы при реконструкции циклично-поточной технологии глубоких карьеров.

В дальнейших исследованиях необходимо обосновать конструкцию нестационарного дробильно-перегрузочного пункта и технологию горных работ с их одновременной эксплуатацией в рабочей зоне.

Список литературы

1. Surface Mining (2nd edition), Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Littleton, Colorado, 1990.
2. Перегрузочные пункты при автомобильно-конвейерном транспорте на рудных карьерах / **А.Г. Шапарь, В.Т. Лашко, С.М. Новожилов** и др. - Днепропетровск: Полиграфист, 2001. – 138с.
3. **Дриженко А.Ю., Козенко Г.В., Рыкус А.А.** Открытая разработка железных руд Украины: состояние и пути совершенствования / **А.Ю. Дриженко, Г.В. Козенко, А.А. Рыкус** // Днепропетровск: НГУ. Полтавский литератор. – 2009. – 452с.
4. **Яковлев В.Л.** Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / **В.Л. Яковлев.** // Новосибирск: Наука, 1989. - 238 с.
5. Высокопроизводительные глубокие карьеры / **М.Г. Новожилов, А.Ю. Дриженко, А.М. Маевский и др.;** Под ред. **М.Г.Новожилова.** - М: Недра, 1984. -188 с.
6. **Четверик М.С.** Вскрытие глубоких горизонтов карьеров при комбинированном транспорте / **М.С. Четверик** // К.: Наукова думка, 1986. - 186 с.
7. Вскрытие глубоких горизонтов карьеров / **А.Ю. Дриженко, В.П. Мартыненко, В.И. Симоненко** и др. - М.: Недра., 1994 -289 с.
8. **Мартыненко В.П.** Научное обоснование и разработка экологически ориентированных технологий горных работ на железорудных горно-обогатительных комбинатах: Дисс. д-ра техн. наук: 05.15.03 – Днепропетровск, 1999. – 344 с.
9. **Вилкул Ю.Г., Слободянюк В.К., Максимов И.И.** Исследование технологических схем циклично-поточной технологии с несколькими перегрузочными пунктами / **Ю.Г.Вилкул, В.К. Слободянюк, И.И. Максимов** // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг: КТУ, 2009.– Вип. 23. - С. 3-6.
10. **Вилкул Ю.Г., Слободянюк В.К., Максимов И.И.** Оптимизация количества перегрузочных пунктов циклично-поточной технологии при открытой разработке / **Ю.Г.Вилкул, В.К. Слободянюк, И.И. Максимов** // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг: КТУ, 2011. - Вип. 27. - С. 3-6.

Рукопис поступила в редакцию 15.03.15

С.В. САЖЕНЄВ, ПАТ «ПівніГЗК»,
О.В. ШАПУРІН, д-р техн. наук, проф., Є.М. ШВЕЦЬ, канд. техн. наук,
Криворізький національний університет

АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ ЗАРЯДІВ ЗА УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ СХЕМ МОНТАЖУ ВИБУХОВИХ МЕРЕЖ

У викладеному матеріалі пропонується новий підхід до ініціювання зарядів у вибуховому блоці у випадку необхідності збереження об'єкту, що охороняється розташованого поблизу укусу уступу. Розглядається поставлена задача методом аналізу хвильової та кидальної дії зарядів ВР і керування цією дією у напрямку досягнення двох результатів, які першочергово протирічать одне одному. А саме, зменшити ширину розвалу у напрямку укусу уступу, який підлягає руйнуванню і здолати завищені значення опору по підшві перед першим рядом свердловин. При цьому забезпечення якісної проробки завищеного опору по підшві перед першим рядом свердловин покращується за рахунок спрямованої хвильової дії зарядів ВР із глибини вибухового блоку в режимі додавання у напрямку до укусу уступу з інтервалом сповільнення між ними 25 мс. Одночасно з цим, для зменшення ширини розвалу виконується переорієнтація кидальної дії заряду у першому ряду свердловин, який підривається останнім, за рахунок встановлення між ним і попереднім йому зарядом у другому ряду свердловин інтервалу сповільнення 176 мс. Таке технічне рішення приводить до створення перед зарядом першого ряду нової вільної поверхні, яка є конкурентом вільній поверхні укусу уступу. Оскільки відстань до нової поверхні майже в двічі є меншою, ніж до реального укусу уступу, основна частина кидальної дії заряду у першому ряду свердловин переорієнтовується у напрямок раніше підірваного заряду у другому ряду.

Ключові слова: ряд свердловин, напрямок укусу уступу, ініціювання зарядів.

Проблема і її зв'язок з практичними задачами. Перевага систем неелектричного ініціювання під час уступної відбійки гірських порід у порівнянні з ініціюванням за допомогою ДШ безсумнівна, оскільки передбачає подачу ініціюючого імпульсу з нижньої частини заряду, а не з верхньої, чим збільшує час дії вибухових навантажень на масив, на той проміжок часу, доки детонація пройде по всій довжині заряду до забивочного матеріалу. Окрім того, розділення мережі ініціювання зарядів, на дві частини, поверхневу і внутрішню свердлову, унеможливорюючи підбої поверхневих мереж, оскільки заряди фактично спрацьовують через інтервали від 400 до 500 мс після відпрацювання поверхневих мереж - підбивати на поверхні нічого [1-5]. У той же час, в неелектричних системах ініціювання рекомендований порядок ініціювання зарядів на уступі такий: від свердловини першого ряду, біля укусу уступу і далі вглиб з метою створити вільний простір для розміщення зруйнованого матеріалу зарядами наступних серій. Такий порядок складає проблему захисту об'єктів, що охороняються біля укусу уступу, наприклад, автошляху, трансформаторної підстанції, пункту ЦПТ, тощо. В таких випадках нам треба зменшувати заряди ВР у першому й другому рядах свердловин, що в свою чергу погіршуватиме якість подрібнення гірських порід. Окрім того, перед першим рядом свердловин часто виникає збільшений опір по підшві, за якого зменшення маси заряду вкрай небажане.

Викладення матеріалів і результати. У Першотравневому кар'єрі ПівніГЗК виникла проблема збереження магістральної автодороги між якою і підірваним блоком був розташований крутий укіс. Зрозуміло, що велика частка вибухового розвалу від першого і другого рядів свердловин опиниться на автошляху. Виникло питання, як максимально зменшити цю частку розвалу, щоб роботи по її прибиранню мінімально зашкодили роботі кар'єру?

У вибуховому блоці № 85, гор. -160-175 м, 17.07.2015 р. було сім рядів свердловин паралельних верхній брівці уступу. Виникла ідея ініціювання зарядів із глибини вибухового блоку в напрямку укусу уступу в режимі додавання з інтервалами сповільнення 25 мс між ними з метою багаторазової дії на укусі. Коли ж черга дійде до свердловини у першому ряду, яка підриватиметься останньою у такій гілочці зарядів, то створити перед цим найближчим до укусу уступу зарядом інтервал сповільнення 176 мс. Таке технічне рішення приведе до того, що заряд розташований у другому ряду не просто направить у всі боки вибухову хвилю, він за 176 мс підніме вгору гірську породу, що його оточує. При цьому буде утворена нова вільна поверхня перед першим рядом свердловин. Ця нова вільна поверхня буде «конкурентом» реальному укусу уступу, який формує лінію опору по підшві перед першим рядом свердловин. Справа повертається так, що відстань від свердловини першого ряду буде набагато меншою до нової повер-

хні - конкурента, ніж у напрямку ЛОПП. Оскільки вибух завжди працює у напрямку найменшого опору, то роботу заряду у першому ряду буде переорієнтовано.

Кидальне зусилля заряду у першому ряду розподілиться на дві частини - у напрямку заряду у другому ряду, спрацьованого за 176 мс перед зарядом першого ряду, менша частина у напрямку ЛОПП. Слід при цьому згадати, що вибуховий імпульс по поверховій вибуховій мережі біля устя свердловини у другому ряду розповсюдився на два напрямки: один на дно заряду у другому ряду, де його чекає сповільнення 500 мс, другий до з'єднувального поверхневого блоку з інтервалом сповільнення 176 мс. Це приводить до того, що на момент спрацювання заряду у другому ряду, поверхнева вибухова мережа біля заряду у першому ряду і внутрішньосвердлова також, окрім бойовика на дні, будуть відпрацьовані, ця мережа не може бути пошкоджена спрацюванням заряду у другому ряду. Переорієнтація кидальної дії заряду у першому ряду буде пропорційною співвідношенню відстаней від нього до нової поверхні конкурента W_2 , і поверхні, що формує стандартну ЛОПП W_1 , отже $F_1 W_1 = F_2 W_2$.

Змоделюємо ситуацію. Якщо відстань між рядами свердловин (W_2), наприклад, дорівнює 6,5 м, а середньостатистичне значення $W_1 = 12,73$ м, то $F_2 = (F_1 \cdot 12,73 / 6,5) = F_1 \cdot 1,958$.

Отже, кидальне зусилля заряду першого ряду у напрямку заряду другого ряду буде майже вдвічі більшим, ніж у напрямку ЛОПП. Мета досягнута, ми зменшуємо частку розвалу, яка випаде на магістральну автодорогу, роботи з його прибирання мінімізуються. Необхідно досягнути мети, яка є завжди перед зарядом у першому ряду свердловин - якісне здолання ЛОПП. Виявляється, що в цьому напрямку у запропонованого способу вибухової відбійки є позитивні моменти. Імпульси вибуховими хвилями від зарядів у глибині блоку спрямовувались до укусу в режимі додавання.

Хвильова вибухова дія декількох зарядів із глибини блоку у напрямку реального укусу уступу, дещо компенсує переорієнтацію подальшої дії заряду у першого ряду у напрямку заряду у другому ряду. Мета знову ж таки досягається. Але треба проаналізувати ситуацію більш досконало для реальної оцінки дії зарядів, які з глибини блоку впливатимуть на реальний укіс уступу. Для цього виконаємо аналіз параметрів вибухових хвиль у просторі вибухового блоку.

Для виконання аналізу необхідно визначити параметри спрацювання окремого заряду застосовуваної ВР Емоніту - Н [6-11].

Швидкість детонації конденсованих ВР залежить від енергії та густини ВР і визначається рівнянням

$$V_o = \sqrt{2(n^2 - 1) \cdot Q'_v \cdot A \cdot q} = 91,5 \cdot \sqrt{(n^2 - 1) \cdot Q'_v} \quad (1)$$

звідки, коефіцієнт політропи

$$n = \sqrt{\frac{V_o^2}{(91,5)^2 \cdot Q'_v} + 1} \quad (2)$$

де Q'_v - питома теплота (енергія) вибуху, ккал/кг; A - механічний еквівалент теплоти, кгм/ккал; $q = 9,81$ м/с² - прискорення вільного падіння.

Швидкість руху продуктів вибуху (масова швидкість w , м/с) у площині Чепмена-Жуге, тобто в кінці реакції, обчислюється за формулою

$$w = (V_o / n + 1) \quad (3)$$

Тиск детонаційної хвилі в заряді на площині Чепмена-Жуге визначають за формулою

$$P_2 = \frac{V_o \cdot w \cdot \rho_o}{q} = \frac{\rho_o \cdot V_o^2}{q \cdot (n + 1)} \quad (4)$$

де ρ_o - початкова густина ВР, кг/см³.

Густина ВР в ударній смузі та густина вибухових продуктів на площині Чепмена-Жуге

$$\rho = \rho_o (n + 1/n) \quad (5)$$

Розрахунки за формулами (1-5) легко виконуються, якщо є експериментально встановлені значення V_o і ρ_o . Із значенням ρ_o все ніби то просто, бо у є місткість Емоніту - Н в 1 м свердловини - 64 кг/м. За умов, що діаметр заряду в породах Першотравневого кар'єру становить 0,254 м, запишемо

$$P = \frac{3,14 \cdot 0,254^2}{4} \cdot \rho_0 = 64 \text{ кг/м}, \text{ звідки } \rho_0 = \frac{64 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,254^2} = 1263,7 \text{ кг/м}^3$$

Задекларована [1] швидкість детонації Емоніту - Н у паперовій оболонці ($d=150$ мм) 4800-5200 м/с, а теплота вибуху 3270 кДж/кг (783 ккал/кг). Прийmemo середнє значення $V_0=5000$ м/с.

$$\text{Тоді } n = \sqrt{\frac{25 \cdot 10^6}{8372,25 \cdot 783}} + 1 = 2,194; \quad w = \frac{5000}{2,194 + 1} = 1565 \text{ м/с}; \quad P_2 = \frac{0,00126 \cdot 5000^2 \cdot 10^4}{3,194 \cdot 981} = 100533 \text{ кг/см}^2,$$

$$\text{тут } \rho_0 \text{ в кг/см}^3 \quad \rho_0 = \frac{1263,7}{1000000} = 0,00126 \text{ кг/см}^3.$$

$$\text{Тиск на фронті ударної хвилі } P_0 = 2P_2 = 201066 \text{ кг/см}^2. \text{ Густина вибухових газів у смузі реакції } \rho = 1,126 \cdot \frac{2,194 + 1}{2,194} = 1,64 \text{ г/см}^3.$$

Прийmemo довжину свердловин 17,5 м в уступі 15 м, а довжину заряду 12 м (1200 см). Тоді площа поверхні заряду із двома торцями становитиме

$$S_{\text{зар}} = \pi d_{\text{зар}} \cdot l + \frac{\pi d_{\text{зар}}^2}{2} = 3,14 \cdot 25,4 \cdot 1200 + \frac{3,14 \cdot 25,4^2}{2} = 96720 \text{ см}^2.$$

Саме на цю площу створюється тиск 100533 кг/см³ в процесі детонації ВР.

Розрахуємо площу вибухової хвилі на відстані 6,5 м (650 см), тобто на межі розташування сусіднього заряду, яка складається із циліндричної частини і двох півкуль у торцях $S_2 = 2\pi \cdot 650 \cdot 1200 + 4\pi \cdot 650^2 = 10205000 \text{ см}^2$. Тоді $(S_2/S_{\text{зар}}) \approx 105,5$ рази зменшується тиск на 1 см² площі хвилі на відстані 650 см від заряду, він дорівнюватиме $P_2 = (1005,33/105,5) = 952,9 \text{ кг/см}^2$.

Розрахуємо площу хвилі на відстані 13 м від спрацьованого заряду на відстані $2W_2$, тобто у третьому ряду $S_3 = 2\pi \cdot 1300 \cdot 1200 + 4\pi \cdot 1300^2 = 31023200 \text{ см}^2$. Ця величина буде набагато більшою за початкову площу заряду ВР, а саме у: $\frac{S_3}{S_{\text{зар}}} = \frac{31023200}{96720} = 321$ раз. Якщо спрацьований заряд

рахувати першим, тоді тиск на відстані 13 м від спрацьованого заряду, тобто у третьому ряду від нього, складе $P_4 = \frac{100533}{321} = 313 \text{ кг/см}^2$.

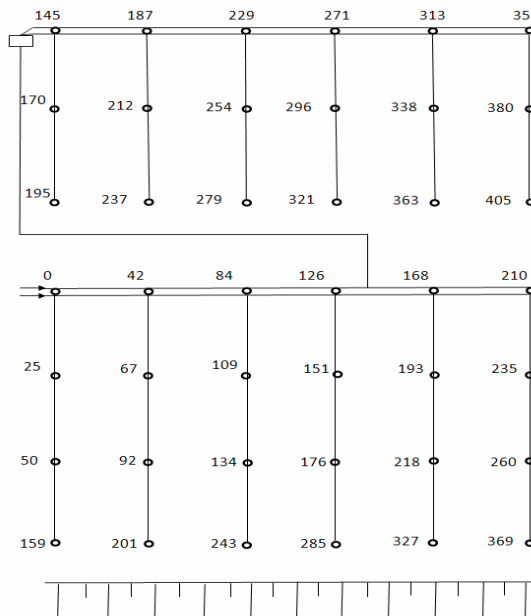


Рис. Ініціювання вибухового блоку двома групами рядів зарядів

Фактичний тиск буде меншим, бо хвиля по дорозі буде втрачати енергію на руйнування гірських порід. Більш точні розрахунки можна отримати лише експериментально.

Розрахуємо площі поверхні вибухових хвиль на відстанях 19,5 м (1952 см), 26 м (2600 см), тобто біля зарядів у четвертому і п'ятому рядах від спрацьованого.

$$S_4 = 2\pi \cdot 1950 \cdot 1200 + 4\pi \cdot 1950^2 = 62454600 \text{ см}^2;$$

$$S_5 = 2\pi \cdot 2600 \cdot 1200 + 4\pi \cdot 2600^2 = 104499200 \text{ см}^2,$$

$$\frac{S_4}{S_{\text{зар}}} = \frac{62454600}{96720} = 646 \text{ разів}, \quad \frac{S_5}{S_{\text{зар}}} = \frac{104499200}{96720} = 1080 \text{ разів}.$$

$$\text{Орієнтовний тиск } P_5 = \frac{100533}{646} = 155 \text{ кг/см}^2, \quad P_6 = \frac{100533}{1080} = 93 \text{ кг/см}^2$$

Як бачимо від заряду розташованому у глибині блоку у третьому ряду на укіс уступу буде діяти наступний питомий хвильовий тиск (313 кг/см^2), а від зарядів у четвертому і п'ятому рядах ще менший (155 кг/см^2 і 93 кг/см^2). Якщо взяти не питомий тиск, а інтегрально площу укусу уступу в зоні дії одного заряду (6,0 м по фронту укусу), то одержимо: для хвилі заряду в третьому ряду

$$(15 \times 1000 \times 100) = 900000 \text{ см}^2$$

$$\Sigma P_3 = 900000 \times 313 = 281700000 \text{ кг}$$

$$\text{Від заряду четвертого ряду } \Sigma P_4 = 900000 \times 155 = 139500000 \text{ кг}$$

$$\text{Від заряду у п'ятому ряду } \Sigma P_5 = 900000 \times 93 = 83700000 \text{ кг}$$

Слід зауважити, що наведені інтегральні навантаження діятимуть на укус не одночасно, а розвернуто у часі, коли вибухова хвиля, ковзаючись спілкується з ним.

Нами отримані загальні величини навантажень, які впливають на проробку підосви уступу. Навіть, якщо врахувати, що на шляху до укусу уступу хвилі втратили, наприклад, 15% енергії на утворення нових тріщин, хвильова дія буде дуже вагомою. Перші кроки в цьому напрямку зроблені дещо раніше [10-12]. Якщо у вибуховому блоці рядів свердлових зарядів більше, наприклад, сім, то можна підірвання починати як у експериментальному блоці із останнього ряду, а можна їх об'єднувати у групи рядів, (див. рис.).

Саме так, із останнього ряду було зроблено у вибуховому блоці №85 горизонті -160/-175 м, підірваному 17.07.2015 р., нижче якого була розташована магістральна автодорога. В цьому конкретному випадку на дорогу попало менше третини тих обсягів гірських порід, які звичайно на неї попадали. Рух транспорту було відновлено протягом трьох годин.

Висновки. Для випадків виконання робіт, які передбачають необхідність збереження об'єкту, що охороняється, розташованого поблизу укусу уступу від зайвого розльоту кусків порід під час вибуху, запропоновано застосування інтервалів сповільнень 176 мс для свердловин розташованих у першому ряду. При цьому ініціювання зарядів розпочинається із глибини блоку, з можливістю формування рядів зарядів у групи (див. рис.).

Список літератури

1. Инструкция по эксплуатации системы "Нонель" / Шведский институт испытаний и исследований, 1998. – 55 с.
2. Друкований М.Ф. Справочник по буровзрывным работам / М.Ф. Друкований, Л.В. Дубнова, Э.О. Миндели // М.: Недра, 1979.-631 с.
3. Купрін В.П. Розробка і впровадження емульсійних вибухових речовин на кар'єрах України / В.П. Купрін, І.Л. Коваленко // Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2012.-243 с.
4. Шапурін О.В. Промислове впровадження диференційованого енергонасичення гірських порід при підірванні / О.В. Шапурін, А.А. Скачков // Вісник КНУ, 2012. – Кривий Ріг.-Вип. 33, с. 238-240.
5. Шапурін О.В. Математичне моделювання розповсюдження вибухової хвилі у масиві гірської породи / О.В. Шапурін, А.А. Скачков // Вісник КНУ, 2012. – Кривий Ріг.-Вип. 32, с. 10-14.
6. Скачков А.А. Исследование взаимодействия зарядов при многорядном короткозамедленном взрывании / Горный журнал. Изв. вузов, 2014.-№5, с. 63-39.
7. Боуден Ф. Возбуждение и развитие взрыва в твердых и жидких веществах / Ф. Боуден, А. Иоффе // М.: ИЛ. 1955.-119 с.
8. Шапурін О.В. Руйнування гірських порід вибухом / О.В. Шапурін, П.Я. Кирик // Навч. Посібник. – К.: ІС-ДО, 1995.-280 с.
9. Влaдарчак Э. Роль газовых пузырьков в инициировании детонации водонаполненных взрывчатых веществ / Успехи механики. 1985.- №2-с. 57-58.
10. Юхансон К. Детонация взрывчатых веществ / К. Юхансон, П. Персон // М.: Мир, 1973.-352 с.
11. Баум Ф.А. Физика взрыва / Ф.А. Баум, К.П. Станкович, Б.И. Шехтер // М.: Физмат, 1959.-800 с.
12. Chaudzhi M.M. The role of rapidly compressed gas pockets in the initiation of condensed explosives / Lond., Proc. Royal Soc. 1974. № 974, p. 113-120.

Рукопис подано до редакції 14.03.15

МЕТОДЫ УПРАВЛЯЕМОГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ВЗРЫВАЕМОЙ ГОРНОЙ МАССЫ НА КАРЬЕРАХ

Показано, что по мере углубления карьеров на качество дробления пород взрывом оказывают влияние не только технологические и энергетические факторы буровзрывных работ, но и изменение крепости и обводненности пород с глубиной. Проблема комплексного влияния этих факторов на качество дробления потребовала своего решения.

Необходимо было определить степень влияния природных, техногенных и энергетических факторов на качество взрывного дробления руд. Исследованиями установлено, что на качество взрывной подготовки горной массы требуемой кусковатости влияют следующие факторы: природные – трещиноватость руд, крепость, структура и текстура, обводненность; технологические – диаметр скважинного заряда ВВ, сетка скважин, число взрывааемых рядов, величина колонки заряда ВВ, схема взрывания, интервал замедления; энергетические – тип ВВ, плотность ВВ. Разрушение руды в ходе горно-обогажительного производства необходимо рассматривать как единый процесс, состоящий из трех этапов: взрывная рудоподготовка (буровзрывные работы); механическая рудоподготовка (дробилки); механическое измельчение (барабанные мельницы).

В работе сформулированы основные требования к гранулометрическому составу и прочности руд для процессов самоизмельчения железистых кварцитов. Установлено, что при прочих равных условиях производительность мельниц самоизмельчения максимальна при минимальном содержании промежуточных фракций в питании и оптимальный выход мелющих тел не зависит от прочности руды. Определено, что для руд ИнГОКа оптимальный выход класса +100 мм, обеспечивающий максимальную производительность мельниц, равен 50-55%. Выполненные исследования являются базой для разработки новых методов для целенаправленной подготовки руды к процессу самоизмельчения.

Ключевые слова: рудоподготовка, самоизмельчение, взрыв.

Актуальность проблемы. В отечественной и зарубежной литературе много работ посвящено поискам необходимой энергии заряда для получения горной массы заданной кусковатости при отбойке крепких горных пород [1-5]. Практически была доказана возможность регулирования степени дробления пород с помощью удельной энергии зарядов ВВ при любом диаметре заряда [6-7]. Однако, в процессе исследований и последующего анализа такие технологические факторы, как схема взрывания, интервал замедления, конструкции зарядов изменялись незначительно, или вообще были постоянными, поэтому их влияние на качество дробления горной массы оказалось незначительным. И основные параметры сетки скважин изменялись равномерно, что также не позволило получить дополнительную информацию о соответствующем перераспределении соотношения выхода классов крупности во взорванной массе. В то же время, именно варьирование основными параметрами этих факторов позволит существенно влиять на фракционирование горной массы.

Таким образом, общий процесс разрушения обогащаемых руд можно представить в виде трехзвенной цепи: взрывная рудоподготовка в процессе буровзрывных работ - механическая рудоподготовка на дробилках - механическое измельчение в барабанных мельницах [8-9].

Л.И. Барон, В.И. Комир, М.Ф. Друкованый доказали, что гранулометрический состав взорванной руды достаточно хорошо описывается уравнением Розина-Раммлера, что позволяет рассчитывать с достаточной для практики точностью выход любого класса крупности, не слишком далеко отстоящего от $d_{ср}$. Л.И. Барон предложил пригодный для практических исследований фотопланиметрический способ измерения гранулометрического состава взорванной массы. Все эти исследования могут служить платформой для дальнейших разработок методов и средств взрывной подготовки руды для процессов самоизмельчения, которыми, как свидетельствует изучение литературы, никто не занимался [10-13].

Существующие параметры буровзрывных работ на карьерах основаны на том, что сопротивляемость пород взрыванию пропорциональна прочности пород, определяемой в баллах по шкале проф. Протодяконова. Породы распределены по взрываемости на категории, номер которых увеличивается с увеличением крепости пород. Такие же основные параметры, как сетка и схема коммутации зарядов ВВ, подбираются эмпирическим путем и устанавливаются такими, чтобы была получена удовлетворительная проработка подошвы уступа и дробление, обеспечивающее бесперебойную работу погрузочного транспортного и дробильно-обогажительного оборудования. Качество дробления при таком подходе получается весьма различным и часто не

удовлетворяет потребности дальнейшей переработки горной массы в зависимости от целевого назначения конкретной разновидности.

Гранулометрический состав взорванной рудной массы должен отвечать требованиям выемочно-погрузочного оборудования.

Постановка задачи. Цель настоящей работы заключается в разработке требований к гранулометрическому составу и прочности руд для процессов самоизмельчения железистых кварцитов.

Основной материал и результаты. Для процессов самоизмельчения механическая рудоподготовка значительно проще, чем для процесса шарового измельчения. Если в процессе механической рудоподготовки для шарового измельчения по трех-четырёхстадиальной схеме дробления максимальный диаметр кусков уменьшается с 1500 мм до 20 мм, то для самоизмельчения этот процесс сводится к уменьшению максимального размера кусков от 1500 до 400 мм на 1 стадии крупного дробления, т.е. сокращение размеров в 20 раз меньше. Поэтому для процессов самоизмельчения роль взрывной рудоподготовки становится преобладающей. Однако до последнего времени - практика и научные изыскания в области взрывных работ были связаны исключительно с проблемами подготовки горной массы для обеспечения эффективности выемочно-погрузочных и транспортных работ. В основном исследования и разработка методов были направлены на снижение выхода «негабарита» (класс +1200 мм для экскавации, -400 мм для конвейерного транспорта). В этой области достигнуты определенные результаты. В целом по Кривбассу, выход класса -1200 мм составляет от долей до 2-3 %, выход класса -400 мм - 10-30 %. Накоплены научные и производственные зависимости, связывающие качество взрывного дробления с параметрами взрывной отбойки.

Механическая рудоподготовка в настоящее время осуществляется дроблением взорванной руды, как правило, дробилкой крупного дробления типа ККД 1500/180, которая устанавливается в карьере, как, например, на ИнГОКе, Анновском карьере СевГОКа. Основные требования к качеству дробления в карьерных дробилках определяются в первую очередь требованиями сохранности резиномолоты конвейерного подъемника, накладывающими ограничения на максимальный размер куска не более 400-500 мм. Наличие постоянно открытой кольцевой щели выпуска 180 мм обеспечивает выполнение этого условия. Фактически процессу дробления подвергается 10-30 % горной массы, проходящей через дробилку (класс -400 мм по максимальному размеру куска).

Для целей эксплуатации конвейера этих знаний вполне достаточно. Для управления гранулометрическим составом питания мельниц самоизмельчения совершенно необходимо знание того, в какого размера куски превращаются крупные фракции, проходящие через дробилку, т.е. определить передаточную функцию дробилок крупного дробления. Однако исследования, посвященные этому вопросу, весьма скудны. Имеются лишь отдельные сведения о гранулометрическом составе готового продукта дробилок, полученные при их испытаниях на рудах различной крепости, причем крепость оценивается неопределенным термином - «мягкая руда». В производственных условиях контроль качества дробленого продукта осуществляется эпизодически - метода промышленного контроля крупности дробленой руды нет.

В схеме рудоподготовки перед процессом самоизмельчения на фабрике РОФ-2 СевГОКа предусмотрено разделение дробленой руды на классы +100 мм и -10 мм в отдельные бункера с разделенной подачей на конвейер питателя мельниц. Однако, как показали испытания, из-за низкой эффективности разделения колосниковым грохотом, руда, фактически не разделенная по классам, попадает в бункер надгрохотного продукта, а затем, после его заполнения, в бункер подгрохотного продукта.

Задуманные меры стабилизации питания путем разделенной подачи различных фракций не имели успеха. Таким образом, решение вопросов стабилизации питания по крупности и прочности в карьере при взрывной подготовке является актуальной задачей.

Все основные отличия процесса самоизмельчения от шарового измельчения определяются тем, что вместо стальных шаров в качестве мелющих тел используются крупные куски руды, которые, измельчаясь сами при ударах о футеровку, измельчают мелкие кусочки руды, превращая их в готовый продукт.

В отличие от шаровых мельниц, где имеется два класса тел - измельчающие (шары) и измельчаемые (руда), в мельницах самоизмельчения присутствуют три класса тел, имеющие разные функции: мелющие тела (крупные куски руды), измельчаемые тела («мелочь») и промежуточные тела округлой формы «галя», размеры которых недостаточны для использования в ка-

честве мелющих тел, но велики для размалывания мелющими телами. Обычно часть «гали» определенной крупности направляется в рудногалечные мельницы последующих стадий измельчения в качестве мелющих тел.

Избыток «гали» занимает полезный объем в мельнице, снижая ее производительность. Поэтому его выводят из мельницы на додрабывание в дробилках среднего или мелкого дробления, или в мельницы добавляют стальные шары, диаметром около 100-150 мм в количестве 4-8 % от общей загрузки мельницы. Однако эта мера приводит к повышенному износу футеровок мельницы.

Границы между перечисленными классами тел весьма условны и зависят от свойств руды, главным образом ударной прочности, определяемой начальной работой разрушения в кгм/кг, и диаметра мельниц, определяющего величину потенциальной энергии, приобретаемой кусками руды при подъеме.

Второй важной особенностью процесса самоизмельчения является экстремальная зависимость производительности мельниц (в т/час) от соотношения фракций в исходной руде. Наиболее просто эта зависимость представляется в виде

$$Q = f(\gamma_{+100}),$$

где Q - производительность мельницы первичного самоизмельчения (1-ой стадии), т/час; γ_{+100} - выход кусков крупнее 100 мм, в % или долях единицы.

На основании производственных наблюдений работы фабрики самоизмельчения на ИнГОКе можно сделать вывод, что для руд ИнГОКа оптимальный выход класса +100 мм, обеспечивающий максимальную производительность γ_b мельниц, равен 50-55 %. В работе В.П. Яшина, А.В. Бортникова, обобщающей результаты большого числа исследований последних лет, указывается на более сложную зависимость производительности мельницы 1 стадии от грансостава руд НКГОКа. [10-14], т/ч

$$Q_p = \frac{Q_{+100}^1 \gamma_{+100} + Q_{-100+25}^1 \gamma_{-100+25} + Q_{-25}^1 \gamma_{-25}}{100}, \quad (2)$$

где Q_p - часовая производительность γ_b мельницы, т/час; Q_{+100}^1 , $Q_{-100+25}^1$, Q_{-25}^1 - часовая производительность «характерных» классов.

Для характерных классов даны зависимости часовой производительности мельницы от содержания характерного класса в питании (рис. 1). Здесь же приводится более общая формула

$$Q_p = \frac{\sum Q_i^1 d_i \cdot \gamma d_i}{\sum \gamma d_i} K_{np} \quad (3)$$

где K_{np} - коэффициент, учитывающий прочность руды (по В.А. Олевскому).

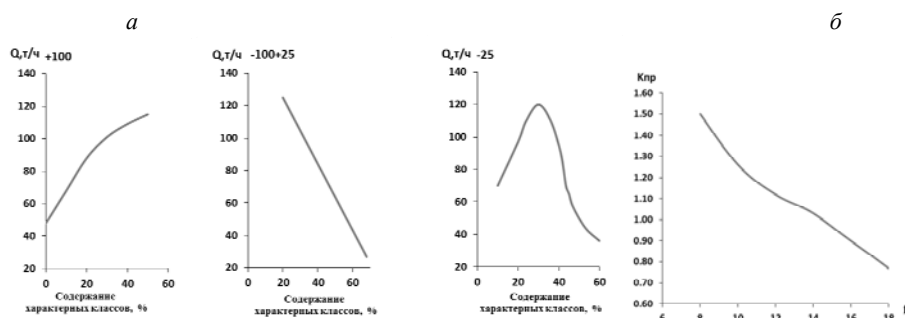


Рис. 1. а - аппроксимированные зависимости производительности мельницы самоизмельчения диаметром 1 м от содержания характерных классов в исходном питании (эталонная руда НКГОКа); б - взаимосвязь поправки на прочность руды K_{np} и коэффициента крепости руд f при расчетах производительности мельницы самоизмельчения

Анализ формулы (3) и зависимостей, приведенных на рис. 1, приводит к следующим **выводам**:

1. При прочих равных условиях производительность мельниц самоизмельчения максимальна при минимальном содержании промежуточных фракций в питании.
2. С уменьшением прочности руды производительность мельниц растет.
3. Оптимальный выход мелющих тел не зависит от прочности руды.

Последний вывод вытекает из формулы зависимости (3) куда K_{np} входит как общий множитель. Однако, в этом же источнике приводятся данные, свидетельствующие, что оптимальный выход мелющих тел зависит от прочности руды.

Так, например, на стр. 184 источника [10,14] показано, что для прочных руд Кривбасса и КМА оптимальным является $\gamma_{+100}=50$ % (высокой крепости руды). Для руд средней и ниже средней крепости оптимальный $\gamma_{+100}=35$ %, к тем же выводам приводит анализ зарубежных

данных. Очень крепкие такониты прочностью 380 МПа измельчаются в мельницах $\varnothing 11$ м при оптимальном выходе класса +152 мм 40 %, что соответствует выходу $\gamma_{+100}=50-60$ %.

В то же время известно, что для кварцево-глинистой руды крепостью $f=8\div 12$ оптимальный выход класса +100 мм составляет около 30 %. Для крепких ($f=18\div 20$) руд ИнГОКа Ю.А. Хватов и А.А. Шильман определили оптимальный выход γ_{+100} около 50÷55%. Таким образом, производственные наблюдения показывают, что с уменьшением прочности руд величина оптимального выхода класса +100 мм уменьшается [15-18].

При равных условиях с ростом диаметра мельниц оптимальный выход класса +100 мм должен также уменьшаться, поскольку с ростом диаметра увеличивается запас потенциальной энергии поднятых на критическую высоту кусков, поэтому часть кусков размерами меньше 100 мм также становится мелющими телами, количество которых должно быть, согласно теории и практике измельчения, около 40 % от общего веса загрузки мельниц.

Таким образом, изучение литературных источников и официальных документов позволяет сформулировать следующие требования к гранулометрическому составу питания мельниц самоизмельчения:

минимум содержания промежуточного класса («гали») или в количестве не более, чем его требуется для II стадии рудно-галечного измельчения;

оптимальный выход мелющих тел для окисленных руд, лежащих в достаточно неопределенных пределах 25-50 %;

усредненная и стабилизированная по грансоставу и прочности рудная шихта.

Список литературы

1. Кутузов Б. Н., Старшинов А. В., Жамьян Ж. Совершенствование буровзрывных работ на основе применения новых видов взрывчатых веществ и зарядной техники // Б. Н. Кутузов, А. В. Старшинов, Ж. Жамьян // Горный журнал, 2010, №7, С.61-64.
2. Фокин В.А., Точунов М.Б., Сёмкин С.В. К вопросу оценки качества дробления взорванной горной массы при производстве буровзрывных работ в карьерных условиях / В.А. Фокин, М.Б.Тогунов, С.В. Семкин // Горный журнал, 2013, №12, С.54-56.
3. Фокин В.А., Тогунов М.Б., Семкин С.В. К вопросу обоснования интервалов замедления при производстве массовых взрывов в карьерах / В.А. Фокин, М.Б.Тогунов, С.В. Семкин // Горный журнал, 2012, №2, С.44-46.
4. Щукин Ю.Г., Коломинов И.А., Астахов Е.О. Специальные заряды в технологии заоткоски уступов в карьере ОАО «Карельский окатыш» / Ю.Г. Щукин, И.А. Коломинов, Е.О. Астахов // Горный журнал, 2013, №10, С.86-88.
5. Кутузов Б.Н., Тимофеев, И. Н. Токаренко А. В. Испытание различных типов боевиков для повышения действия скважинных зарядов /Б.Н. Кутузов, И. Н. Тимофеев, А.В. Токаренко // Горный журнал, 2012, №9, С. 88-90.
6. Ренин Н.Я. К вопросу использования энергии взрыва для повышения эффективности рудоподготовки и обогащения железистых кварцитов / Н.Я. Ренин // Горный журнал, 2012, №4, С.45-47.
7. Гончаров С.А. О нецелесообразности увеличения удельного расхода ВВ при буровзрывном дроблении железистых кварцитов в карьере КМА / С.А. Гончаров // Горный журнал, 2013. №4. – С.80-85.
8. Жариков С.Н., Шеменев В. Г. Методология оценки энергоемкости технологических процессов в цикле "буровзрывное дробление - механическое дробление - измельчение" при открытой разработке рудных месторождений / С.Н. Жариков, В.Г. Шеменев // Горный журнал, 2013, №10. - С. 83-86.
9. Фокин В.А., Тогунов М.Б., Методологические аспекты качества эмульсионных взрывчатых веществ по результатам замеров скорости детонации // Горный журнал, 2013, №4. - С.77-79.
10. Барон Л.И., Докучаев М.Н., Васильев Г.А., Дороницева Л.Н. Взрывные работы в горнорудной промышленности / Л.И. Барон, М.Н. Докучаев, Г.А. Васильев, Л.Н. Дороницева // М.: Госгортехиздат, 1960. - 182 с.
11. Друкованный М.Ф. Совершенствование буровзрывных работ на железорудных карьерах / М.Ф. Друкованный // М.: Недра, 1988. – 120 с.
12. Еременко А.А., Щетинин Е.В., Шултаев С.К. Опыт проведения массового взрыва с применением параллельно-сближенных зарядов ВВ увеличенного диаметра / А.А. Еременко, Е.В. Щетинин, С.К. Шултаев // Горный журнал, 2013, №3. – С.73-75.
13. Римкевич В. С., Демьянова Л. П. Эффективная технология переработки кремнеземсодержащего сырья // Горный журнал, 2012. №7. – С.85-87.
14. Яшин Р.П., Костит И.М. Управление гранулометрическим составом и сопротивляемостью разрушению при рудоподготовке - важнейший резерв повышения эффективности горно-обогатительных производств // Сборник трудов института Механобр, 2000. -С. 95-100.
15. Яшин В.П. Теория и практика самоизмельчения. -М: Недра, 1998. — 160с.
16. Хватов Ю. А. Пути совершенствования схем с мельницами самоизмельчения// Горный журнал, 1982, № 9. - С. 68-72.
17. Добрынин В.Н., Эндерев В.А., Миловидова А.А. Система интеллектуального управления технологией дробления / Обогащение руд, 2014, №6, С.38-40.
18. Чантурия В.А., Вайсберг Л.А., Козлов А.П. Приоритетные направления исследований в области переработки минерального сырья / В.А.Чантурия, Л.А.Вайсберг, А.П. Козлов // Обогащение руд, 2014, №2. - С.35-40.

Рукопись поступила в редакцию 17.03.15

І.А. КУЧЕРЯВЕНКО, канд. техн. наук, проф., С.М. ЧУХАРЄВ, канд. техн. наук, доц.,
Криворізький національний університет

ВИСОКОПРОДУКТИВНА СИСТЕМА ПІДЗЕМНОЇ РОЗРОБКИ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ САМОХІДНОЇ ГІРНИЧОЇ ТЕХНІКИ

Необхідність залучення в підземну розробку покладів магнетитових кварцитів, які залягають у полях діючих шахт Кривбасу, з метою розширення сировинної бази підземних рудників і зниження інтенсивності розробки багатих руд, є актуальною проблемою.

Проведений техніко-економічний аналіз поверхово-камерної системи розробки з відбійкою руди і вибровипуском її показав, що застосована у теперішній час на шахті ім. Орджонікідзе технологія підземного видобутку магнетитових кварцитів характеризується низькими техніко-економічними показниками у порівнянні з аналогічною технологією на базі самохідної техніки.

Для встановлення закономірностей зміння показників вилучення руди від товщини обваленої стелі і відстані між навантажувальними заїздами при застосуванні траншейного днища блока і самохідних навантажувально-доставних машин, було проведено лабораторні дослідження, які дозволили встановити оптимальні параметри стелі і конструкції траншейного днища.

У результаті проведення лабораторних досліджень установлені закономірності зміння показників втрат і засмічення руди, які дозволили обґрунтувати розміри конструктивних елементів траншейних днищ блоків.

Розроблено паспорт поверхово-камерної системи розробки потужних покладів магнетитових кварцитів із застосуванням самохідної техніки, який належить використовувати при проектуванні підземної розробки покладів магнетитових кварцитів на діючих шахтах Кривбасу.

Розроблена високопродуктивна поверхово-камерна система розробки крутоспадних потужних покладів магнетитових кварцитів із застосуванням самохідних бурових установок і навантажувально-доставних машин дозволить в 1,5-2 рази поліпшити техніко-економічні показники системи.

Ключові слова: магнетитові кварцити, параметри блока, траншейне днище, навантажувальні заїзди, доставні орти, відбійка, навантаження, доставка руди, показники вилучення руди, еквівалентні матеріали, втрати, засмічення руди.

Актуальність проблеми. Проблема розширення сировинної бази шахт і раціонального комплексного використання рудних ресурсів підземного Кривбасу, що володіє розвинутою інфраструктурою, налагодженим рудниковим господарством і кваліфікованими кадрами інженерно-технічних працівників, обумовлює необхідність залучення в розробку магнетитових кварцитів, запаси яких становлять мільярди тонн. Це дозволить значно розширити сировинну базу діючих шахт, знизить інтенсивність підземної розробки багатих залізних руд і збільшити строки існування рудників, а також відіграє важливу роль у вирішенні проблеми комплексного використання залізородних родовищ Криворізького басейну. Розташовані на верхніх горизонтах діючих шахт запаси магнетитових кварцитів можуть бути відроблені в найближчі роки при здійсненні мінімальної реконструкції гірничокапітальних виробок і камер на відроблених горизонтах при застосуванні існуючих підйомних установок.

Досвід роботи шахти ім. Орджонікідзе підтвердив, що розробка магнетитових кварцитів, розташованих на верхніх горизонтах, можлива з мінімальними затратами на підйом, водовідлив, вентиляцію та транспорт. Але вона повинна базуватися на високоефективній технології очисного виймання, створеної з урахуванням сучасних світових тенденцій в області розробки міцних та стійких руд. Тому розробка і впровадження нових технологічних схем і високопродуктивних систем підземної розробки магнетитових кварцитів на базі використання самохідних гірничих машин є актуальною темою, яка має важливе практичне значення.

Проблемі підземної розробки магнетитових кварцитів у Кривбасі присвячено наукові праці вчених Г.М. Малахова [1,2], Ю.П. Капленка [3,4,5], М.Б. Федько [3], Б.І. Римарчука [6], Є.Г. Логачова [7], М.І. Ступніки [8,9], В.О. Калініченка [10], В.В. Цариковського [11], а також гірничих інженерів-виробничників О.С. Колодезєва [1], Ф.І. Караманіца [12], В.В. Перегудова, В.П. Протасова [13], С.С. Баштаненко [14] та ін., які заклали основи теорії та практики відроблення залізистих кварцитів на діючих шахтах басейну.

Техніко-економічний аналіз застосованої системи розробки. У теперішній час підземна розробка магнетитових кварцитів у Кривбасі поверхово-камерною системою здійснюється

тільки на шахті ім. Орджонікідзе, яка розробляє на гор. 527 м крутоспадний (60-65°) потужний (120-270 м) поклад магнетитових кварцитів «Південний» довжиною 1050 м.

Відбійка руди у камері здійснюється вертикальними віялами глибоких свердловин, обвалення стелини і днища - віялами глибоких свердловин, а МКЦ - вертикальними концентрованими зарядами (ВКЗ). Випуск руди здійснюється віброустановками ВДПУ-4ТМ.

Для техніко-економічної оцінки поверхово-камерної системи розробки наведемо технологічні та технічні показники, які були отримані при відробленні блока (+22)÷(+34):

витрати підготовчих виробок - 2,18 м/1000 т;

витрати нарізних виробок - 1,15 м/1000 т;

вихід руд з 1 м свердловини - 13 т/м;

витрати ВР на відбійку руди - 0,508 кг/т;

витрати ВР на вторинне подрібнення - 0,167 кг/т;

витрати електроенергії - 6,5 кВтч/т;

продуктивність ВДПУ-4ТМ - 500 т/зміну;

продуктивність одного гірника по системі розробки - 51 т/зміну.

втрати магнетитових кварцитів при відробленні: камери - 4 %; «трикутника» лежачого боку - 36 %; стелини - 42 %; МКЦ - 46 %:

засмічення магнетитових кварцитів при відробленні: камери - 4%; «трикутника» лежачого боку - 14%; стелини - 17%; МКЦ - 18%.

Аналіз техніко-економічних показників відроблення блока (+22)-(+34) гор. 527 м поверхово-камерною системою розробки з відбійкою руди глибокими свердловинами та вібровипуском руди порівняно з показниками аналогічної системи розробки, але із застосуванням самохідної гірничої техніки на зарубіжних рудниках, виявив такі недоліки застосованої на шахті ім. Орджонікідзе системи розробки:

надто складна конструкція днища блока з вібровипуском руди при недостатньо ефективному провітрюванні робочих місць;

небезпечність робіт при ліквідації заторів руди в рудоспусках;

великі витрати підготовчо-нарізних виробок (3,33 м/1000 т) порівняно з системами, які застосовують самохідну техніку (1,6-1,8 м/1000 т):

значні витрати ВР на відбійку та вторинне подрібнення руди (0,675 кг) порівняно з системами, які застосовують самохідну техніку (0,450-500 кг/т);

низька продуктивність вібровипуску і доставки руди (450- 500 т/зміну);

низька продуктивність бурового майстра на станке НКР-100М (50- 60 м/зміну) порівняно із самохідними буровими установками (90-110 м/зміну);

низька продуктивність одного гірника по системі (50-51 т/зміну) у порівнянні з системами, які застосовують самохідну техніку (70-80 т/зміну):

собівартість видобутку 1 т магнетитових кварцитів у 1,5-2 рази вища порівняно з системами із застосуванням самохідної техніки.

Отже, проведений техніко-економічний аналіз поверхово-камерної системи розробки з відбійкою руди вертикальними віялами свердловин і вібровипуском руди дозволяє зробити такий висновок.

Застосована у теперішній час на шахті ім. Орджонікідзе технологія підземного видобутку магнетитових кварцитів характеризується низькими техніко-економічними показниками порівняно з технологією на базі самохідної бурової і доставної техніки.

З метою підвищення ефективності технології підземного видобутку магнетитових кварцитів у Кривбасі необхідно розробити і запровадити системи розробки з застосування високопродуктивної самохідної гірничої техніки.

Установлення оптимальних параметрів траншейного днища. Відроблення стелин і МКЦ при поверхово-камерній системі розробки, як було сказано вище, характеризується значними втратами і засміченням руди.

З метою встановлення закономірностей зміння показників вилучення руди від товщини обваленної стелини і відстані між навантажувальними заїздами при застосуванні траншейного днища блока і самохідних навантажувально-доставних машин, було проведено лабораторні дослідження, які дозволили встановити оптимальні параметри стелин і конструкції траншейного днища.

Лабораторні досліді проводились на стаціонарній моделі з передньою скляною стінкою, побудованою в масштабі 1:100. Днище моделі імітувало траншейне днище камери шириною 40 м і висотою 15 м, підготовлене з двобічним розташуванням навантажувальних заїздів із доставних ортів.

В якості магнетитових кварцитів обваленої стелини була використана подрібнена магнетитова руда крупністю 2-3 мм з об'ємною вагою $2,3 \text{ т/м}^3$, а обвалені пусті породи, що покривали стелину, були представлені подрібненим сірим гранітом крупністю 3-4 мм.

Горизонтальний контакт «руда-порода» створювали шляхом використання подрібненої крейди до розмірів 0,05-0,1 мм.

Торцевий випуск руди із моделі на підшву навантажувальних заїздів, розташованих на відстані 10,12,14 см, здійснювали дозами по 250 г.

Режим випуску руди - рівномірно-послідовний. Випуск та доставку руди із моделі імітували навантажувально-доставною машиною фірми "Atlas Copco" EST-3,5 вантажопідйомністю 6000 кг зі стандартним ковшем місткістю 3 м^3 .

На основі отриманих показників встановлено залежності величин втрат і засмічення випущеної руди від відстані між навантажувальними заїздами при різній товщині стелини (рис. 1).

Аналіз графіків залежностей показав, що при однаковій відстані між навантажувальними заїздами і при збільшенні відстані між навантажувальними заїздами при однаковій товщині стелини втрати руди зростають із збільшенням товщини стелини.

Втрати руди також зростають і при збільшенні відстані між навантажувальними заїздами при однаковій товщині стелини.

Це пояснюється тим, що чим товще стелина і чим більші відстані між навантажувальними заїздами, тим більші розміри матимуть рудні гребні між випускними виробками на дні траншеї.

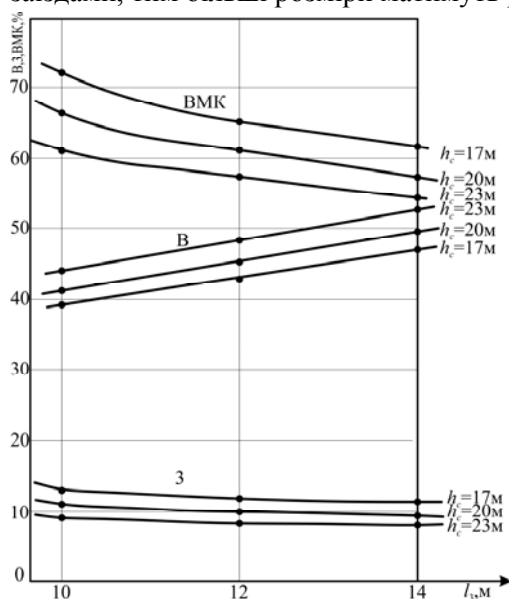


Рис. 1. Графіки залежностей втрат B , засмічення $З$ і вилучення магнетитових кварцитів $ВМК$ при розробці поверхово-камерною системою від товщини стелини h_c і відстані між навантажувальними заїздами l_3

Засмічення випущеної руди при однаковій відстані між навантажувальними заїздами зменшується при збільшенні товщини стелини.

Це пояснюється тим, що чим менша товщина стелини, тим більша вірогідність примішування пустих порід до руди в процесі випуску.

Як бачимо, закономірності змінення величин засмічення випущеної руди має протилежний характер до змінення величин втрат руди.

Установлені в результаті проведення лабораторних досліджень закономірності змінення показників втрат і засмічення руди дозволили обґрунтувати розміри конструктивних елементів траншейних днищ блоків. Оптимальними розмірами траншейного днища в натурі слід вважати: висота днища 15 м, відстань між доставними ортами - 20 м відстань між навантажувальними заїздами - 12 м, відстань між доставним і траншейним ортами - 10 м.

Розробка високопродуктивної поверхово-камерної системи розробки потужних покладів магнетитових кварцитів із застосуванням самохідної гірничої техніки.

При розробленні конструкції поверхнево-камерної системи прийняті наступні розрахункові параметри блока [14]:

ширина камери за простяганням покладу	- 40 м;
висота камери	- 50 м;
ширина міжкамерних ціликів	- 20 м;
товщина траншейного днища	- 15 м;
товщина стелини до рівня відкотного горизонту вищерозташованого поверху	- 15 м;
товщина стелини з урахуванням частини днища камер відробленого поверху	- 20-25 м.

Враховуючи закономірності змінення показників вилучення рудної маси при відстанях між навантажувальними заїздами 10, 12 і 14 м (див. рис. 1), а також вимоги забезпечення стійкості

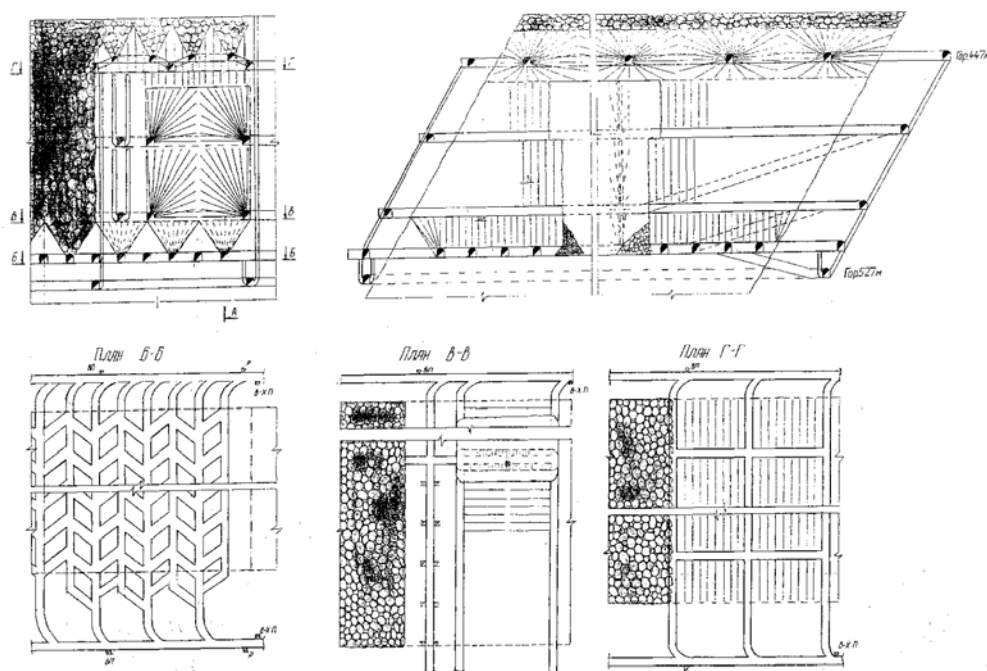


Рис. 4. Поверхово-камерна система розробки потужних покладів магнетитових кварцитів із застосуванням сучасної самохідної гірничої техніки

Основні розрахункові техніко-економічні показники розробленої системи

Камерні запаси блока, тис. т	2448
Загальна довжина підготовчих виробок, м	2925
Загальна довжина нарізних виробок, м	1500
Питомі витрати підготовчих виробок, м/1000т	1,19
Питомі витрати нарізних виробок, м/1000т	0,61
Сумарна довжина свердловин по блоку, м	126 648
Вихід магнетитових кварцитів з 1 м свердловини, т	17
Питомі витрати ВР, кг/т	0,480
Продуктивність майстра бурової установки Sandvik DL 421-15, м/зміну	90-110
Продуктивність машиніста самохідної навантажувально-доставної машини, TORO 400E при відстані доставки до рудоспуску 120-150 м, т/зміну	1000-1200
Продуктивність одного гірника по системі розробки, т/зміну	76
Собівартість 1 т магнетитових кварцитів, грн./т	115
Загальні втрати магнетитових кварцитів, %	37
Загальне засмічення, %	13.

На основі запропонованої технології розроблено паспорт поверхово-камерної системи розробки потужних покладів магнетитових кварцитів із застосуванням самохідної техніки, який належить використати при проектуванні підземної розробки покладів магнетитових кварцитів на діючих шахтах Кривбасу.

Висновки. Розширення сировинної бази підземного Кривбасу з метою збільшення строку існування залізрудних шахт і недопущення зменшення обсягів виробництва товарних руд можливо при залученні до підземного видобутку магнетитових кварцитів, які залягають на верхніх горизонтах у полях діючих шахт, що мають достатні підйомні можливості, розвинену інфраструктуру і кваліфіковані гірничі кадри.

Застосована у теперішній час на шахті ім. Орджонікідзе, яка є поки єдиною шахтою підземного видобутку магнетитових кварцитів у Кривбасі, технологія розробки покладу «Південний магнетитовий» характеризується низькими, у порівнянні з передовими зарубіжними рудниками, техніко-економічними показниками і недостатнім рівнем безпеки на випуску та доставці руди віброустановками.

З метою підвищення ефективності технології підземного видобутку руди нами розроблена високопродуктивна поверхово-камерна система розробки з траншейним днищем блока і доставкою руди самохідними навантажувально-доставними машинами, яка характеризується високими техніко-економічними показниками.

Запровадження в практику роботи шахт Кривбасу рекомендованої технології підземного видобутку магнетитових кварцитів дозволить підвищити продуктивність праці одного гірника по системі розробки в 1,5-1,7 рази, зменшити витрати підготовчо-нарізних виробок на 1000 т запасів у 1,8-2 рази, витрати ВР на вторинне подрібнення руди в 1,2-1,3 рази і знизити собівартість видобутку 1 т магнетитових кварцитів у 1,5-1,75 разів.

Список літератури

1. Малахов Г.М. Подземная разработка магнетитовых кварцитов в Криворожском бассейне [Текст] / Г.М. Малахов, А.С. Колодезнев, Л.И. Сиволобов и др. - К.: Наукова думка, 1983. - 148 с.
2. Малахов Г.М. Циклично-поточная технология подземной разработки магнетитовых кварцитов [Текст] / Г.М. Малахов, И.Н. Малахов, Л.И. Сиволобов. - К.: Наукова думка, 1986. - 128 с.
3. Капленко Ю.П. Підвищення ефективності підземного видобутку магнетитових кварцитів / Ю.П. Капленко, М.Б. Федько, С.В. Бережний, В.В. Кузнецов // Вісник КТУ, 2003. - Вип. 2 - С. 46-48.
4. Капленко Ю.П. Поиск путей повышения эффективности подземной добычи магнетитовых кварцитов / Ю.П. Капленко, М.Б. Федько, В. Кузнецов // Разраб. рудн. месторожд.: Кривой Рог. - КТУ, 2002. - Вип. 85.-С. 42-45.
5. Капленко Ю.П. Совершенствование технологических схем подземной добычи магнетитовых кварцитов / Ю.П. Капленко, В.А. Калиниченко // Вісник КТУ, 2006. - Вип. 15. - С. 22-25.
6. Рымарчук Б.И. О перспективе перехода шахт Криворожского бассейна к подземной добыче магнетитовых кварцитов / Б.И. Рымарчук, А.Е. Грицина, Б.Т. Драгун // Вісник КТУ, 2006. - Вип. 13. - С. 20-25.
7. Логачев Е.И. Совершенствование добычи магнетитовых кварцитов подземным способом с применением самоходного погрузочно-доставочного оборудования / Е.И. Логачев, Н.И. Ступник, А.В. Моргун, Н.В. Перетятко // Разраб. рудн. месторожд. - Кривой Рог: КТУ, 2008. - Вип. 92. - С. 50-55.
7. Скорняков Ю.Г. Подземная добыча руд самоходными машинами. - М.: Недра, 1986. -203 с.
8. Ступник Н.И. Технология подземной разработки магнетитовых кварцитов / Н.И. Ступник, Б.И. Андреев, С.В. Письменный // Вісник КТУ, 2003. - Вип. 33. - С. 3-8.
9. Ступник М.І. Комбіновані способи подальшої розробки залізрудних родовищ Криворізького басейну / М.І. Ступник, С.В. Письменний // Разраб. рудн. месторожд. - Кривой Рог: КТУ, 2002. - Вип. 92. 2002. -Вип. 95.-С. 3-7.
10. Калиниченко В.А. Некоторые аспекты сохранения производственной мощности подземного Кривбасса / В.А. Калиниченко // Разраб. рудн. месторожд.: Кривой Рог. - КТУ, 2000. - Вип. 70. - С. 30-31.
11. Цариковский В.В. Повышение эффективности камерных систем разработки рудных месторождений // Изв. вузов. - Горный журнал. - 2011. - №11. - 49-52.
12. Караманиц Ф.И. Перспектива и технология отработки магнетитовых кварцитов в Кривбассе / Ф.И. Караманиц, В.С. Ричко, Ю.А. Плужник и др. // Разраб. рудн. месторожд. - Кривой Рог. - КТУ, 2008. - Вип. 92. - С. 46-50.
13. Короленко М.К. Розширення сировинної бази підземного Кривбасу за рахунок залучення до видобутку магнетитових кварцитів / М.К. Короленко, М.І. Ступник, В.О. Калініченко, В.В. Перегудов, В.П. Протасов. - Кривий Ріг: Діоніс, 2012. - 284 с.
14. Баштаненко С.С. Обоснование конструктивных параметров ресурсосберегающей технологии этажно-камерной выемки магнетитовых кварцитов [Текст] / С. С. Баштаненко, В.М. Тарасютин, Б.Н. Радионенко // Вісник КТУ, 2011. - Вин. 29. - С. 35-39.
15. Визначення і контроль допустимих розмірів конструктивних елементів систем розробки залізних руд. - Кривий Ріг: НДГРІ, 2010. - 47 с.
16. Інструктивні вказівки з вибору раціональних параметрів буропідвирвних робіт при підземній очисній виїмці на шахтах Криворізького басейну і ЗЗРК. - Кривий Ріг: НДГРІ, 1997. - 34 с.

Рукопис подано до редакції 17.04.15

С.В. ТИЩЕНКО, д-р техн. наук, проф.,
Г.И. ЕРЕМЕНКО, канд. техн. наук, Криворожский технический институт,
Д.Ю. МАЛЫХ, начальник отдела технологии, ООО «МЕТИНВЕСТ ХОЛДИНГ»

ВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ

В практике буровзрывных работ успешно используются методы управления энергией взрыва, основанные на использовании процесса взаимодействия скважинных зарядов.

Разрушение является функцией напряжений горной породы, интенсивность разрушения характеризуется частотой зарождения трещин, скоростью их распространения, длительностью разрушающих напряжений. Основными факторами, определяющими процесс разрушения, являются – величина напряжений, возникающая в массиве горных пород при взрыве заряда ВВ, продолжительность действия напряженного состояния и физико-механические свойства среды. Регулирование процесса разрушения горных пород можно осуществить путем изменения параметров времени взрывного нагружения.

Очевидно, что одним из направлений повышения эффективности взрывных работ в условиях открытой разработки полезных ископаемых является исследование и разработка методов управления энергией взрыва, основанной на взаимодействии скважинных зарядов ВВ, взрывааемых в одной ступени замедления. Согласно полученных результатов взрывание в режиме малых замедлений эффективно и рационально с точки зрения энергетической картины разрушения горного массива.

Одним из направлений повышения эффективности взрывных работ в условиях открытой разработки полезных ископаемых является исследование и разработка методов управления энергией взрыва, основанной на взаимодействии скважинных зарядов ВВ, взрывааемых в одной ступени замедления. Согласно полученных результатов взрывание в режиме малых замедлений эффективно и рационально с точки зрения энергетической картины разрушения горного массива.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В исследованиях [1,2,3] делается вывод о том, что для достижения разрушения среды в заданной точке, необходимо обеспечить определенные длительность и величину напряжений, а также установить критерий оценки разрушения. В качестве такого критерия взято соотношение

$$I \geq \sigma_0 \cdot 1,5t,$$

где I - импульс взрыва; σ_0 - разрушающее напряжение; t - время воздействия импульсной нагрузки.

Известно, что критическая длина трещины в породе, полученной в результате взрыва, есть функция предела прочности этой породы

$$F = f(\sigma_0),$$

где σ - предел прочности.

Разрушение является функцией напряжений горной породы, интенсивность разрушения характеризуется частотой зарождения трещин, скоростью их распространения, длительностью разрушающих напряжений. Основными факторами, определяющими процесс разрушения, являются – величина напряжений, возникающая в массиве горных пород при взрыве заряда ВВ, продолжительность действия напряженного состояния и физико-механические свойства среды. Регулирование процесса разрушения горных пород можно осуществить путем изменения параметров времени взрывного нагружения.

В практике буровзрывных работ успешно используются методы управления энергией взрыва, основанные на использовании процесса взаимодействия скважинных зарядов.

Взаимодействие скважинных зарядов ВВ во времени характеризуется условиями

$$t < (l/v_1) \quad (1)$$

$$t > (l/v + \tau), \quad (2)$$

где l - расстояние между зарядами; v - скорость звука в породе; τ - интервал времени, необходимый для наложения волн в данной фазе; t - время между взрывами зарядов.

Неравенство, определяющее встречные режимы взаимодействия, имеет вид

$$t_{1,2} = l/2v,$$

где $t_{1,2}$ - время распространения волн от первого и второго зарядов.

При условии (1) наблюдается симметричная картина взаимодействия. Неравенство (2) является необходимым условием суперпозиции волн напряжения.

Обозначив через Δt время нарастания давления в импульсе, можно определить следующие варианты взаимодействия зарядов. При замедлении, равном

$$T = \frac{l}{v} + \Delta t$$

взрыв второго заряда ВВ происходит во фронте волны первого заряда. Замедление

$$T = \frac{l + x_0}{v} + \Delta t,$$

где x_0 - координата относительного фронта волны внутри положительной фазы волны от первого заряда, обеспечивает взрыв последующего заряда во время прохождения положительной фазы волны от первого заряда. При замедлении

$$T = \frac{x_1 + al}{v} + \Delta t, \quad (3)$$

где x_1 - координата относительного фронта волны в конце положительной фазы, распространяющиеся потоки второго срабатывающего заряда не взаимодействуют со встречными потоками первого заряда, происходит наложение потоков с положительной и отрицательной фазой волн. Для условия

$$T = \frac{x_2 + l + x}{v} + \Delta t, \quad (4)$$

где x_2 - текущая координата распространения отрицательной фазы волн, второй заряд взорвется при прохождении отрицательной фазы волны первого заряда.

В пределе второй заряд может сработать после прохождения отрицательной фазы волны. Для этого случая интервал замедления определяется следующим выражением

$$T = \frac{x_3 + l + x_2}{v} + \Delta t, \quad (5)$$

где x_3 - координата относительного фронта волны в конце отрицательной фазы волны первого заряда. В этом случае возможно отсутствие взаимодействия волн и можно считать, что происходит последовательное взрывание зарядов ВВ.

Следовательно, взаимодействие волн напряжений согласно формулам (3) - (5) от двух смежных зарядов ВВ возможно при замедлении, удовлетворяющем условию

$$t_1 \leq T \leq t_2,$$

где t_1 - время прохождения волны напряжений от взрыва предыдущего заряда ВВ к месту расположения последующего; t_2 - длительность действия волн напряжений.

Анализ исследований и публикаций. Временные параметры взаимодействия зарядов ВВ, по мнению многих исследователей [4, 5], целесообразно основывать на количестве накоплений в среде энергии. Накопление определенного количества энергии в заданном объеме горного массива, является необходимым условием для возникновения разрушения в нем. В общем виде полная энергия, накапливающаяся в данном элементарном объеме, при действии двух источников, может быть записана как

$$E = \sum_{i=1}^4 E_i,$$

где E_i - энергия, вносимая потоками за счет действия прямых волн I_1, I_2 и отраженных I_3, I_4 .

При этом характер распределения энергии взрыва в массиве скальных пород и интенсивность его разрушения, в свою очередь, зависят от степени трещиноватости, определяемой параметрами и свойствами заполнителя трещин в каждой системе. При неизменных параметрах заряда ВВ и физико-механических свойств пород, слагающих массив, закономерность распространения плотности потока энергии будет определяться параметрами и свойствами трещин. При распространении энергии взрыва через системы трещин плотность потока, прошедшего через них, определяется из уравнения

$$I = K \cdot I_0,$$

где I_0 - плотность потока энергии без учета трещин; K - коэффициент проводимости энергии единичной трещины.

Поток энергии определяется из следующего выражения

$$I = \frac{P_o u (R_o + Ct)^3}{r_i^3} e^{-2\alpha(t \frac{r_i - R_o}{C})},$$

где u - массовая скорость перемещения частиц по радиусу; C - скорость развития трещин; $r_i (i = 1, 2, 3, 4)$ - векторы, проведенные из источников волн напряжений в выбранную точку; P_o - начальное давление продуктов детонации; R_o - радиус скважинного заряда; t - текущее время.

Накопление энергии в элементарном объеме в выбранной точке пространства, может быть определено как

$$dI(r, t) = \left(\frac{\partial I}{\partial r} + \frac{I}{C} \cdot \frac{\partial I}{\partial t} \right) C \partial t,$$

Формула для полной энергии в заданном объеме примет вид

$$E = \frac{3P_o u C}{r^4} \left(\int_n^m (R_o + Ct)^3 e^{-2\alpha(t \frac{r - R_o}{C})} dt - 1,2 \int_n^m (R_o + Ct) e^{-2\alpha(t \frac{r - R_o}{C})} dt \right)$$

$$n = 2,5(r - R_o)C^{-1}; \quad m = (r - R_o)C^{-1}.$$

Следовательно можно сделать вывод, что рациональным с точки зрения наиболее вероятного и интенсивного разрушения массива, при воздействии двух зарядов ВВ, является взрывание их с замедлением в интервале

$$(l/v) \leq T \leq (2l/v),$$

где l - расстояние между зарядами; v - скорость звука в породе.

В работе [6] были выполнены исследования по определению суммарной величины напряжений в произвольной точке при взаимодействии двух зарядов ВВ.

Напряженно-деформированное состояние массива, при одновременном взрыве зарядов, на основе сложения напряжений от каждого из них в процессе суперпозиций волновых полей определяется как

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} 2(1 + \cos \Delta \varphi)^{1/2},$$

где σ_1, σ_2 - напряжения в точке для каждого из зарядов; $\Delta \varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ - углы между линией зарядов и радиусами – векторами соответственно от первого и второго зарядов.

Для случая короткозамедленного взрывания суммарное напряжение равно

$$\sigma = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + 2\sigma_1 \cdot \cos \Delta \varphi)^{1/2},$$

Постановка задачи. Важным вопросом в представлении о возможном разрушении среды под действием импульсных нагрузок при взаимодействии скважинных зарядов ВВ, являются законы распространения и погашения энергии волн напряжений в среде, обладающей определенными упругими постоянными.

Энергия, переходящая в ударную волну W , может быть определена согласно [7], как часть общей энергии ВВ, и выражается зависимостью

$$W = L W_o \quad (6)$$

при

$$L = \left(1 - \frac{f}{(\kappa - 1)\rho Q} \cdot \frac{V_\infty}{V_o} \right),$$

где f - прочностное сопротивление среды; V_o - начальный объем расширения газов; V_∞ - конечный объем расширения газов; ρ - плотность ВВ; Q - потенциальная энергия ВВ; κ - показатель изэнтропы (в начальной стадии расширения $\kappa=3$, в конечном 1,25÷1,4).

Из зависимости (6) очевидно, что зоны пластических деформаций и прочностное сопротивление среды в оценке условий перехода энергии взрывчатого разложения ВВ в энергию ударной волны, имеют определяющее значение.

Прочностное сопротивление среды может быть определено как

$$f = \left(P_o^{1/\kappa} \cdot P^{\frac{\kappa-\kappa_1}{\kappa \cdot \kappa_1}} \cdot V_o / V_\infty \right)^\kappa,$$

где P_o - начальное давление продуктов взрыва; P_κ - давление, до которого расширение продуктов взрыва происходит по закону

$$P_\kappa V_\kappa^3 = \text{const} = P_o V_o^3.$$

Изложение материала и результаты. При взрыве заряда ВВ в разрушаемой среде существенная часть энергии взрыва теряется при переходе границы раздела «ВВ-среда», вследствие отражения детонационной волны от стенок зарядной камеры, благодаря чему часть продуктов взрыва до установления равновесия, будет двигаться не к периферии, а к центру заряда.

При импульсных нагрузках горным породам свойственно квазиупругое поведение. Количество энергии, соответственно отраженной от стенок зарядной камеры и прошедшей в среду, может быть определено с удовлетворительной для практических целей степенью погрешности как

$$\bar{W} / W = 4\rho_c \rho_{BB} D \cdot (\rho_c \rho_{BB} D)^{-2},$$

где $\bar{W}$ - упругая энергия среды; ρ_c - акустическая жесткость разрушаемой среды; $\rho_{BB} D$ - акустический импеданс ВВ.

Энергия ударной волны (в дальнейшем трансформирующаяся в волну напряжений) определяется энергией взрывчатого разложения ВВ и условиями ее перехода в упругую энергию пород различной характеристики, что определяет возможное напряженное состояние среды и его длительность, благодаря которым волной производится работа [8,9].

Энергия волны напряжения может быть определена как функция работы, совершаемой при смещении элементарной площадки на определенное расстояние в безграничной среде [10,11].

Рассмотрим с этих позиций энергию ударной волны в зависимости от величины начального давления у стенки скважинного заряда.

Начальное уравнение энергии, проходящей через единицу площади в нормальном к фронту волны напряжений за время t , может быть выражено как

$$W_o = \int_0^t \sigma(r,t) U(r,t) dt. \quad (7)$$

Изменение скорости массового смещения и напряжения во времени, с учетом максимального значения, подчиняются экспоненциальному закону:

$$U(t) = U_{\max} m e^{-\alpha \Delta t}$$

$$\sigma(t) = \sigma_{\max} m e^{-\alpha \Delta t}$$

при $m = \sin \beta t / \sin \beta t_n$,

где $e^{-\alpha \Delta t}$ - экспонента, характеризующая крутизну нарастания и спада скорости и напряжения; α, β - коэффициенты, характеризующие крутизну нарастания и спада скорости, напряжения

$$\Delta t = t - t_n,$$

где t_n - время роста напряжения от 0 до max.

При квазиупругом поведении горных пород основные закономерности изменения параметров волн напряжений могут быть установлены в соответствии с законами теории упругости. В этом случае максимальное напряжение на фронте волны и скорость массового смещения породы могут быть связаны между собой зависимостью

$$\sigma_{\max} = U \rho_c / q.$$

Тогда уравнение (7) примет вид

$$W_o = \frac{q}{\rho_c} \int_0^t \sigma^2(r, t) dt.$$

На основании исследований, выполненных в работе [3]

$$\sigma_{\max}(r) = P_o \frac{R_o^2}{r^2} = P_o \overline{r^2},$$

где P_o - начальное давление на границе упругой зоны; R_o - начальный радиус скважины; r - расстояние от оси заряда до исследуемой точки.

Тогда на основании изложенного

$$W_o = q \overline{r^4} \rho_o^2 \rho_c^{-1} \int_0^t m e^{2\alpha \Delta t} dt.$$

Выводы и направления дальнейших исследований. Очевидно, что одним из направлений повышения эффективности взрывных работ в условиях открытой разработки полезных ископаемых является исследование и разработка методов управления энергией взрыва, основанной на взаимодействии скважинных зарядов ВВ, взрывааемых в одной ступени замедления.

Согласно полученных результатов взрывание в режиме малых замедлений эффективно и рационально с точки зрения энергетической картины разрушения горного массива.

Список литературы

1. Ефремов Э.И. Взрывание с внутрискважинным замедлением. - Киев: Наукова думка, 1971. - 172 с.
2. Друкованный М.Ф., Куц В.С. Ильин В.Н. Управление действием взрыва скважинных зарядов на карьерах. - М.: Недра, 1980. - 223 с.
3. Бротанек И., Вода И. Контурное взрывание в горном деле и строительстве. - М.: Недра, 1983. - 143 с.
4. Cherepanov G.P. On the theory of fluidization, part I. General model. Ind. Enqng chemistry fundamentals 11. - № 1. - 1372.
5. Миндели Э.О., Кусов Н.Ф. Корнеев А.А., Марцинкевич Г.И. Комплексное исследование действия взрыва в горных породах. - М.: Недра, 1978. - 253 с.
6. Воробьев В.Д., Перегудов В.В. Взрывные горные работы в скальных породах. - Киев: Наукова думка, 1984. - 238 с.
7. В.Н. Мосинец, А.В.Абрамов. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород. - М.: Недра, 1982. - 248 с.
8. Механический эффект подземного взрыва / Родионов.В.Н., Адушкин В.В. и др. / Под. ред. М.А.Садовского. - М.: Недра, 1971. - 220 с.
9. Физика взрыва / Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др. / Под. ред. К.П.Станюковича. - М.: Наука, 1975. - 407 с.
10. Родионов В.Н. К вопросу о повышении эффективности взрыва в твердой среде. - М.: Изд-во ИГД АН СССР, 1962. - 29 с.
11. Ханукаев А.Н. Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом. - М.: Госгортехиздат, 1962. - 200 с.

Рукопись поступила в редакцию 18.03.15

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНЦЕПЦІЙ СИСТЕМНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ НА НИХ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГІРСЬКОГО МАСИВУ

Роботу присвячено вирішенню актуальної проблеми удосконалення концепцій системного управління процесами підземних гірничих робіт з урахуванням напружено-деформованого стану гірського масиву та впливу існуючих технологій підземного видобутку корисних копалин на збереження денної поверхні в полях діючих та відпрацьованих шахт.

Виконано аналіз впливу камерних систем розробки та систем розробки з обваленням руди та вміщуючих порід на характер порушень денної поверхні з формуванням воронок, провалів та зон обвалення. Наведено варіант математичного моделювання підземного видобутку магнетитових кварцитів з епіюрами та величиною деформацій на прикладі відпрацьованої ділянки покладів магнетитових кварцитів на ш. Гігант-Глибока РУ ім. Дзержинського.

На основі виконаних досліджень напружено-деформованого стану гірського масиву обґрунтовано теоретичну можливість руйнування міжкамерних ціликів, які залишили між відпрацьованими камерами. На прикладі відпрацювання ділянки магнетитових кварцитів у полі ш. ім. Орджонікідзе ПАТ ЦГЗК наведено практичну можливість такого припущення, коли розрахункові параметри оголень та розмірів ціликів в умовах ш. ім. Орджонікідзе не забезпечили безпечну технологію підземного видобутку магнетитових кварцитів, що призвело до руйнування МКЦ та раптового просідання денної поверхні.

Обґрунтовано спосіб, що гарантує неможливість провалів і просідань денної поверхні на основі застосування систем розробки з твердіючою закладкою. Доведено, що дана технологія дозволяє зберігати непорушеною денну поверхню, використовуючи твердіючу закладку для заповнення відпрацьованого очисного простору. Зосереджено увагу на окремих технологічних схемах, які припускають утилізацію пустих порід і відходів збагачення у відпрацьованому просторі очисних блоків. Наведено переваги технології видобутку залізних руд з твердіючою закладкою виробленого простору.

У висновках наголошено, що жодна високорозвинена гірничовидобувна країна світу не відпрацьовує родовища корисних копалин в міській межі без наступної закладки виробленого простору. Тому подальші дослідження повинні бути спрямовані на розробку і вдосконалення існуючих технологій підземного видобутку залізних руд системами розробки із закладкою виробленого простору.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. У Криворізькому залізорудному басейні протягом десятків років складалася унікальна ситуація зі збереженням денної поверхні в межах діючих і закритих ліквідованих шахт. У результаті тривалої і інтенсивної експлуатації родовищ Кривбасу підземним способом утворилися значні площі підірваних гірничими роботами територій. Порушення денної поверхні з воронками, провалами і зонами обвалення були викликані застосуванням на підземних гірничих роботах, при відпрацюванні верхніх горизонтів, різних варіантів систем розробки з обваленням руди і вміщуючих порід, а також камерних систем розробки. У першому випадку, при м'яких нестійких рудах, спостерігалися досить плавні просідання денної поверхні з формуванням прогнозованих зон обвалення.

При використанні камерних систем розробки, формування зон обвалення відбувалося стрибкоподібно, залежно від обсягу камерної виїмки, міцності рудної стеліни і вміщуючих порід. У цьому випадку прогнозування зон обвалення було і є більш складним завданням, оскільки в розрахунки вступають фізико-механічні властивості гірських порід, що мають більш високу міцність. У зв'язку з цим, при обваленні покрівлі камер можлива неповна посадка стеліни, що, у свою чергу, може призвести до формування мінікамери, облік і контроль яких практично неможливий. Посадка таких мінікамери, розташованих поряд з денною поверхнею може призвести до незапланованих провалів денної поверхні через багато років після відпрацювання покладів і повного закриття шахт.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідженням теорії і практики моніторингу та управління напружено-деформованим станом масиву при підземному видобутку залізних руд присвячена велика кількість робіт. Серед даних робіт виділяються класичні роботи, присвячені вивченню фізичних явищ, що відбуваються в масиві гірських порід, а також інструктивні, спрямовані на визначення допустимих розмірів штучних підземних споруд [1-5]. В.В.Царіковський та В.В.Сакович у своїх роботах за визначенням геометричних параметрів склепистих і шатрових оголень стеліни відзначають, що надання їм зазначених форм дозволяє підвищити стійкість

за рахунок скорочення в них зони дії розтягуючих напружень [3, 6]. Стеліни зі склепистою і шатровою формами оголень можуть бути більш стійкими.

Серед робіт, присвячених дослідженням пружно-деформованого стану масиву найбільш повними є роботи проф. М.М. Протод'яконова [7], В.Д. Слесарьова [8], Г.Н. Кузнецова [9], С.В. Ветрова [10], В.Ф. Трумбачова, Е.А. Мельнікова [11] та ін. [12-14].

Постановка завдання. Підземна розробка магнетитових кварцитів на за технологією «камера-цілик» привела до формування в надрах величезної кількості пустот, що обчислюються мільйонами кубічних метрів. Ці порожнечі становлять потенційну небезпеку у разі їх обвалення.

Отже, розвиток наукових основ моніторингу та управління процесами взаємодії полів напружено-деформованого стану масиву при формуванні штучних підземних споруд, дослідження і розробка технологічних рішень, що запобігають утворення провалів земної поверхні при підземному видобутку залізних руд, є актуальною науково-технічною проблемою, що має важливе народногосподарське значення.

Викладення матеріалу та результати. Площа підроблених гірничими роботами територій з оцінки державного проектного інституту «Кривбаспроект» становить 3 600 га, в тому числі площа воронки обвалення в межах мульди зрушення гірських порід в полях діючих та ліквідованих шахт становить порядку 1030 га [15]. Дані території мають тенденцію до розширення з причини продовження видобутку залізних руд підземним способом.

Так, наприклад, при відпрацюванні покладів магнетитових кварцитів на ш. Гігант-Глибока колишнього РУ ім. Дзержинського, у надрах залишилися пустоти, існуючі до сьогоднішнього часу. Математичне моделювання відпрацьованої ділянки покладів магнетитових кварцитів на ш. Гігант-Глибока представлено на рис. 1.

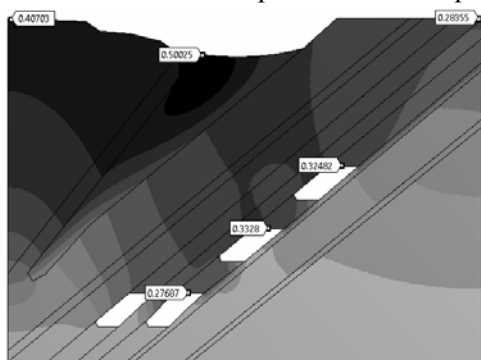


Рис. 1. Епюри та величина деформацій (м) відпрацьованої ділянки покладів магнетитових кварцитів на ш. Гігант-Глибока РУ ім. Дзержинського

Результати моделювання дають можливість стверджувати, що на денній поверхні величина деформацій досягає 0,50 м. З урахуванням реологічних властивостей гірських порід ця величина буде збільшуватися у часі.

Враховуючи те, що відпрацьовані пустоти знаходяться практично в центрі міста, такий рівень деформацій денної поверхні може призвести, з часом, до руйнування промислових, а можливо і цивільних об'єктів, які знаходяться в зонах можливого впливу залишених пустот.

Згідно розрахунків ДП НДГРІ, розміри міжкамерних ціликів та фізико-механічні властивості гірських порід (магнетитових кварцитів) на довгий час повинні забезпечити стійкий напружено-деформований стан відпрацьованої ділянки.

Однак, на наш погляд, існує імовірність руйнування міжкамерних ціликів, які залишили між відпрацьованими камерами. Досвід відпрацювання ділянки магнетитових кварцитів в полі ш. ім. Орджонікідзе ПАТ ЦГЗК доводить можливість такого припущення. Розрахункові параметри оголень та розмірів ціликів в умовах ш. ім. Орджонікідзе не забезпечили безпечну технологію підземного видобутку магнетитових кварцитів, що призвело до руйнування МКЦ та раптового просідання денної поверхні.

В умовах відпрацьованої ділянки покладів магнетитових кварцитів на ш. Гігант-Глибока та законсервованих пустот, обсяг яких досягає кількох мільйонів кубічних метрів, випадкове руйнування одного МКЦ може привести до ланцюгової реакції, наслідки якої можуть бути катастрофічними. Можливість та імовірність руйнування МКЦ досить висока, враховуючи видобуток багатих залізних руд з застосуванням БВР на кар'єрі, який знаходиться практично над відпрацьованою ділянкою родовища магнетитових кварцитів.

У той же час, хоча тектонічна активність в районі Криворізького залізрудного басейну практично відсутня, відголоски землетрусів час від часу порушують гірський масив та можуть спровокувати часткове руйнування запобіжник міжкамерних та міжповерхових ціликів з прогнозованими наслідками.

У даний час підземні гірничі роботи пішли на глибокі горизонти, при відпрацюванні яких вплив очисної виїмки на денну поверхню значно знижено. У цьому випадку практично немож-

ливі несподівані, стрибкоподібні провали на поверхні землі. У той же час, має місце плавне її просідання на значно більших площах в зв'язку зі збільшенням розмірів мульди зрушення налягаючих гірських порід при зниженні підземних гірничих робіт.

На наше глибоке переконання, єдиним способом, що гарантує неможливість провалів і просідань денної поверхні, є застосування систем розробки з твердіючою закладкою. Дана технологія дозволяє зберігати непорушеною денну поверхню, використовуючи твердіючу закладку для заповнення відпрацьованого очисного простору. Окремі технологічні схеми припускають утилізацію пустих порід і відходів збагачення у відпрацьованому просторі очисних блоків.

Технологія видобутку руд з твердіючою закладкою виробленого простору є одним з найбільш поширених і перспективних способів підземної розробки рудних. У минулому столітті дана технологія успішно використовувалася при відпрацюванні багатих залізних руд на вище-лежачих горизонтах шахт РУ ім. Ілліча і РУ ім. Комінтерну в Кривбасі. У даний час ця технологія з успіхом використовується для відпрацювання залізних руд в умовах ЗЗРК а також при відпрацюванні уранових родовищ СхідГЗК.

Найважливішою перевагою технології видобутку руд з твердіючою закладкою виробленого простору є те, що її застосування дозволяє:

- запобігати обвалення денної поверхні при попаданні в зони зсуву і обвалення промислових і цивільних об'єктів;

- запобігати розвитку високого гірського тиску, який приводить до можливості розвитку гірських ударів, породних викидів, масових обвалень порід;

- забезпечити високі показники вилучення руди з надр при складних гірничо-геологічних умовах і великій глибині залягання;

- ізолювати відходи гірничого виробництва в підземних виробках, знизивши шкідливий вплив побічних продуктів видобутку руд на навколишнє середовище

- знизити обводненість вміщуючих порід.

Отже, технологія видобутку руд з твердіючою закладкою виробленого простору може бути конкурентоспроможною в порівнянні з існуючими технологіями. Крім цього, слід зазначити, що підземна розробка руд з твердіючою закладкою є одними з найбільш ефективних засобів управління гірським тиском, знижуючи вплив гірських порід на конструктивні елементи виїмкових одиниць.

Така технологія дозволяє застосовувати високопродуктивні системи розробки з відкритим очисним простором на великих глибинах і використовувати потужну високопродуктивну самхідну техніку на очисних і прохідницьких роботах.

У той же час, використання систем розробки з твердіючою закладкою потребує вирішення декількох основних завдань.

По-перше, необхідні дослідження напружено-деформованого стану гірського масиву при проведенні очисних робіт та рекомендації щодо міцності майбутнього штучного закладного масиву.

По-друге, необхідні дослідження з вибору й обґрунтування складів твердіючих сумішей, які на заданий термін твердіння забезпечували б необхідне (нормативне) значення міцності.

Відомо, що нормативна міцність закладки визначається на підставі геомеханічного розрахунку параметрів штучних масивів із закладки перед початком відпрацювання запасів поверхів, виїмкових ділянок і окремих видобувних блоків.

Критерієм визначення міцності закладки, є забезпечення стійкості штучних закладних масивів на весь період ведення гірничих робіт у видобувних блоках.

Особливістю штучних масивів твердіючої закладки є те, що на кордонах очисного простору ці масиви оголюються. Таке положення вимагає додання закладці такої міцності, яка виключила б руйнування штучних ціликів під дією гірського тиску.

Забезпечення розрахункової міцності закладки залежить від цілого ряду властивостей вихідних матеріалів закладки і компонентів твердіючих складів, технологічних факторів приготування сумішей і умов їх тверднення в очисних камерах.

Для спрощення рішення задачі прогнозування міцності закладки та вибору раціональних складів твердіючих сумішей, що забезпечують нормативне значення міцності для конкретних умов, нами запропонована наступна методика.

Базою запропонованої методики є математична модель, що комплексно описує вплив всіх технічних і технологічних факторів на міцність закладки. Дана модель дозволяє без проведення тривалих натурних досліджень і промислових експериментів розраховувати прогнозну міцність закладки, а також підбирати склади твердіючих сумішей, що забезпечують нормативне значення міцності закладки після її затвердіння.

Використання при виробництві закладочних робіт недорогих інертних заповнювачів поряд з одночасним скороченням дорогих в'язучих компонентів дозволяє знизити собівартість підземного видобутку залізних руд.

Враховуючи екологічні переваги підземного видобутку, а також можливість утилізації поверхневих відвалів пустих порід, використовуваних в якості інертного заповнювача, запропоновані технології дозволяють не тільки раціонально використовувати сировинну базу Кривбасу, а й здійснювати високоефективний видобуток корисних копалин екологічно чистими ресурсозберігаючими технологіями.

Висновки. Практика і накопичений досвід роботи гірничодобувних підприємств показують, що сьогоднішні витрати на реалізацію заходів щодо попередження можливих надзвичайних ситуацій, пов'язаних з порушеннями денної поверхні у вигляді воронок, провалів і зон обвалення значно нижчі, ніж витрати на їх ліквідацію в майбутньому.

На наше глибоке переконання, єдиним способом, що гарантує неможливість провалів і просідань денної поверхні, є застосування систем розробки з твердіючою закладкою. При більш високій собівартості видобутку дані системи розробки дозволяють отримати економію в майбутньому, забезпечивши збереження денної поверхні.

При цьому слід сказати, що жодна високорозвинена гірничодобувна країна світу не відпрацьовує родовища корисних копалин в міській межі без наступної закладки виробленого простору. Відмовившись від систем розробки із закладкою виробленого простору в минулому, Криworізький залізорудний басейн зіткнувся з серйозною проблемою сьогодні.

Отже, подальші дослідження повинні бути спрямовані не тільки на спостереження і прогнозування зрушень ділянок денної поверхні в зоні підземних гірничих робіт. Сучасні дослідження мають бути спрямовані на розробку і вдосконалення існуючих технологій підземного видобутку залізних руд з тенденцією на перехід до систем розробки із закладкою виробленого простору.

Список літератури

1. Определение и контроль допустимых размеров конструктивных элементов систем разработки на рудниках Кривбасса / Минчермет УССР. – Кривой Рог: НИГРИ, 1987. – 75с.
2. Інструктивні указання по определению параметров этажно- камерных систем разработки по условиям проявления горного давления с увеличением глубины ведения работ на шахтах Кривбасса // Изд. НИГРИ. Кривой Рог. – 1965. - 68с.
3. Определение геометрических параметров камерных систем разработки в Кривбассе со сводообразной и шатровой формами обнажения потолочин. - Инструкция. **В.В. Цариковский, В.В. Сакович, П.И. Кишкин, А.Ф.Артеменко, А.Ф. Мигуль.** - Кривой Рог: НИГРИ. – 1994. – 17 с.
4. **Влох Н.П., Ушков С.М.** К вопросу определения предельного пролета выработанного пространства // Сб. науч. трудов НИГРИ. - Кривой Рог. - 1968. -Т.2. - С. 112-116.
5. Визначення та контроль допустимих розмірів конструктивних елементів систем розробки залізних руд/Інструкція по застосуванню. СОУ-Н МПП 73.020-142:2010.Київ.2010. 122 с.
6. Исследование и разработка геомеханического обоснования технологических схем отработки богатых руд с повышенной устойчивостью конструктивных элементов. **В.В. Цариковский, В.В. Сакович.** - Отчет НИГРИ. - № ГР018800522136. – Кривой Рог. – 1989. – 74 с.
7. **Протодаьяконов М.М.** Давление горных пород и рудничное крепление. Ч.1. М.-Л. - Новосибирск. - Госгортехиздат, 1933. – 126с.
8. **Слесарев В.Д.** Механика горных пород и рудничное крепление. - М.: Углетехиздат, 1948. – 302с.
9. **Кузнецов Г.Н.** Определение полной несущей способности кровли подземных выработок // ТР. ВНИМИ. - 1950. №22. - С.231-259.
10. **Ветров С.В.** Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд – М.: Изд. «Наука», 1975. - 232 с.
11. **Трумбачев В.Ф, Мельников Е.А.** Распределение напряжений в целиках и потолочинах камер // Сб. «Исследование распределения напряжений вокруг горных выработок». – Углетехиздат, 1959. – 44с.
12. **Калініченко О.В.** Інформаційні технології - складова процесів моніторингу та керування напружено-деформованим станом масиву / **Ступнік М.І., Калініченко В.О., Калініченко О. В., Музика І.О., Федько М.Б., Письменний С.В.** / Розробка родовищ 2015: щорічний науково-технічний збірник / редкол.: **В.І. Бондаренко** та ін.– Д: Літограф, - 2015. - С. 175–183.
13. **Калініченко О.В.** Визначення економічних ризиків від порушень денної поверхні в результаті підземного видобутку руд/ **Ступнік М.І., Калініченко В.О., Калініченко О.В.** / Вісник КНУ: Кривий Ріг, 2012. – Вип. 32. – С. 246-250.
14. **Калініченко О.В.** Економічна оцінка ризиків можливих геомеханічних порушень денної поверхні в полях шахт Кривбасу / **Ступнік М.І., Калініченко В.О., Калініченко О.В.** / Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ. – 2012. – № 6. – С. 126-130.
15. Сучасні технології розробки рудних родовищ: Збірник наукових праць за результатами роботи II Міжнародної науково-технічної конференції. – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2012. – 140 с.

Рукопис подано до редакції 17.04.15

ЕНТРОПІЯ, ХАРАКТЕРИСТИЧНІ ФУНКЦІЇ ТА TS-ДІАГРАМА ТЕРМОДИНАМІЧНОГО ПРОЦЕСУ (КОНКРЕТИЗАЦІЯ, УНАОЧНЕННЯ)

«Якби у результаті якоїсь світової катастрофи всі нагромаджені наукові знання були б знищені, і до прийдешніх поколінь живих істот перейшла б тільки одна фраза, то яке твердження, складене з найменшої кількості слів, принесло б найбільшу інформацію? Я вважаю, що це - атомна гіпотеза: всі тіла складаються з атомів - маленьких тілець, які знаходяться у безперервному русі, притягуються на невеликій відстані, але відштовхуються, якщо щільніше притиснути їх одне до одного».

Р. Фейнман (1918-1988), амер. фізик-теоретик

Автором виокремлена тема курсу фізики «Ентропія S та характеристичні функції стану термодинамічної системи», що конче потребує **конкретизації** висвітлення зв'язків між об'єктами вивчення, хоч у цілому перевага надається прийому **абстрагування**. При обґрунтуванні необхідності пропозицій конкретизуючих доповнень викладу вказаної теми автор спирається на висновки психології та педагогіки.

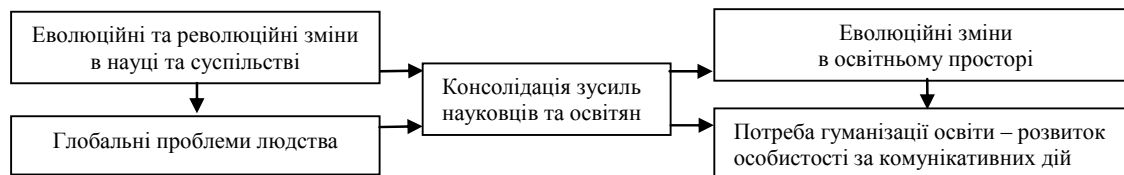
План вивчення теми подається таблицею об'єктів вивчення з їх аналітичними виразами. Мотивуючим чинником є демонстрація TS -діаграми циклу Карно (з курсу технічної термодинаміки), акцент на її доцільності і своєрідній простоті у порівнянні з pV -діаграмою цього циклу.

Можливість взяти OS вісю координат обґрунтовується аналітично та візуально – через демонстрацію розподілів двох молекул по двох і трьох просторово-енергетичних комірках; формулюються висновки.

Далі обґрунтовується існування максимального значення ентропії $S_{\max}$ та показ характеристичних функцій на TS -діаграмі ізотермічного процесу.

Основними **доповненнями**, запропонованими автором для конкретизації фактичного матеріалу вказаної теми і його згрупування, є **цілісний табличний образ** – розподіл двох молекул по просторово-енергетичних комірках (статистика Больцмана) та **цілісний графічний образ** комплексу характеристичних функцій на TS -діаграмі (авторський). Автор стверджує, що ці доповнення сприяють засвоєнню фізичних понять вказаної теми.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. «Все тече, все змінюється», - відмічав Геракліт у VI ст. до н.е. **Зміни** в науковому і освітньому просторі можна подати схемою:



Зміни у науці і суспільстві зазвичай ведуть до змін в освіті. Для розв'язання відповідних проблем віднаходяться резерви - творчі напрацювання науковців та освітян (корекція змісту матеріалу, інтеграція знань з фундаментальних, загально-технічних та спеціальних дисциплін, підбір методичних підходів та організаційних форм з опорою на висновки психології та педагогіки).

Розумові здібності кожного студента потребують **навантаження** для свого **розвитку**; емоційні здібності потребують підживлення, тому навчальний матеріал треба висвітлювати так, щоб він викликав позитивний емоційний відгук.

Якщо відсутнє підґрунтя для розуміння навчального матеріалу у певній його частині (а така проблема виявлена у навчальних посібниках і підручниках загального курсу фізики при висвітленні включених у програму питань «Ентропія. Характеристичні функції стану термодинамічної системи»), то це негативно впливає на психічний стан студента. У кращому разі тут спрацьовує шаблон трьох «з»: «зазубрив, здав, забув». Але підхід механічного запам'ятовування - ганебний для ВТНЗ! Тут повинен формуватися стійкий **інтерес** до науки і особливо - **методологія** пізнання і самоосвіти.

Треба всебічно стимулювати процес мислення. Коли студент слухає виклад нового матеріалу, спостерігає демонстрацію фізичного експерименту чи аналіз діаграми, то спочатку включаються в роботу його відчуття і сприйняття. І тільки після цього - запам'ятовування, встановлення асоціацій, осмислення, переробка тощо [16, с. 517].

Як відомо, шляхом формування образного мислення (ейдетичні методики) можна із звичайного учня зробити навіть обдарованого! [3, с. 36]

Для процесу вивчення фізики образне мислення має велике значення. Образна пам'ять довго утримує, зокрема, такі математичні образи, як лінії, фігури, тіла, взаєморозміщення їх елементів. Правильно сформована образна модель явища, що вивчається, допомагає не тільки проникнути в суть цього явища, але і знайти шляхи до розв'язання творчих задач.

Отже, **викладач** як організатор навчального процесу **повинен** обирати оптимальні форми, методи і прийоми побудови навчального процесу, коригувати зміст навчального матеріалу шляхом уточнення, доповнення, конкретизації, верифікації, абстрагування, унаочнення тощо.

Аналіз досліджень і публікацій. Однією з проблем, що потребують негайного розв'язання, є, як вказувалось вище, недостатність змісту навчального матеріалу з теми «Ентропія. Характеристичні функції стану термодинамічної системи» у рекомендованих підручниках і посібниках [1,4,5,7,8,11,15,17,18,19] та ін. Тут має місце намагання змістити пріоритети у бік абстрактного мислення, але не вистачає конкретизуючих ланок для ланцюжка логічних міркувань, витісняється образне мислення, таке цінне і необхідне.

У підручнику [8, с. 406] автори І.М. Кучерук та інші фактично підводять до побудови TS -діаграми, вказуючи, що вираз $\delta Q = TdS$ для елементарної кількості теплоти має таку ж структуру, як і для елементарної роботи $\delta A = pdV$. Звідси T - термічна узагальнена сила, інтенсивний параметр теплообміну, S - узагальнена координата, екстенсивний параметр теплообміну.

Але останній вислів потребує обґрунтування, конкретизації (тут у пригоді стає розгляд станів 1 і 2 термодинамічної системи на мікрорівні).

Стосовно характеристичних функцій стану термодинамічної системи у ряді переглянутих посібників та підручників загального курсу фізики надається лише коротка словесна інформація та аналітичні вирази.

Постановка завдання. Оскільки виклад матеріалу вказаної теми у посібниках та підручниках загального курсу фізики важко сприймається студентами (за відсутності графічного тлумачення і конкретизації), автор пропонує більш деталізований підхід висвітлення теми.

Зміст програмового матеріалу розділу «Термодинаміка» загального курсу фізики для ВТНЗ слід **доповнити**:

- у частині підтвердження ймовірнісного характеру ентропії S , її зв'язку з об'ємом;
- у частині введення TS -діаграми для зображення характеристичних функцій стану термодинамічної системи та показу інших її переваг (унаочнення чинників впливу на ККД циклу Карно, другого закону термодинаміки тощо);
- у частині тлумачення внутрішньої енергії U , вільної енергії F як міри **якісно-споріднених** форм руху матерії; а також тлумачення ентропії як міри обезцінення енергії.

Пропонується розгляд цих питань на прикладі робочого тіла теплового двигуна в процесі 1-2 прямого циклу Карно.

Викладення матеріалу та результати. Розгляд теми «Ентропія. Характеристичні функції стану термодинамічної системи» доцільно почати з показу зведеної таблиці цих понять (табл. 1), де розміщена основна інформація, отримана з підручників загального курсу фізики, курсу технічної термодинаміки та інших.

S, U, I, F, Z - це функції стану термодинамічної системи, останні чотири з них називаються характеристичними функціями (або термодинамічними потенціалами), оскільки вони та їх похідні дають можливість охарактеризувати термодинамічні властивості системи. В останній колонці табл. 1 - необхідна умова характеристичності функції - її повний диференціал.

Таблиця 1

Назва функції стану т-д. системи	Формула	Повний диференціал
Ентропія: (за Больцманом) (за Клаузіусом)	$S = k \ln W$ $dS = \frac{\delta Q}{T} \rightarrow$	
Внутрішня енергія	$U = C_V \nu RT$	$dU = TdS - pdV$
Ентальпія (або теплова функція)	$I = C_p \nu RT = U + pV$	$dI = TdS - Vdp$
Вільна енергія (від <i>Free</i>)	$F = U - TS$	$dF = -pdV - SdT$
Термодинамічний потенціал Гіббса	$Z = U - TS + pV = I - TS$	$dZ = Vdp - SdT$

Основними з п'яти функцій стану термодинамічної системи вважається ентропія S та внутрішня енергія U . Це фундаментальні поняття, вони відіграють вирішальну роль у формуванні наукової картини світу як основи вироблення наукового світогляду.

(Слід відмітити, що формула ентропії Л. Больцмана, яка є вершиною його вчення про світобудову, висічена в якості епітафії на його пам'ятнику).

Студенти повинні добре орієнтуватися у різних класифікаціях енергії, пам'ятати, що ентропія є мірою обезцінення енергії, і вміти застосовувати свої знання при аналізі різних явищ, і, зокрема, при аналізі процесів роботи теплових двигунів, технічних установок тощо.

Для кращого сприйняття матеріалу теми пропонуємо подати характеристичні функції у **графічній інтерпретації**. Найпростішою, напевно, буде інтерпретація в координатах S, T , які широко використовуються у технічній термодинаміці. Наприклад, для зображення циклу Карно користуються не тільки pV -діаграмою (рис. 1), а й TS -діаграмою (рис. 2). Тут процеси 1-2-3-4-1 - відрізки прямих ліній (а не кривих, як на рис.1).

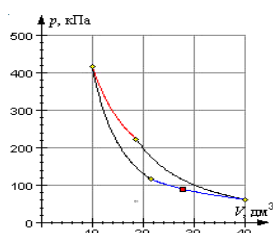


Рис. 1

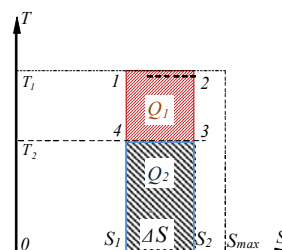


Рис. 2

У довіднику [7, с.192]

пропонується цикл Карно подавати pV - і TV -діаграмами. Зауважимо, що тут на TV -діаграмі цикл Карно помилково подано паралелограмом, а треба трапецією, рис. 3 - за пропорцією

$$(V_2/V_1) = (V_3/V_4).$$

Звертаємо увагу, що точне перенесення процесів із pV -діаграми на TS -діаграму подано, зокрема, у підручнику [17, с.63].

Переконливим **обґрунтуванням** правомірності вибору OS віссю координат буде **виявлення зв'язку між ентропією S і об'ємом V** та унаочнення цього зв'язку.

З означення ентропії за Клаузіусом, тобто з аналітичного виразу ентропії в диференціальній формі

$$dS = \frac{\delta Q}{T}$$

можна одержати вираз **зміни ентропії**, зокрема, в ізотермічному процесі 1-2 (яка широко використовується в термодинаміці)

$$S_2 - S_1 = \nu R (\ln V_2 - \ln V_1). \quad (1)$$

З розглянутих аналітичних виразів приросту ентропії маємо **висновок 1**: при зростанні об'єму газу в ізотермічному процесі зростає його ентропія.

Залежність (1) між ентропією та об'ємом підтверджує правомірність вибору OS віссю координат, і отже, побудови TS -діаграми.

Оскільки $\nu R = kN$, маємо із (1)

$$\Delta S = \nu R \ln \frac{V_2}{V_1} = kN \ln \frac{V_2}{V_1} = k \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^N \quad (2)$$

Щоб ця залежність краще сприймалась, пропонуємо її **візуалізувати**, звернувшись до розгляду ізотермічного процесу 1-2 на мікрорівні.

Спочатку нагадаємо, що **макростан** газу з фіксованими значеннями макропараметрів фактично являє собою **зміну мікростанів**, які відрізняються один від одного знаходженням молекул в різних частинах об'єму та перерозподілом енергії між ними. У переглянутій літературі зазвичай надається означення термодинамічної ймовірності та ентропії даного стану системи.

Термодинамічною ймовірністю W даного стану системи називається кількість мікростанів, що відповідає цьому макростану.

Ентропією даного стану системи називається функція $S = k \ln W$, де k - стала Больцмана.

Зміна ентропії двох станів

$$\Delta S = k \ln \frac{W_2}{W_1}. \quad (3)$$

Відмітимо, що у довіднику [7, с.197] після цих означень розглядається безчисловий приклад, і вже в ньому наводяться формулювання означень макро- й мікростанів.

Тепер розглянемо ізотермічний процес 1-2 прямого циклу Карно, де об'єм газу під поршнем (рис. 4) збільшується від V_1 до V_2 .

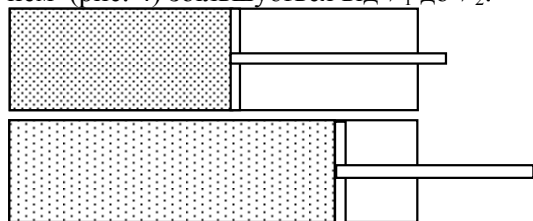


Рис. 4

Нехай маємо відношення цих об'ємів $(V_2/V_1)=3/2$. Розглядаючи *стан 1* на мікрорівні, в об'ємі V_1 виділимо $n_1=2$ малесенькі комірки, що містять $N_1=2$ молекули з мітками *a* та *b*, то розподіл їх по комірках матиме вигляд (табл. 2).

Кількість варіантів розподілу, як відомо з математики, $\omega_1 = n_1^{N_1} = 4$.

Таблиця 2

Варіанти i	1	2	3	4($=n^N$)	$\sum_{i=1}^4 p_i = 1$
комірки: I	<i>ab</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	-	
II	-	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>ab</i>	
ймовірність $p_i = \left(\frac{1}{n}\right)^N$	$\frac{1}{2^2}$	$\frac{1}{2^2}$	$\frac{1}{2^2}$	$\frac{1}{2^2}$	

Таблиця 3

i	1	2	3	...	9($=n^N$)
комірки: I	<i>ab</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	...	-
II	-	<i>b</i>	<i>a</i>	...	-
III	-	-	-	...	<i>-ab</i>
ймовірність $p_i = \left(\frac{1}{n}\right)^N$	$\frac{1}{3^2}$	$\frac{1}{3^2}$	$\frac{1}{3^2}$	...	$\frac{1}{3^2}$

Далі розглянемо *стан 2*. Об'єм збільшився так, що $N_1=2$ молекули вже займають не 2, а 3 комірки ($n_2=3$). Тоді $\omega_2 = n_2^{N_1} = 9$ (табл. 3). Система сама змінила стан 1 на стан 2.

З розгляду газових станів 1 і 2 на мікрорівні можемо зробити висновки.

Висновок 2: з розширенням газу розширюється таблиця варіантів розподілу молекул по коміркам Больцмана.

Висновок 3: з розширенням газу зростає хаос, оскільки ймовірність попадання конкретної молекули газу в дану комірку зменшується (у нашому випадку з $1/2$ до $1/3$), і отже, місцезнаходження конкретної молекули важче визначити.

Розгляд станів 1 і 2 на мікрорівні дає можливість продовжити рівність (2)

$$\Delta S = k \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^N = k \ln \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^N,$$

оскільки брали $\frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{3}{2}$.

Висновок 4: розуміння змісту виразу $\omega_1 = n_1^{N_1}$ дозволяє уявити зміст виразу $(n_2/n_1)^N$, а отже, й $(V_2/V_1)^N$ та W_2/W_1 із виразу (3), тобто дозволяє виявити асоціативний зв'язок між означеннями приросту ентропії за Больцманом і за Клаузіусом. І це є своєрідною верифікацією означення (3) приросту ентропії за Больцманом.

З висновків 1-4 випливає **висновок 5:** зі зростанням **хаосу** зростає ентропія. Ентропія є мірою хаотичності руху молекул, мірою невпорядкованості термодинамічної системи.

З висновку 2 та ін. маємо **висновок 6:** табл. 2 й 3 в парі легко запам'ятовуються як цілісний образ - збільшення ентропії даної кількості газу зі збільшенням його об'єму (у табл. 2 є тільки 4 варіанти розподілу молекул, а в табл. 3 їх аж 9).

Оскільки за означенням Клаузіуса зміна ентропії системи в ізотермічному процесі, який є оборотним, буде

$$\Delta S = \frac{Q}{T},$$

то на TS -діаграмі (рис. 5) зміна ентропії ΔS - це основа прямокутника площею Q і висотою T .

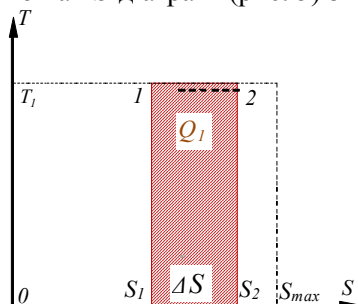


Рис. 5

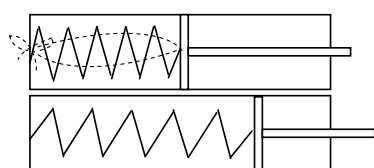


Рис. 6

Аналізуючи табл. 2, бачимо, що є заповнені комірки і є пусті комірки. То і на поршень наноситимуться удари меншої кількості молекул у середньому. Звідси **висновок 7**: енергія молекул системи у стані 2 частково обезцінилась у порівнянні з енергією у стані 1 (хоч кожна молекула має в середньому ту ж кінетичну енергію). І саме зміна ентропії є мірою обезцінення енергії термодинамічної системи. Енергія ударів молекул об стінки циліндра – це обезцінена або зв'язана енергія TS .

Рис. 4 асоціюється з рис. 6, де бачимо «зв'язану енергією» стисненої (до певної міри) пружини у стані 1 і стані 2.

Поняття **вільної енергії** F як здатності термодинамічної системи виконувати роботу асоціюється з потенціальною енергією стисненої пружини.

На рис. 7 **зв'язана енергія** стану 1 - це прямокутник над відрізком OS_1 , а **зв'язана енергія** стану 2 - це прямокутник над відрізком OS_2 . Прямокутник над відрізком S_1S_2 - це максимально можлива **робота** $A=Q$ в ізотермічному процесі 1-2.

Оскільки замкнена термодинамічна система завжди через деякий скінчений проміжок часу **прийде до стану рівноваги** - незалежно від початкового стану (це загальний закон термодинаміки), а в стані рівноваги ентропія системи максимальна, то на рис. 7 слід показати S_{max} .

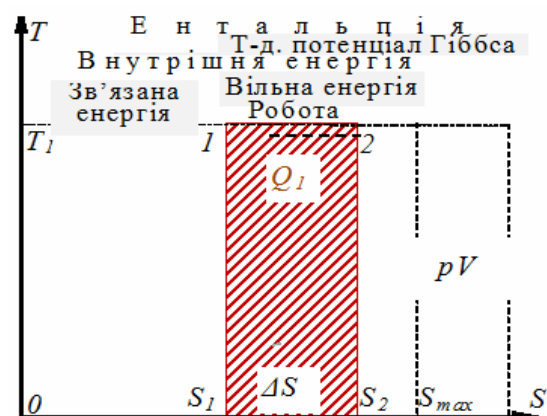


Рис. 7

Прямокутник над відрізком S_1S_{max} - це **вільна енергія** F_1 у стані 1.

У стані 2, коли газ буде мати ентропію S_2 його вільна енергія - це прямокутник над S_2S_{max} . Тоді робота $A=F_1-F_2$.

Внутрішня енергія $U = F + TS$, **ентальпія** I та **термодинамічний потенціал Гіббса** Z теж подані відповідними прямокутниками на рис. 7.

Отже, зображення характеристичних функцій (в комплексі) на TS -діаграмі ізотермічного процесу 1-2 є унаочненням їх логічних зв'язків:

послідовні значення ентропії S_1S_2 є показниками наближення системи до рівноважного стану; ентропія системи є показником можливості

реалізації в ній термодинамічних процесів;

внутрішня енергія $U = F + TS$ не змінюється **кількісно**, але змінюється її **якість** (обезцінюється);

внутрішня енергія U , вільна енергія F , зв'язана енергія TS - є мірою споріднених форм руху матерії, а ентропія є мірою обезцінення внутрішньої енергії.

Додамо, що TS -діаграму циклу Карно (див. рис. 2) можна використати як унаочнення при аналізі чинників впливу на ККД циклу.

Крім того, TS -діаграму ізотермічного процесу доцільно використати при тлумаченні II закону термодинаміки. Коли є реальні втрати тепла ($Q_{газу} < Q_{нагрівника}$), то процес необоротний (пунктир під 1-2 на рис. 5). Тоді, розглядаючи елементарні відрізки процесу, одержимо

$$dS_{об} > \frac{\delta Q_{газу}}{T}.$$

Це один з виразів II-го закону термодинаміки.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Розробка запропонованого підходу викладу теми викликана необхідністю підвищення ефективності освітнього процесу. Це

виявляється можливим завдяки тому, що традиційний текст теми (з аналітичними символами) унаочнюється графічними символами, конкретизується.

Оскільки у навчальні програми вносяться зміни після відповідних нарабків і пропозицій науковців та освітян, і зараз до програми загального курсу фізики введено розгляд понять ентропії та характеристичних функцій термодинамічних процесів, а у відповідній літературі ці питання недостатньо висвітлені, то автор пропонує ввести наступні апробовані **доповнення**:

Верифікація означення приросту ентропії у формулюванні Больцмана через таблиці (як цілісний образ) розподілу варіантів заповнення просторово-енергетичних комірок Больцмана.

Унаочнення логічних зв'язків між ентропією і характеристичними функціями стану термодинамічної системи - шляхом введення в курс фізики TS -діаграми (з курсу термодинаміки), створення цілісного графічного зображення комплексу характеристичних функцій на TS -діаграмі ізотермічного процесу.

Наразі ці доповнення можна подати в опорному конспекті, а у подальшому - як доповнення до підручника.

Автор сподівається на позитивні відгуки.

Список літератури

1. Болгарский А.В., Голдобеев В.И., Идеатулин Н.С., Толкачев Д.Ф. Сборник задач по термодинамике и теплопередаче. – М.: Высшая школа, 1972. – 304 с.
2. Грищенко Г. Курс теоретичної фізики. Основні поняття статистичної фізики: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – К.: НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2005. – 43 с.
3. Гулка З., Тудес С. Ейдетичні методи у навчанні. // Педагогічні науки. Зб. наук. праць. – Вип. 15. – ч.1. – Херсон: Айлант, 2000. – С. 36-40.
4. Ицкович А.М. Основы теплотехники. – М.: Высшая школа, 1970. – 304 с.
5. Карякин Н.И., Быстров К.Н., Киреев П.С. Краткий справочник по физике. – М.: Высшая школа, 1962. – 560 с.
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров (перевод с англ.) / «Наука». – М. – 1968. – 720с.
7. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики. Справочник. – К.: Наукова думка, 1989. – 864 с.
8. Кучерук І.М., Горбатюк І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики: Навч. посібник для студентів вищих техн. і пед. закладів освіти. Т.1. – К.: Техніка, 1999. – 536 с.
9. Микольченко В.С. Философсько-світотвірні засади освіти. // Підготовка фахівців у системи професій. Матеріали Всеукраїнської науково-методичної конференції. – Кривий Ріг: КТУ, 2009.- С. 23-25.
10. Мякишев Г.Я. Динамические и статистические закономерности в физике. – М.: Наука, 1973. – 171 с.
11. Несмашний Є.О. Класична механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. – Кривий Ріг: Видавничий Дім, 2008.- 211 с.
12. Осипов А.И. Термодинамика вчера, сегодня, завтра. Часть 1. Равновесная термодинамика / Соросовский Образовательный Журнал. 1999. №4. – С. 79-85.
13. Повар С.В. Ентропія, хаос і порядок (сучасне розуміння) // Вісник КНУ, Випуск №35. – Кр.Ріг: Вид. центр КНУ, 2013. – С. 249-253
14. Повар С.В., Повар Н.В. Приклади застосування теорії ймовірностей. // Природнична освіта і наука для сталого розвитку України: проблеми і перспективи/ матеріали Всеукраїнської науково-практичної конф. – Суми: Вид-во «Ярославна», 2014 р. – С. 56-58.
15. Савельев И.В. Курс общей физики, т.1. – М.: Наука, 1978. – 470 с.
16. Столяренко Л.Д. Основы психологии. – Ростов н/Д: Феникс, 2001. – 672 с.
17. Техническая термодинамика. Учебник для ВТУЗов под. ред. В.И. Крутова. – М.: Высшая школа, 1971. – 472 с.
18. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики, т.1. – М.: Госизд.техн.-теорет.лит., 1954. – 464 с.
19. Яворский Б.М. и Детлаф А.А. Справочник по физике: 3-е изд. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 624 с.

ОПОДАТКУВАННЯ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК МАЙДАНЧИКІВ БІЛЯ ЗАКЛАДІВ ГРОМАДСЬКОГО ХАРЧУВАННЯ НА ПРИКЛАДІ МІСТА КИСВА

Запропоновано шляхи наповнення дохідної частини місцевих бюджетів за рахунок оподаткування майданчиків закладів громадського харчування. Наведено основні заклади громадського харчування згідно розпорядження виконавчого органу київської міської ради, плата за використання земельних ділянок із земель загального користування для розміщення майданчиків біля закладів громадського харчування як орендну плату за землі державної чи комунальної власності. Розвиток та ефективне функціонування цього сектору є надзвичайно гострою проблемою в сучасних умовах кризового стану економіки України у зв'язку з наявністю низки нерозв'язаних проблем, серед яких складна політична ситуація, корупція, суперечливе та неоднозначне законодавство, високе податкове навантаження та, як наслідок, значна тінізація економіки. Забезпечення належного функціонування земель загального користування з урахуванням планів земельно-господарського устрою відповідного населеного пункту. Розглянуто питання майданчиків для харчування як місце для надання послуг з харчування біля стаціонарного закладу ресторанного господарства. За результатами опрацьованого матеріалу встановлено, що більшість майданчиків біля закладів громадського харчування зосереджено у центрі міста і поблизу громадських центрів, на вказаних територіях вартість землі вища від середньої, тому і сума надходжень в дійсності буде більшою. Об'єктами дослідження обрано майданчики, розташовані у Печерському і Шевченківському районах Києва, що входять до території історичного центру міста. Об'єкти занесено до адресного розміщення відкритих майданчиків для харчування біля стаціонарних закладів ресторанного господарства.

Постановка проблеми. На сьогодні оподаткування земельних ділянок майданчиків біля закладів громадського харчування є актуальною проблемою, яка полягає у тому, що розвиток та ефективне функціонування цього сектору є надзвичайно гострою проблемою в сучасних умовах кризового стану економіки України у зв'язку з наявністю низки нерозв'язаних проблем, серед яких складна політична ситуація, корупція, суперечливе та неоднозначне законодавство, високе податкове навантаження та, як наслідок, значна тінізація економіки.

Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Відомо, що землі загального користування повинні забезпечувати належне функціонування населених пунктів, використовуватись з урахуванням планів земельно-господарського устрою відповідного населеного пункту. Виходячи з норм чинного законодавства України [1,2] землі загального користування звільнені від плати за землю, але на сьогодні не поодинокі випадки використання цих земель в комерційних цілях, без сплати земельного податку за їх використання.

Викладення матеріалу та результатів дослідження. Майданчики для харчування розглядається як місце для надання послуг з харчування біля стаціонарного закладу ресторанного господарства, який відкритий для обслуговування населення на певний сезон року, розміщений на відкритому повітрі (під тентами, на верандах, у павільйонах легкого типу) або виготовлений з полегшених конструкцій з урахуванням основних вимог до споруд, визначених технічним регламентом будівельних виробів, будівель і споруд, та встановлений тимчасово, без улаштування фундаменту, не є капітальною спорудою. Залежно від типу конструкцій, які використовуються для влаштування, та періоду функціонування майданчики поділяються на відкриті (літні) майданчики та сезонні майданчики [4].

В табл. 1 наведено інформаційну довідку розподілу закладів громадського харчування згідно розпорядження виконавчого органу київської міської ради [6].

Таблиця 1

Розподіл по районах Києва майданчиків закладів громадського харчування

Район міста Києва	Площа району міста, кв.км	Кількість відкритих майданчиків у районі	Площа відкритих майданчиків, кв.м	Частка площі по району від загальної площі, %	Щільність розміщення майданчиків у районах, од./кв.км
Голосіївський	156	133	5 252,72	11,47	0,85
Дарницький	134	68	3 654,77	7,98	0,51
Деснянський	148	30	1 554,00	3,39	0,20
Дніпровський	67	98	4 334,75	9,46	1,46
Оболонський	110	80	4 087,90	8,92	0,73

Печерський	27	156	7 037,31	15,36	5,78
Подільський	34	92	4 034,20	8,81	2,71
Святошинський	101	62	1 862,00	4,06	0,61
Солом'янський	40	75	3 022,87	6,60	1,88
Шевченківський	25	241	10 972,03	23,95	9,64
Всього по Києву	842	1 035	45 811,55	0,000054	1,23

При проведенні візуального дослідження вулиць і тротуарів міста Києва (земель загального користування) аналізувалося розміщення майданчиків біля закладів громадського харчування, зайняті стільцями, кріслами, столами, парасольками, тентами, легкими чи капітальними конструкціями, для яких запропоновано поділ на 4 типи за видом конструкції і за коефіцієнтом завантаження.

Об'єктами дослідження обрано майданчики, розташовані у Печерському і Шевченківському районах Києва, що входять до території історичного центру міста. Об'єкти занесені до адресного розміщення відкритих майданчиків для харчування біля стаціонарних закладів ресторанного господарства [4].

Майданчики першого типу рис. 1 розташовуються біля стаціонарних закладів ресторанного господарства щодня у теплий період року встановлюються столи і стільці під парасольками або навісом.



Рис. 1. Майданчики першого типу

Літні майданчики, згідно з Порядком розміщення майданчиків для харчування біля стаціонарних закладів ресторанного господарства в місті Києві, діють з 01 травня до 31 жовтня відповідного року.

Враховуючи географічне положення, кліматичні і метеорологічні особливості міста Києва, для першого типу майданчиків коефіцієнт завантаженості можна розрахувати: $6/12 \text{ місяців} \cdot 24/30 \text{ днів} \cdot 12/24 \text{ годин} = 0,20$.

Перший об'єкт - кафе «Кофе Хауз» - розташований у Печерському районі по вул. Шота Руставелі, 10. Номер економіко-планувальної зони 60 (вартість 1 кв.м для $K\phi = 2,5$ - 4 938,25 грн). [3]. Зайнятий окремими столами і кріслами, розміщеними під легким накриттям. Займає площу 15 кв.м, ширина тротуару 7,5 м, частина тротуару між кафе і дорогою 4,5 м.

Нормативна грошова оцінка земельної ділянки становить сто сорок сім тисяч чотириста двадцять вісім гривень дев'яносто шість копійок.

На майданчики другого типу рис. 2 встановлюються тимчасові полегшені збірні конструкції, що мають розміщуватися біля закладу харчування у період з 01 травня до 31 жовтня відповідного року. Для 2 типу майданчиків коефіцієнт завантаженості можна розрахувати як: $6/12 \text{ місяців} = 0,50$.



Рис. 2. Майданчики другого типу

Другий об'єкт - кафе «Хінкалі» - розташований у Печерському районі по вул. Шота Руставелі, 4а. Номер економіко-планувальної зони 60 (вартість 1 кв.м для $K\phi=2,5$ - 4 938,25 грн.) [3]. Зайнятий дерев'яною конструкцією з легким накриттям, в якій розміщено столи і стільці. Займає площу 39,84 кв. м, ширина тротуару 7 м, частина тротуару поза кафе 2,5 м.

Нормативна грошова оцінка земельної ділянки становить триста дев'яносто одну тисячу п'ятсот сімдесят одну гривню тридцять три копійки.

Майданчики третього типу рис. 3 зайняті закритими конструкціями, що функціонують протягом всього року. У разі потреби розширення вулично-дорожньої мережі згідно з генеральним планом, такі конструкції легко демонтуються. Коефіцієнт завантаженості для них 1,0.



Рис. 3. Майданчики третього типу

Третій об'єкт - кафе «Kitsch» - розташований у Шевченківському районі по вул. Пушкінська, 9-а. Номер економіко-планувальної зони 61 (вартість 1 кв.м для $K\phi = 2,5$ - 5 854,53 грн) [3]. Зайнятий закритою конструкцією (з пластику і скла) без фундаменту. Займає площу близько 25 кв.м, ширина тротуару 5 м, частина тротуару від кафе до дороги 2,5 м, ширина проходу 1,5 м (із врахуванням розміщених елементів зовнішнього оформлення).

Нормативна грошова оцінка земельної ділянки становить двісті шістдесят три тисячі чотириста п'ять гривень дев'яносто копійок.

Майданчики четвертого типу рис. 4 прилягають до стаціонарних закладів харчування сконструйовані прибудови, що функціонують протягом всього року. При необхідності розширення вулично-дорожньої мережі конструкції, змонтовані на додатковому фундаменті складно демонтуються, що потребує додаткових витрат. Для четвертого типу майданчиків коефіцієнт завантаженості 1,0.



Рис. 4. Майданчики 4 типу

Четвертий об'єкт - ресторан «Варенична № 1» - розташований у Печерському районі по вул. Еспланада, 30. Номер економіко-планувальної зони 60 (вартість 1 кв.м для $K\phi=2,5$ - 4 938,25 грн.) [3]. Зайнятий конструкцією (з дерева, пластику й скла) на фундаменті. Займає площу 69,8 кв.м, ширина тротуару 8 м, частина тротуару поза кафе 5,5 м, від кафе до зелених насаджень 3 м.

Нормативна грошова оцінка земельної ділянки становить шістсот двадцять тисяч триста двадцять вісім гривень вісімдесят одну копійку.

Розрахуємо плату за користування земельними ділянками із земель загального користування для розміщення майданчиків біля закладів громадського харчування як орендну плату за землі державної чи комунальної власності.

У випадку оподаткування земельних ділянок об'єктів некапітального будівництва, доцільно при розрахунку плати за землю додатково застосувати коефіцієнт функціонального призначення ($K\phi$), згідно з додатком 2 до Порядку визначення обсягів пайової участі (внеску) власників тимчасових споруд торговельного, побутового, соціально-культурного чи іншого призначення для здійснення підприємницької діяльності, засобів пересувної дрібно роздрібною торговельної мережі, майданчиків для харчування біля стаціонарних закладів ресторанного господарства в утриманні об'єктів благоустрою міста Києва [6].

Приймемо для розрахунку, що майданчики першого типу - «сезонні майданчики для харчування біля стаціонарних закладів ресторанного господарства» - коефіцієнт функціонального призначення 1,00; майданчики другого, третього і четвертого типу - «бари, кафе, кафетерії (з продажем тютюнових виробів, пива, алкогольних чи слабоалкогольних напоїв)» - коефіцієнт функціонального призначення 2,00.

Доцільним взяти до уваги коефіцієнти завантаженості земельних ділянок K_z , зайнятих майданчиками різних: для ділянки №1 (перший тип) - 0,20; для ділянки №1 (другий тип) - 0,50; для ділянки №3 і №4 (третій і четвертий тип) - 1,00.

У зв'язку з тим, що спорудження конструкції на додатковому фундаменті (майданчики четвертого типу) забороняється, пропонується крім плати за землю щорічно сплачувати штраф у обсязі двократного розміру плати за землю і, у разі необхідності, компенсувати витрати на демонтаж конструкції.

Отже, орендна плата для земельних ділянок, нормативна грошова оцінка яких обчислена вище, із врахуванням запропонованих коефіцієнтів, складає:

для ділянки №1: $147428,96 \cdot 8\% \cdot 1,00 \cdot 0,20 = 2358,86$ (грн/рік);
 для ділянки №2: $391571,33 \cdot 8\% \cdot 2,00 \cdot 0,50 = 31325,71$ (грн/рік);
 для ділянки №3: $263405,90 \cdot 8\% \cdot 2,00 \cdot 1,00 = 42144,94$ (грн/рік);
 для ділянки №4: $620328,81 \cdot 8\% \cdot 2,00 \cdot 1,00 = 99252,61$ (грн/рік).

Для оцінки можливого збільшення надходжень приводиться наступний розрахунок: середня сума річних надходжень від оподаткування 1 кв. м ділянки, що використовується для комерційного використання, множиться на загальну площу зареєстрованих майданчиків по Києву, приймається, що площі, зайняті майданчиками різних типів, однакові.

Розрахунок середньої суми надходжень від плати за землю Π_z для розглянутих ділянок всіх типів

Тип 1: $K_{m2} = 5,12$,	$S = 15$ кв.м	$\Pi_z = 2358,86$ грн;
Тип 2: $K_{m2} = 5,12$,	$S = 39,84$ кв.м	$\Pi_z = 31325,71$ грн;
Тип 3: $K_{m2} = 6,07$,	$S = 25$ кв.м	$\Pi_z = 31325,71$ грн;
Тип 4: $K_{m2} = 5,12$,	$S = 69,8$ кв.м	$\Pi_z = 99252,61$ грн;

Середнє арифметичне значення K_{m2} по місту Києву 1,4884;

Загальна площа земельних ділянок, зайнятих майданчиками - 45811,55 кв.м;

$$\left(\frac{2358,86}{5,12 \times 15} + \frac{31325,71}{5,12 \times 39,84} + \frac{42144,94}{6,07 \times 25} + \frac{99252,61}{5,12 \times 69,8} \right) \times 1,4884 = 1101,03 \text{ (грн/кв.м)}$$

Отже, сума надходжень від орендної плати складатиме

$$1 \times 101,03 \times 45\,811,55 = 50 \times 439 \times 730,97 \text{ грн/рік.}$$

Розрахуємо приблизне значення (із заміною зонального коефіцієнта кожної економіко-планувальної зони середнім арифметичним значенням для всієї території Києва) суми надходжень від плати за землю для кожного району Києва [5-9].

Для обчислення площі майданчиків у кожному районі табл. 1, відповідно, множиться на розраховане значення надходжень від використання 1 кв. м земельної ділянки із земель загального користування табл. 2.

Таблиця 2

Можливі надходження від плати за земельні ділянки, зайняті майданчиками біля закладів громадського харчування в місті Києві

Індикативні показники по доходах загального фонду бюджету міста Києва на 2014 р.		Можливі додаткові надходження
найменування доходів згідно із бюджетною класифікацією	плата за землю, тис. грн.	плата за земельні ділянки, зайняті майданчиками, тис. грн.
Голосіївський район	308 672,30	5783,40
Дарницький район	186 261,90	4024,01
Деснянський район	137 703,80	1711,00
Дніпровський район	181 873,80	4772,69
Оболонський район	242 870,70	4500,90
Печерський район	245 953,90	7748,29
Подільський район	162 895,40	4441,78
Святошинський район	159 167,10	2050,12
Солом'янський район	162 010,90	3328,27
Шевченківський район	252 590,20	12080,53
Міський бюджет	2 328 094,10	50439,73

Виходячи з даних табл. 2 можна зазначити, що надходження збільшаться, як мінімум, на 2,17 %.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Більшість майданчиків біля закладів громадського харчування зосереджено у центрі міста і поблизу громадських центрів, на вказаних територіях вартість землі вища від середньої, тому і сума надходжень в дійсності буде більшою.

Список літератури

1. Земельний кодекс України № 2768-III від 25.10.2002.
2. Податковий кодекс України Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2011, № 13-14, № 15-16, № 17, С. 112.
3. Рішення Київської міської ради від 26.07.2007 №43/1877 «Про затвердження технічної документації з нормативної грошової оцінки земель м. Києва та порядку її визначення.
4. Наказ міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 21 жовтня 2011 року № 244 «Про затвердження Порядку розміщення тимчасових споруд для провадження підприємницької діяльності», зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 22 листопада 2011 року за № 1330/20068.
5. Рішення Київської міської ради від 04.02.2014 № 6/10152 «Про бюджет м.Києва на 2014 рік.
6. Порядок визначення обсягів пайової участі (внеску) власників тимчасових споруд торговельного, побутового, соціально-культурного чи іншого призначення для здійснення підприємницької діяльності, засобів пересувної дрібнороздрібної торговельної мережі в утриманні об'єктів благоустрою м. Києва та внесення змін до деяких рішень Київської міської ради», від 25 грудня 2008 року № 1051/1051 «Про Правила благоустрою міста Києва».
7. ДП «Інститут генерального плану міста Києва» ВАТ Київпроект: Чекмарьов В.Г., Жолтовський В.О.;
8. Закон України «Про благоустрій населених пунктів»
9. Правила благоустрою міста Києва, затверджені рішенням Київради від 25.12.2005р. № 1051/1051.

Рукопис подано до редакції 14.03.15

Н.Н. ПОДДУБНЫЙ, инженер, ООО «Ротис Плюс»

А.Н. ШАШЕНКО, д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «Национальный горный университет»

С.А. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., Криворожский национальный университет

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВЫХ СОСТАВОВ НАБРЫЗГ-БЕТОНА

Статья посвящена поиску путей повышения эффективности набрызг-бетонных крепей. В ней охарактеризованы условия горных работ в современных шахтах и главные проблемы, связанные с креплением подземных горных выработок (горной крепью). Проанализировано развитие науки о горных крепях и торкретировании скальных поверхностей. Представлены основные проблемы обеспечения шахтного строительства в Украине стройматериалами. Выполнен анализ рынка строительных сухих смесей для бетонных работ в подземных условиях. Определены перспективные направления для решения проблем, связанных с бетонной горной крепью. Выполнен анализ технологических свойств набрызг-бетонных смесей BUDMIX KR; соответствия этих смесей требованиям горного строительства и специфике подземных выработок, а также потенциальные возможности производителя данной продукции в современных условиях для решения возникающих ресурсных задач. В статье также рассмотрены лабораторные исследования набрызг-бетонных смесей и проанализированы их результаты. Определены главные особенности и характеристики бетонных смесей различного состава. Представлены также экспериментальные испытания новых бетонов для крепления подземных полостей и оценка эффективности предлагаемой технологии. Рассмотрены экспертные заключения различных комиссий и инстанций. Определены возможности широкого внедрения в горную практику рассмотренных стройматериалов и реальные перспективы дальнейшего развития технологий, основанных на них.

Ключевые слова: набрызг-бетон, торкретирование, сухая смесь, прочность бетона, крепь.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. С каждым годом растут глубины и усложняются условия горных работ. Применение торкретирования в современном шахтном строительстве является наиболее эффективным, а нередко - единственно возможным способом крепления горных выработок. Торкретирование целесообразно в тех случаях, когда необходимо бетонировать поверхности сложной конфигурации, когда возникают трудности, связанные с уплотнением бетонных смесей вибраторами и требуются значительные затраты на изготовление опалубки, а также в тех случаях, когда к бетону предъявляются повышенные требования по водонепроницаемости, адгезионной эффективности, тиксотропности, динамике схватывания и набора прочности. Применение этого метода позволяет упростить транспортирование бетонной смеси к месту укладки, что актуализует вопрос заводского изготовления последней. Таким образом, серьезной проблемой современного шахтного строительства является неполное соответствие средств крепления породных обнажений, а вытекающей из этого задачей - поиск наиболее эффективных, а главное - доступных торкрет-смесей отечественного производства.

Анализ исследований и публикаций. С момента появления первого патента на метод торкретирования в 1911 г., выданного в США К.Э. Эйкли, этот метод и оборудование для его осуществления претерпели значительную эволюцию [1]. У нас большинство научных исследований бетонирования набрызгом базируются на трудах В.М. Мосткова [2]. Значительный вклад во внедрение набрызг-бетона в практику строительства внесли работы С.А. Аتمانских, И.Л. Воллера, Б.Г. Грязнова, Д.М. Голицинского, М.В. Тушинского и др. [3-6], а также зарубежных специалистов: Л. Рабцевича, Э. Роттера, Р. Линдера, Ф. Пахера, Л. Мюллера, И. Вебера, Т. Райани, А. Манфреда и др. [7-9]. Ранее в СССР были разработаны различные нормативно-технические источники, относящиеся к технологическим правилам торкретирования инженерных сооружений (ПТКБ ЦП МПС СССР, 1985 г.), к вопросам крепления выработок набрызг-бетоном (ВСН 126-90 / Минтрансстрой СССР, ВНИИ транспортного строительства, 1991 г.) и др. [10].

Многие современные исследования сконцентрированы на улучшении технологических и эксплуатационно-технических свойств набрызг-бетона. Несомненным достижением являются разработки торкрет-бетона РСТ 8 на специальном водонепроницаемом безусадочном цементе с применением добавки РСАМ [11] и других [12]. ОАО «ЦНИИПромзданий» (РФ) рассматривает широкий спектр применения торкрет-бетонных покрытий конструкций полифункционального назначения, значительное внимание уделяя технологическим вопросам получения и применения в строительной практике торкрет-фибробетона, особенностям создания защитных покры-

тий с использованием этого материала [13]. Торкрет-бетон Spray-Con WS канадского производителя Gemite (Джимайт) является исключительно экономичным продуктом, поставляется в виде концентрата, смешивается непосредственно на рабочем месте с местным песком и портландцементом, образует водонепроницаемый воздухопропускающий слой, его можно наносить толщиной от 1/8 дюйма до 12 дюймов (от 40 до 300 мм) при последовательном наращивании покрытия. Spray-Con обладает прочностью соединения с основанием, которая превышает прочность на отрыв самого основания. Отличные связующие качества и армированная структура делают его идеальным материалом для крепления объектов, подвергающихся динамическим нагрузкам во время нанесения [14]. В Казанской государственной архитектурно-строительной академии разработано модифицирование торкрет-бетонной смеси водной эмульсией низкомолекулярного полиэтилена (НМПЭ) с помощью анионоактивных ПАВ как эмульгаторов; подобраны типы ПАВ-эмульгаторов и режимы приготовления прямых концентрированных водных эмульсий НМПЭ-2 и смеси НМПЭ-2 и НМПЭ-3 [15].

Анализ приведенных и многих других исследований и публикаций свидетельствует о высоком уровне изучения и использования набрызг-бетона. Но в то же время для украинских потребителей большинство наиболее эффективных смесей зарубежных производителей являются экономически недоступными. На украинском рынке предложение отечественных сухих набрызг-бетонных смесей - крайне ограничено. Наибольший интерес, с нашей точки зрения, здесь представляет ряд смесей BUDMIX KR - и по их заявленным характеристикам, и с учетом потенциала производственной базы их производителя - ООО «РОТИС ПЛЮС» [16].

Постановка задач исследования. Вышеизложенные проблемы, ситуация в нашей стране, а также потребности горной и строительной отраслей обусловили цель данного исследования - анализ свойств набрызг-бетонных смесей BUDMIX KR, соответствия их требованиям горного строительства и специфике условий подземных выработок, а также потенциальных возможностей в решении возникающих задач названным предприятием.

Изложение материала и результаты. Смесей для торкретирования марки BUDMIX KR применяются: для нанесения на стенки горных выработок конструктивного набрызг-бетона; крепления и герметизации изоляционных перемычек; изоляции стенок горных выработок от притока в них воды и др. Выпускающее эти сухие смеси для набрызг-бетона сухого и мокрого нанесения ООО «РОТИС ПЛЮС» устойчиво работает на рынке строительных материалов более 7 лет. Особое внимание следует обратить на то, что предприятие создано на базе Криворожского завода строительных конструкций - производства, изначально структурно и функционально специализированного для схожих технологий, которое имеет более 3000 м² производственных площадей, что позволяет в кратчайшие сроки развернуть широкомасштабное производство разработанных торкрет-смесей, способное покрыть потребности горняков и строителей если не всей Украины, то Кривбасса - вполне, что обосновано серьезно аргументированными расчетами.

Кроме того, ООО «РОТИС ПЛЮС» имеет собственную научно-исследовательскую и лабораторную базу, а также активно сотрудничает с учеными и специалистами Криворожского национального и Национального горного университетов (соответственно - КТУ и НГУ).

Рассматриваемый набрызг-бетон является инновационным и не имеет аналогов. На сегодняшний день технология его производства имеет статус *ноу-хау*. Что же касается общей характеристики, то для изготовления смесей используются следующие материалы: вяжущее - портландцемент; заполнители - песок, гравий; добавки к смеси - сополимер винилацетата и этилена, а также метилгидроксипропилцеллюлоза.

Главными преимуществами BUDMIX KR являются:

1. Возможность нанесения за один проход слоя, толщиной более 300 мм, что обеспечивает: подтвержденное в промышленных условиях сокращение сроков производства работ по сравнению с «традиционными» смесями в 2-5 раз; экономию затрат на заработную плату в 3-7 раз и материала - до 30 %; увеличение сроков эксплуатации оборудования на 30 %.

Набрызг-бетон, нанесенный за один проход, создает монолитную конструкцию, работающую в полной мере как одно целое, а не слоистую, неизбежную даже при самых динамичных методах послойного торкретирования, что дает возможность при проектировании уменьшать площадь сечения выработки «в проходке» при сохранении «в свету» при равных прочих условиях.

2. Набрызг-бетон имеет ускоренный набор прочности в течение первых семи часов после нанесения, что позволяет производить циклические взрывные работы в более ранние сроки.

3. Рассматриваемый материал обладает пониженным процентом отскока - до 3%, что в свою очередь обеспечивает снижение: стоимости самой крепи, загрязнения горной выработки и находящегося в ней оборудования, а также затрат, связанных с утилизацией отходов.

4. Исследуемый материал в настоящее время уже выпускается как продукция ООО «РО-ТИС ПЛЮС» согласно государственного стандарта Украины «Смеси строительные сухие модифицированные» ДСТУ Б В.2.7.-126:2011 и межгосударственного «Смеси бетонные ДСТУ Б В.2.7.-96-2000 (ГОСТ 7473-94)».

5. Предоставляется возможность работы по согласованным недельно-суточным графикам.

6. Рассматриваемые набрызг-бетонные смеси хорошо себя зарекомендовали при работе, как на импортном, так и отечественном оборудовании на таких производствах, как: «Кривбас-железрудком», «Евраз Сухая Балка», «МитталСтил Кривой Рог».

7. Набрызг-бетонные смеси могут выпускаться по согласованию с заказчиками (согласно проектной документации или с изменившимися условиями) с разными характеристиками.

8. В настоящее время предприятие приступило к выпуску торкрет-смесей BUDMIX KR, позволяющих производить безопалубочное бетонирование по вертикальным и потолочным поверхностям толщиной 200-400 мм за один проход (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики набрызгбетонных смесей BUDMIX KR

№ смеси	Прочность на сжатие через			Толщина мм нанесения за 1 проход	Максимальная фракция, мм.	Предназначение, свойства, главные особенности смесей
	7 час	24 час	28 дн.			
1		335	600	100	До 10	Смесь для аварийных работ. Начало схватывания – через 45 мин. Ускоренный набор прочности. Смесь повышенной прочности.
2		230	500	300	До 10	Смесь повышенной прочности. Ускоренный набор прочности. Отскок – до 2%. Повышенная толщина нанесения за один проход.
3		170	500	100	До 10	Смесь для нанесения особо прочного набрызг-бетона.
4		200	500	100	До 10	Смесь для особо прочного набрызг-бетона. Ускоренный набор прочности.
5		108	450	100	До 10	Смесь для общестроительных работ повышенной прочности.
6	56	154	450	300	До 10	Смесь позволяет проводить взрывные работы через 7 часов. Ускоренный набор прочности. Отскок – до 2%. Повышенная толщина нанесения за один проход.
7	20	140	400	300	До 10	Смесь для ответственных конструкций. Отскок – до 2%. Повышенная толщина нанесения за один проход.
8	5	74	350	100	До 10	Смесь позволяет проводить взрывные работы через 24 часа. Ускоренный набор прочности.
9	37	95	350	300	До 10	Смесь позволяет проводить взрывные работы через 7 часов. Отскок – до 2%. Повышенная толщина нанесения за один проход. Ускоренный набор прочности.
10		134	300	100	До 3	Ускоренный набор прочности.
11	10	50	270	300	До 10	Ускоренный набор прочности; Повышенная толщина нанесения за один проход. Отскок – до 2%.
12			200	300	До 3	Для общестроительных работ с повышенной толщиной нанесения. Отскок – до 2%.
13			200	100	До 3	Смесь для общестроительных работ.
14		36	172	100	До 3	Смесь для общестроительных работ.
15		40	170	100	До 10	Смесь для общестроительных работ.
16		30	150	100	До 3	Смесь для общестроительных работ.
17		17	150	400	До 10	Для неответственных конструкций с повышенной толщиной нанесения. Отскок – до 2%.
18		23	138	50	До 3	Смесь для мокрого способа торкретирования.
19			100	100	До 3	Смесь для общестроительных работ.

Исследование смесей BUDMIX KR осуществлялось в лабораториях ООО "РОТИС ПЛЮС", КНУ, ДП "Кривбасстандартметрология", УкрНИИпроммедицины МОЗУ, НИИ безопасности труда и экологии в горнорудной промышленности (НИИБТГ) и др. Испытывались образцы

размером 100×100×100 мм по ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Испытания проведены в соответствии ДСТУ Б В.2.7-96-2000 "Смеси бетонные. Технические условия"; ДСТУ Б В.2.7-214: 2009 "Строительные материалы. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам"; ДСТУ Б В.2.7-114-2002 "Смеси бетонные. Методы испытаний".

Испытательная лаборатория строительной продукции Государственного предприятия "Кривбасстандартметрология", аккредитованного Национальным агентством по аккредитации на соответствие ДСТУ ISO/IEC 17025: 2006, на основании выполненных исследований смесей BUDMIX KR определила их радиометрические (табл. 2) и прочностные (табл. 3) характеристики.

Таблица 2

Результаты радиометрических испытаний

Наименование показателя / ед. измерений	Природные радионуклиды		
	Радий-226	Торий-232	Калий-40
Удельная активность природных радионуклидов в образцах	<61,18	<82,79	<220,10
Суммарная удельная эффективная активность радионуклидов, Бк/кг с погрешностью, %	188,34±30%		
Допустимые уровни суммарной удельной активности природных радионуклидов (Асум), Бк×кг-1 соответственно ДБН В.1.4-1.01-97	I класс – ниже, или равно 370 II класс – ниже, или равно 740 III класс – ниже, или равно 1350		

Таблица 3

Результаты прочностных испытаний

Название показателей (характеристик), единицы измерений	Протокол испытаний № 22458-Б от 19.12.2013 г. (В/Т=0,18)		Протокол испытаний № 23421-Б от 25.12.2013 г. (В/Т=0,17)		Протокол испытаний № 1073-Б от 15.01.2014 г. (В/Т=0,18)		Протокол испытаний № 1507-Б от 21.01.2014г. (В/Т=0,17)	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Номера серий образцов								
Предел прочности на сжатие после 7 часов								
Средняя масса образца. гр.; плотность кг/м ³	2068	2082	2014	2001				
Разрушающая нагрузка, кН	56,47	59,56	37,82	38,35				
Прочность бетона, приведенная к базовому размеру образца, МПа	5,4	5,7	3,6	3,6				
Прочность бетона серии образцов. кгс/см ²	56		37					
Прочность бетона серии образцов, МПа	5,6		3,6					
Предел прочности на сжатие после 24 часов					после 28 суток			
Средняя масса образцов, г	2070	2076	1998	1989	2076	2080	2027	2032
Разрушающая нагрузка, кгс	15750	16750	10750	9250	46500	48125	35000	38750
Разрушающая нагрузка, кН	154,4	164,2	105,35	90,65	455,70	471,63	343,00	379,75
Прочность бетона, приведенная к базовому размеру образца, МПа	14,7	15,6	10,0	8,6	43,3	44,8	32,6	36,1
Прочность бетона серии образцов, кгс/см ²	154		95		450		351	
Прочность бетона серии образцов, МПа	15.2		9.3		44.1		34.4	

Примечание: Испытания проводились при температуре воздуха 18-22 °С и относительной влажности 60-65 %.

Результаты радиометрии представлены в Протоколе испытаний № 6358-Х от 11.09.2013 г. Испытательной лабораторией «ПРОД-ТЕСТ» на продукцию: БСС В 10.П1.Ф50.В2 (бетонная смесь сухая для набрызг-бетона), изготовленная ООО "РОТИС ПЛЮС". Испытания проведены в соответствии с ДБН В.1.4-1.01-97 "Система норм и правил снижения уровня ионизирующих излучений природных радионуклидов в строительстве. Регламентированные радиационные параметры. Допустимые уровни".

Общее заключение лаборатории: испытанные образцы имеют суммарную удельную эффективную активность ПРН (природных радионуклидов), обусловленную радием-226, торием-232 и калием-40, на уровне 188,34 Бк×кг-1 ±30%. Соответственно полученным результатам исследованного материала, представленный к испытаниям, относится к I классу строительных материалов.

Комиссия ПАО «ЕВРАЗ СУХАЯ БАЛКА» провела испытания смесей №№ 2,4,6, поставленных ООО «РОТИС ПЛЮС», в условиях действующей шахты.

Смеси тремя составами по 500 кг были нанесены по 2 м² на стены главного квершлага горизонта -1420 м, пройденного по амфиболитам крепостью $f=16-18$. Укладка смесей производилась при помощи установки СБ-67: смесь № 2 - за один проход был нанесён слой, толщиной $\delta_{cp}=140$ мм; смесь № 4 - $\delta_{cp}=110$ мм; смесь № 6 - $\delta_{cp}=300$ мм (рис. 1).



Рис. 1. Смесь № 2 – $\delta_{cp}=140$ мм (фото слева); Смесь № 6 – $\delta_{cp}=300$ мм (2 фото справа)

При торкретировании смесями № 2, № 4, № 6 отскок не превышал 2 %. Испытание смесей № 2, № 4, № 6 показало, что толщину нанесения при необходимости можно увеличивать: материал не «плывет». Начало схватывания испытуемых смесей: смесь № 2 - 7 мин., № 4 - 14 мин., № 6 - 45 мин. Прочность на сжатие (кгс/см²) через 7 часов: № 2 - 50, № 4 - 30; через 24 часа: № 2 - 200, № 4 - 120, № 6 - 20; через 28 суток: № 2 - 500, № 4 - 350, № 6 - 150.

Выводы комиссии: торкретные смеси №№ 2,4,6 - пригодны для использования в выработках ПАО «ЕВРАЗ СУХАЯ БАЛКА»

Согласно приказа № 958/1 ПАО «Кривбассжелезрудком» от 17.07.2013, специальная комиссия провела испытание торкретной смеси, поставленной ООО «РОТИС ПЛЮС», на «сбойке» между стволами шахт «Новая» и «Гвардейская» гор. -1430 м. Смесь в количестве 300 кг была нанесена на стены и свод установкой СБ-67 слоем 30-50 мм. Быстрота схватывания испытываемой смеси - 10 мин., «текхарда» - 15 мин. Потери за счет отскока испытываемой смеси по сравнению с «текхардом» - на 30 % меньше.

Выводы комиссии: Цементно-песчаная смесь - пригодна для использования в выработках ПАО «Кривбассжелезрудком», с учетом замечаний: упаковка должна быть влагонепроницаемой; вес мешка не должен превышать 25 кг. Результаты испытаний смеси прилагаются (табл. 4).

Таблица 4

Сравнительная таблица испытаний торкретной смеси 16.07.2013 в ИСП «ЦэнЛ»

	Средняя прочность контрольных образцов (кгс/см ²) через период							
	1 час	2 часа	3 часа	4 часа	5 часов	6 часов	7 часов	24 часа
«Ротис ПЛЮС» смесь № 4	1,4	4,16	9,0	15,3	21,4	34,3	31,0	122
«Ротис ПЛЮС» смесь № 5		3,9	10,3	22,9	29,5	33,3		126

Заключение государственной санитарно-эпидемиологической экспертизы № 05.03.02-04/114181 от 2013 г.: по предоставленным заявителем образцам смеси BUDMIX KR соответствуют требованиям действующего санитарного законодательства Украины и могут быть использованы в заявленной сфере применения.

С учетом данных промышленных испытаний и заключения госсанэпидслужбы, НИИБТГ составил заключение экспертизы технической документации смеси BUDMIX KR производства ООО «РОТИС ПЛЮС» на соответствие требованиям нормативных актов по охране труда и промышленной безопасности.

Целью экспертизы являлась оценка возможности безопасного применения смеси в подземных условиях железорудных шахт. Анализ технических параметров смеси показал: изготовление смеси соответствует требованиям ДСТУ Б В.2.7-96: 2000; в качестве составляющих смеси

применяются компоненты, допущенные к использованию в строительстве; для нанесения набрызг-бетона используются установки, допущенные к эксплуатации в подземных условиях железорудных шахт.

Вывод экспертизы НИИБТГ: сухая смесь для торкретирования производства ООО «РО-ТИС ПЛЮС» отвечает требованиям ДСТУ Б В.2.7-96 2000 «Смеси бетонные и бетон. Технические условия» (ГОСТ 7473-94), НПАОП 1.2.90-1.02-71 «Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом, в подземных условиях железорудных шахт» и пригодна к применению в подземных выработках шахт ОАО «Кривбассжелезрудком».

Общие выводы и направление дальнейших исследований.

1. На основании экспериментальных исследований установлена возможность и целесообразность использования смесей BUDMIX KR производства ООО «Ротис ПЛЮС» для торкретирования выработок.

2. Результаты экспериментальных исследований и промышленных испытаний указывают на снижение отскока при торкретировании смесью BUDMIX KR до 2%, при средних показателях традиционных смесей на уровне до 25%, и самых «продвинутых» - до 7% (при расходе цемента 500 кг/м³).

3. Экспериментально установлено, что смеси BUDMIX KR обеспечивают необходимые прочностные и эксплуатационные свойства крепи при снижении водопоглощения на 15-20% и увеличении водонепроницаемости в 1,5-2,0 раза.

4. Разработаны и оптимизированы составы смеси BUDMIX KR набрызг-бетонов.

5. Разработана технологическая схема нанесения набрызг-бетона на основе BUDMIX KR и выполнено опытно-промышленное применение ее и составов данной смеси в ПАО «Кривбассжелезрудком».

По мнению авторов, весьма целесообразно продолжить исследование представленных составов при введении в них дисперсного армирования.

Список литературы

1. <http://gostrf.com/normadata/1/4293839/4293839687.htm>
2. **Мостков В.М., Воллер И.И.** Применение набрызгбетона для проведения горных выработок. -М.: Недра, 1968. -127с.
3. <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/440115.html>
4. **Атманских С.А.** Исследование процессов возведения набрызг-бетонной крепи в горизонтальных горных выработках.// Кандидатская диссертация.-Свердловск.-1969. -С.23.
5. **Голицинский Д.М., Маренный Я.И.** Набрызгбетон в транспортном строительстве. -М. :Транспорт.-1993.-152с.
6. **Батраков В.Г.** Модифицированные бетоны. -М. -1998. -768с.
7. **Darbi M.L.** Sprayed concret-material with great potential. Water schvices, 1981, v.85, N 1020, P.80-81.
8. Tunnels and tunnelling. -1988. -Т.20. -№10. -с. 18-20.
9. **Reading G.**, Sanierung mit dem Betonspritzverfahren. BD Baumaschinendinst. -1980.-N8.-S.662-663.
10. <http://www.iprosoft.ru/techexpert/ST?base=8124&catId=57>
11. <http://www.b2b.by/goods/building-construction-materials-glass-ceramics-S000/construction-materials-and-products-glass-S300/roofing-and-waterproofing-materials-and-work-S355/TORKRET-BETONY-81333-6164.html>
12. <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/440115.html>
13. <http://gostrf.com/normadata/1/4293839/4293839687.htm>
14. <http://vival.ibud.ua/ru/company-prais/vlazhnyy-torkret-beton-dzhimayt-spray-con-ws-vival-64122>
15. <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/440115.html>
16. <http://budmix-kr.com/>

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.,

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

П.В. СЕРГЄЄВ, д-р техн. наук, проф.,

Донецький національний технічний університет

МІКРОСКОПІЯ КОМПЛЕКСІВ «ВУГІЛЛЯ-РЕАГЕНТ»

Статтю присвячено темі мікроскопічних досліджень комплексів «вугілля-реагент». Показано, що розроблена нами методика препарування і мікроскопічних досліджень структур «вугілля-реагент» є результативним методом вивчення технологічних процесів агрегації дрібних зерен вугілля, зокрема брикетування, селективної флокуляції та грануляції. Одночасно з іншими методами вона дозволяє ідентифікувати об'єкти розміром 1-10 мкм і більше, класифікувати вугільно-реагентні комплекси (нами запропоновано виділяти чотири типи комплексів «вугілля-реагент»), вивчати поверхню вугільних зерен і проникнення реагенту в пори та тріщини. Виконані мікроскопічні дослідження вугілля ряду метаморфізму показують наявність локальних та обширних областей на поверхні вугільних зерен з виступами, западинами, раковинами, тріщинами, гострими кутами, скидами, порами та ін. елементами поверхні. Мікроскопія структур «вугілля-реагент» дозволяє оцінити характер аутогезійного контакту зерен вугілля по поверхневій масляній плівці, зокрема контакт по структурованих граничних плівках, що вельми важливо для встановлення міцності зв'язку елементів комплексу. Крім того, мікроскопія може бути застосована для оцінки окиснення вугільної поверхні. Показано можливість мікроскопічної фіксації на вугіллі смужок Бекке. Подальші дослідження доцільно провести в напрямку розробки методики кількісної оцінки ступеня окиснення вугільних зерен за товщиною смужок Бекке.

Ключові слова: мікроскопія, вугільно-масляні гранули, флокули, брикети, агломерати.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Брикетування, селективна флокуляція, агломерація і грануляція вугілля зі зв'язуючими передбачають формування вугле-реагентних структур - брикетів, флокул, агломератів і гранул [1-10]. Вивчення їх структури, зокрема, товщини зв'язуючих плівок, відстані і взаєморозташування зерен, щільності упаковки зерен тощо, неможливе без мікроскопічних досліджень. Водночас саме від цих параметрів суттєво залежать ряд технологічних характеристик вугле-реагентних структур – їх міцність, стійкість до подрібнення (що особливо важливо при магістральному гідравлічному транспортуванні), коксівні властивості, горючі характеристики тощо.

Аналіз досліджень і публікацій. У Донецькому політехнічному інституті у 1990 роках була створена, а пізніше вдосконалена, методика препарування вугле-реагентних структур для їх мікроскопічного дослідження [11-13]. Сьогодні ця методика успішно застосовується і одержує свій подальший розвиток.

Постановка завдання. Мета статті - ознайомити наукове середовище з можливостями і до-свідом, а також конкретними прикладами застосування вітчизняної методики препарування і мікроскопічного дослідження вугільно-зв'язуючих комплексів.

Викладення матеріалу та результати. Для мікроскопічних досліджень вугільно-масляні комплекси поміщають в оправу - епоксидну смолу. Перед цим за різними варіантами можлива їх підготовка - термообробка при 400-500 °С, сушка при 50-100 °С. З епоксидної заготовки виготовляють аншлиф застосовуючи грубе шліфування, наприклад, на наждачному крузі, шліфування без води на корундовому папері зі зменшенням крупності його зерна з 320 до 650 меш (як варіант - шліфування з одночасним охолодженням рідким повітрям або азотом), промивку зразка у спокійному потоці води, висушування зразка; полірування на сукні без додаткових абразивних засобів.

За цією методикою можна препарувати речовину вугільних брикетів кам'яного вугілля (брикетування зі зв'язуючим), вуглемасляних флокул, агломератів і гранул. Накопичений експериментальний матеріал показав такі основні можливості мікроскопічного методу дослідження препаратів вугле-реагентних структур.

По-перше, на аншлифах ідентифікується структура агломератів, гранул та їх фрагментів (рис. 1,4). При цьому розрізняються інгредієнти розміром до 10 мкм, зображення чітко, без завалів. Показово, що використовуючи різні температурні режими обробки можна отримати задовільні аншлифи вуглезв'язуючих комплексів з вмістом масла-зв'язуючого від часток відсотка до 25-30 %.

По-друге, мікроскопія вуглезв'язуючих комплексів дозволила виконати їх класифікацію. Узагальнення результатів виконаних досліджень вугільних агрегатів та ~200 аншліфів агломератів, гранул, флокул дозволили виділити такі *основні типи структур* вугільних агрегатів [14]:

I - ущільнені утворення, характерні наявністю тонких граничних плівок зв'язуючого між окремими зернами;

II - структури з ввігнутими менісками зв'язуючого між зернами вугілля на поверхні агрегату;

III - краплі зв'язуючого, заповнені вугільними зернами;

IV - пухкі утворення (скупчення) вугільних зерен зв'язані місточками зв'язуючої речовини.

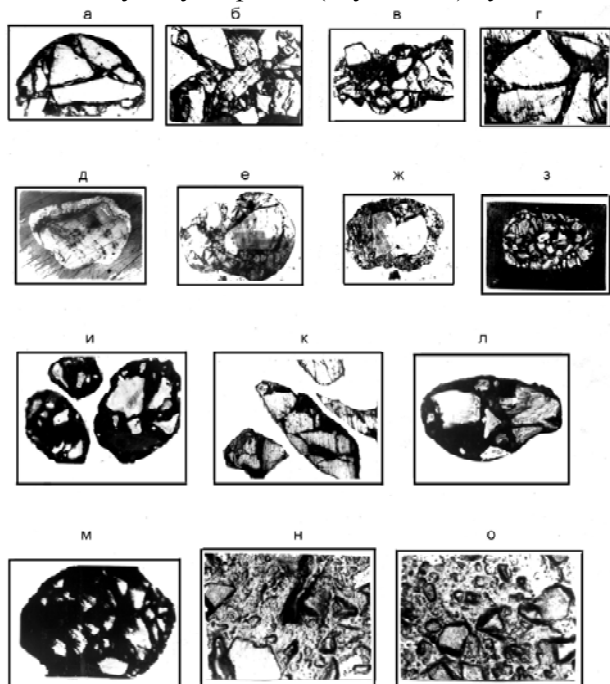


Рис. 1. Аншліфи агломератів, гранул та їх фрагментів: а, д-и, л-м $\times 50$; б-г, к, н, о – $\times 60$

На рис. 2 представлено світлини аншліфів та малюнки основних структурних типів вугільних агрегатів, виконані з окуляру мікроскопів МБС-9, НЕОРНОТ-21.

В табл. 1 поданої їх основні фізико-хімічні характеристики.

Агрегати I типу (гранули, агломерати, флокули) характеризуються практично повною відсутністю зв'язуючого в об'ємному стані, зв'язком вугільних зерен по масляних плівках товщиною 1-3 мкм, максимальною пластичною міцністю речовини агрегату, низькою липкістю та неповним покриттям масляним реагентом поверхні агрегатів.

Характерна особливість більшості гранул та агломератів I типу - чітко виражена будова „центр-оболонка“.

Агрегати III типу (гранули) містять зв'язуюче головним чином в об'ємному стані. Пластична міцність цих агрегатів мінімальна, липкість максимальна, всю поверхню покриває масляна фаза.

Таблиця 1

Тип структури	Крупність вихідного вугілля	Масова частка мазуту в агрегатах, %	Діаметр агрегатів d_a , мм	Межа міцності агрегатів за пенетраційним методом P_p , 10^{-3} Н
I	0-1,0	1 - 3	0,3 - 1,2	2,5 - 3,3
	0-1,0	5 - 7	0,2 - 0,4	2,5 - 3,0
II	0-1,0	8 - 15	0,5 - 3,0	1,6 - 1,9
	0-0,1	20 - 25	0,5 - 3,0	1,4 - 1,7
III	0-1,0	понад 20	1 - 5	1,2 - 1,4
	0-0,1	понад 30	1 - 5	1,1 - 1,3
IV	0,3-1,0	4 - 5	0,4 - 2,0	-

Тип структури	Пластична міцність речовини агрегату, P_m , кг/см ²	Липкість до фторопласту, λ_z , г/см ²	Частка поверхні гранул покрита мазутом, %
I	3,5-4,5	1,5- ,5	60- 9
	2,5-3,8	3,0-4,0	58-76
II	1,2-1,5	18-20	86-95
	1,1-1,4	22-28	до 95
III	0,7- 0,8	10-15	100
	0,6- 0,7	10-15	100
IV	1,8-2,0	2-3	40-44

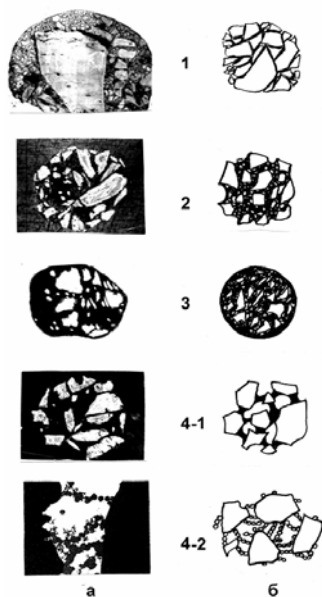


Рис. 2. Світлини та малюнки аншліфів основних структурних типів вугілемасляних агрегатів: *а* - аншліфи; *б* - малюнки

Агрегати II типу (гранули) займають проміжне положення між агрегатами I та III типу. Ці агрегати мають середню пластичну міцність, нестабільну липкість, яка залежить від частки зв'язуючого в агрегаті і практично повністю покриті маслом-зв'язуючим.

Характерна особливість *структур IV типу* (гранули, агломерати) - місточковий зв'язок вугільних зерен. Це можуть бути рідинні місточки, місточки з твердіючого або пастоподібного зв'язуючого.

Ці структури характерні малою пластичною міцністю, низькою липкістю і невеликим ступенем покриття агрегатів реагентом.

На основі досліджень [14] можна зробити висновок, що агрегатоутворюючими в структурах II типу виступають головним чином капілярні сили на поверхні агрегату, в структурах III типу - сила поверхневого натягу крапель зв'язуючого, I та IV типу - сила зчеплення через масляні плівки та місточки зв'язуючого.

По-третє, виконані мікроскопічні дослідження вугілля ряду метаморфізму показують наявність локальних та обширних областей на поверхні вугільних зерен з виступами, западинами, раковинами, тріщинами, гострими кутами, скидами, порами та ін. елементами поверхні (рис. 3, позиції 1-7).

Це обумовлює енергетичну неоднорідність поверхні, так як атоми на кутах і ребрах ненасичені і тому більш активні у сорбційному відношенні [15].

Причому, чим дрібніші зерна вугілля, тим більша частка їх поверхні припадає на ребра, кути, згини і т.ін.

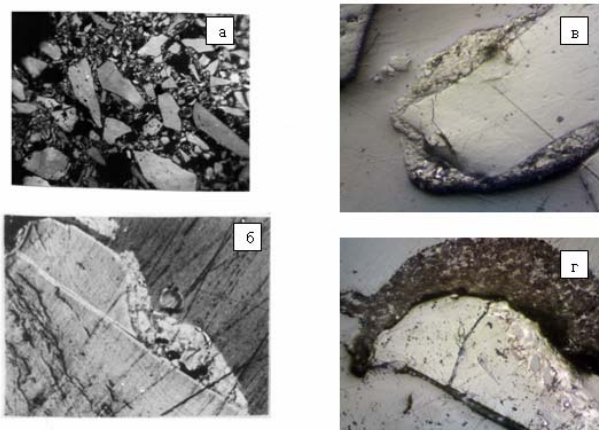


Рис. 3. Аншліфи вугільних зерен марок Г, К, Ж, ПС. Позначені області з виступами, западинами, раковинами, тріщинами, скидами, порами, $\times 200$

В окремих фрагментах простежується проникнення реагенту в пори і тріщини вугільних зерен.

По-четверте, при ретельному препаруванні вуглезв'язуючих комплексів, особливо тих, що пройшли термообробку, можлива ідентифікація як дрібнодисперсних елементів порядку 1-10 мкм.

Крім того, за відстанню між зернами, які можуть бути виміряні на рівні сотень нм

і більше можна оцінити характер аутогезійного контакту омаслених зерен, зокрема контакт по структурованих граничних плівках, що вельми важливо для встановлення міцності зв'язку елементів комплексу (рис. 4а).

Ще одна можливість, яку надає мікроскопія - визначення ступеня окисненості вугільних зерен - на основі фіксації наявності і встановлення товщини смужок Бекке (окси-плівки) (рис. 4б).

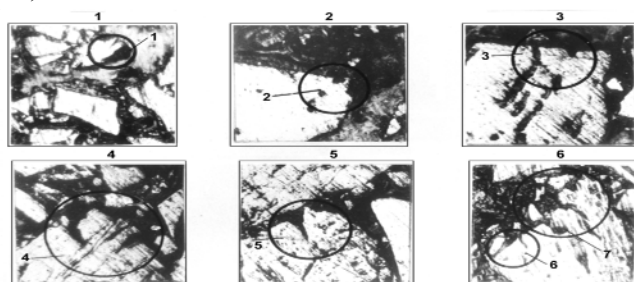


Рис. 4. Елементи вуглезв'язуючих комплексів: *а* - грануляційна речовина; *б* - смужки Бекке на вугільних зернах, $\times 300$, в, г - структури типу «центр-оболонка»

На рис. 1д-з і рис. 4в,г чітко ідентифікується структура вугле-реагентних комплексів типу «ядро-оболонка» - оболонка тут виконує роль захисного шару і оберігає більш крупні зерна вугілля від руйнування в турбулентному потоці води (гідротранспорт). Більше того, нами зафіксовано «самозаживлення» (відновлення) захисного поверхневого шару таких оболонок навколо крупних вугі-

льних зерен, що особливо важливо для збереження гранулометричного складу гідротранспортованого коксівного вугілля.

Мікроскопія вугле-реагентних комплексів може бути з успіхом застосована для вивчення порового простору в сукупності з іншими методами, наприклад вибірковою абсорбцією рідин і газів. На рис. 5 показано пору вугільного зерна, заповнену реагентом.



Рис. 5. Проникнення реагенту-зв'язуючого в пору вугільного зерна, $\times 600$

Люмінесцентний метод [16] дослідження вибіркової адсорбції вуглеводневих реагентів у вугільне пористе середовище дає яскраву картину фракціонування реагенту залежно від величини пор, товщини шарів реагента. Одночасна мікроскопія цих вугле-реагентних комплексів дає можливість пов'язати величину пор і характер адсорбційних явищ.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Розроблена методика препарування і мік-

роскопічних досліджень вугле-реагентних структур є результативним методом вивчення технологічних процесів грудкування вугілля, зокрема брикетування, селективної флокуляції та грануляції.

У комплексі з іншими методами вона дозволяє ідентифікувати об'єкти розміром порядку 1-10 мкм і більше, класифікувати вугільно-реагентні комплекси, вивчати поверхню вугільних зерен і проникнення реагенту в пори та тріщини. Крім того, мікроскопія вуглезв'язуючих комплексів дозволяє оцінити характер аутогезійного контакту омаслених зерен, зокрема контакт по структурованих граничних плівках, що вельми важливо для встановлення міцності зв'язку елементів комплексу.

Мікроскопія вугле-реагентних структур дає можливість визначення ступінь окисненості вугільних зерен - на основі фіксації наявності і встановлення товщини смужок Бекке.

Подальші дослідження доцільно провести в напрямку розробки методики кількісної оцінки ступеня окисненості вугільних зерен за товщиною смужок Бекке.

Список літератури

1. Білецький В. С., Сергєєв П. В., Папушин Ю. Л. - Теорія і практика селективної масляної агрегації вугілля - Донецьк: Грань. - 1996. - 264 с.
 2. Елишев А. Т. Брикетирование угля со связующими / М., Недра, 1972. - 160 с.
 3. Сергєєв П. В. Селективна флокуляція вугілля / П. В. Сергєєв, В. С. Білецький; ДонДТУ, Донец. від-ня Наук. т-ва ім. Т. Г. Шевченка. - Донецьк : Сх. вид. дім - 1999. - 136 с.
 4. Ding Y., Erten M. Selective flocculation versus oil agglomeration in removing sulfur from ultra fine coal// Proc. and Util. Hing Sulfur Coals III: 3rd Int. Conf. Ames. Iowa, Nov. 14-16, 1989.- Amsterdam. - 1990.- p. 255-264.
 5. Shrauti S.M., Arnold D. W. Recovery of waste fine coal by oil agglomeration // Fuel, 1995, 74, № 3, p. 454-465.
 6. Tovas D. Wheelock ea. The role of eir in oil agglomeration of coal at a moderate shear rate// Fuel, 1994, v. 73, № 7. p. 1103-1107.
 7. Vega V.G. ea. Selective agglomeration of hing rank coals with vegeta-tible oils // 8 th Int. Conf. on coal Science. Oviedo. Spain, 10-12 September 1995. p. 296-297.
 8. Modified oil agglomeration process for coal beneficiation. I. Mineral matter liberation by fine grinding with the szego mill // The Canadian Journal of Chemical Engineering. April 1988. Volume 66, Issue 2, pages 282-285.
 9. Oil agglomeration and its effect on beneficiation and filtration of low-rank/oxidized coals // International Journal of Mineral Processing. Volume 58, Issues 1-4, February 2000, Pages 237-252.
 10. Харада Т., Мацуо Т. Агломерация у рідинах// Ніхон Когьо Кайсі. - 1982. - № 1134, С. 714-722.
 11. Елишев А. Т. Методика препарирования углемасляного гранулята для микроскопических исследований его структуры / А. Т. Елишев, В. С. Белецкий, И. П. Кузнецова // Завод. лаборатория. - М., 1984. - № 2. - С.59-60
 12. Белецкий В.С. Усовершенствованная методика препарирования углемасляного гранулята // Заводская лаборатория. - 1990. - № 12. - С.65-67.
 13. Белецкий В.С., Самылин В.Н. Методика определения степени окисленности угля // Заводская лаборатория. - 1991. - № 11. - С. 42-43.
 14. Білецький В.С. Розробка наукових основ і способів селективної масляної агрегації вугілля та вуглевміщаючих продуктів. - Дисертація на здобуття вченого ступеня докт. техн. наук. - Донецьк, 1994, 452 с.
 15. Глембоцкий В.А. Основы физико-химии флотационных процессов. - М.: Наука, 1972. - 391 с.
 16. Гришаева Т.И. Методы люминесцентного анализа. - С.-Петербург: НПО «Профессионал», 2003.- 226 с.
- Рукопис подано до редакції 14.06.15

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

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ АКТИВНОГО І ПАСИВНОГО СКАНУВАННЯ ПОВЕРХНІ ВІДКРИТИХ МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ

Перевитрачання електричної енергії, куль і футеровки при подрібненні вихідної руди у кульових млинах збільшує собівартість магнетитового концентрату, що в значній мірі викликано відсутністю достатньо точних і надійних засобів вимірювання об'ємної витрати дробленого матеріалу і пісового продукту механічного спірального класифікатора. Розв'язання даної задачі складає актуальність цієї роботи. Її метою є теоретичне дослідження активного і пасивного сканування поверхні відкритих матеріальних потоків з визначенням їх особливостей і областей застосування. Сканування поверхні відкритих потоків найбільш ефективно здійснювати променем заданої довжини, закріпленим в певній точці над потоком з можливістю повороту, а вільний кінець якого взаємодіє з рухомих матеріалом. При активному скануванні вільний кінець не торкається поверхні потоку, а при пасивному – ковзає по ній. Пасивний і активний скануючі пристрої забезпечують необхідну в багатьох технологічних умовах точність вимірювання і надійність роботи. Вони можуть успішно використовуватись при контролі витрати матеріалів у збагачувальній галузі промисловості. Пасивний скануючий пристрій, як більш простий, доцільно використовувати в усіх можливих випадках. Областю застосування активних скануючих пристроїв є потоки з сильним налипанням матеріалу, малими густинами, швидкостями та абразивним зносом. Пасивні скануючі пристрої достатньо добре підходять для вимірювання пісових потоків механічних односпіральних класифікаторів.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Відсутність достатньо точних засобів вимірювання об'ємної витрати пісового продукту у пісовому жолобі механічного спірального класифікатора стримує автоматизацію розрідження пульпи у кульовому млині, що приводить до значних економічних збитків внаслідок перевитрачання електричної енергії, куль і футеровки. Розв'язання даної науково-технічної задачі сприяє удосконаленню технологічного процесу і покращенню ефективності подрібнення руди. Тому дана робота спрямована на реалізацію Державної науково-технічної програми «Ресурсозберігаючі технології нового покоління в гірничо-металургійному комплексі», затвердженій Законом України «Про основи державної політики у сфері науки і науково-технічної діяльності», за напрямком 5.3.1 «Розробка технологій видобутку та збагачення сировинних матеріалів для металургійного виробництва, в тому числі з використанням відходів виробництва» та планів наукової тематики Кіровоградського національного технічного університету за темою «Комп'ютерно інтегрована система автоматичного регулювання співвідношення руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням» (0105U008334). Оскільки дана стаття спрямована на розв'язання частини згаданої задачі, її тему слід рахувати актуальною.

Аналіз досліджень і публікацій. Розв'язанням задач автоматичного керування подрібненням руди у кульових млинах тривалий час займаються Л.М. Барський, В.О. Бунько, В.А. Воронов, І.Г. Грінман, Ю.Г. Качан, В.З. Козін, Є.В. Кочура, О.М. Марюта, В.С. Моргун, В.М. Назаренко, В.С. Процуто, А.Ю. Троп, Д. Ватсон, Л. Лінч та ін. Згадані та інші науковці зробили суттєвий внесок у розробку засобів контролю параметрів пісового потоку спірального механічного класифікатора. Найбільш вдалим можливо рахувати засіб [1], який гарантує безаварійну роботу подрібнювального циклу. Однак цей напрям тривалий час не розвивався і ніхто не досліджував особливостей активного і пасивного сканування поверхні потоку матеріалу.

Постановка завдання. Метою даної роботи є теоретичне дослідження активного і пасивного сканування поверхні відкритих матеріальних потоків з визначенням їх особливостей і областей застосування.

Викладення матеріалу та результати. Сканування поверхні відкритих потоків найбільш ефективно здійснювати променем заданої довжини [3]. В якості променя доцільно використати жорсткий відрізок твердого тіла певної довжини - скануючий елемент, закріплений з одного кінця з можливістю повороту. Другий кінець твердого тіла - вільний і взаємодіє з матеріальним потоком. Аналіз показав, що з використанням даного перетворювача можливо побудувати два типа скануючих пристроїв - активні або пасивні.

Активний скануючий пристрій здійснює безконтактне вимірювання координат h поверхні

потoku. Для цього один вільний кінець скануючого елемента жорстко закріплюють на валу, шляхом повороту якого його другий кінець утримують на певному віддаленні від матеріалу h_1 . Для організації такого сканування пристрій необхідно забезпечити системою автоматичного регулювання (рис. 1) віддалення h_1 вільного кінця від поверхні матеріалу. Регульованим об'єктом тут виступає первинний перетворювач ПП висоти h матеріалу в потоці, який містить горизонтальний вал, встановлений на кульових підшипниках, жорстко закріплений на ньому скануючий елемент з перетворювачем відстані h_1 до контрольованої поверхні. Вал, крім того, зв'язаний із знижувальним редуктором P реверсивного двигуна РД та перетворювачем кута ПК, забезпеченим вимірювальним приладом ВП. Вихідною величиною тут є кут повороту вала, а регульованою - відстань h_1 до поверхні матеріалу.

Безконтактний датчик відстані ДВ (рис. 1) шарнірно встановлено на кінці скануючого елемента. Під дією власної ваги він завжди знаходиться у вертикальному положенні. Датчик відстані ДВ (наприклад ємнісного типу) своїм полем взаємодіє з матеріалом. Його вихідний сигнал змінюється при наближенні матеріалу. Якщо задавач відстані ЗВ буде мати рівень сигналу, що відповідає певній відстані матеріалу до крайки перетворювача, то можливо автоматично підтримувати цей параметр у будь-яких технологічних ситуаціях. Регульована відстань h_1 включає висоту самого перетворювача разом з висотою його робочого поля.

Сигнал датчика відстані ДВ (рис. 1) на елементі порівняння ЕП порівнюється з сигналом задавача відстані ЗВ. Якщо ці сигнали однакові за амплітудою і полярністю, то схема знаходиться в усталеному режимі. Це означає, що відстань від крайки датчика відстані до матеріалу відповідає заданому значенню. У випадку збільшення висоти матеріалу сигнал ДВ зміниться, що приведе до формування керуючого діяння в системі і приведення дійсного значення відстані h_1 до заданого задавачем ЗВ через спрацювання підсилювача П, фазочутливого підсилювача ФП, реверсивного двигуна РД та редуктора Р.

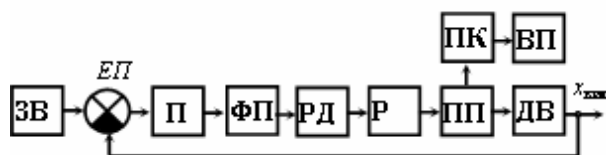


Рис. 1. Функціональна схема системи автоматичного регулювання положення датчика відстані над потоком

Точність вимірювання висоти матеріалу в потоці визначається величиною похибки датчика відстані, тобто, точністю стабілізації параметра h_1 .

На точність стабілізації параметра h_1 впливають як сама похибка вимірювання відстані до матеріалу, так і статичні та динамічні властивості системи автоматичного регулювання. В усталеному режимі роботи високу точність вимірювання кута повороту вала можливо забезпечити при відсутності статичної помилки системи. Для чіткого відслідковування рельєфу поверхні потоку система автоматичного регулювання повинна володіти високою швидкістю. Для цього до складу системи необхідно ввести коректуючий пристрій, а розробляти її необхідно як оптимальну за швидкістю. Оскільки помилки, що при цьому виникають, є незалежними, результуючу середньоквадратичну помилку вимірювання висоти матеріалу в потоці можливо визначити за формулою

$$\delta = \sqrt{\delta_{ДВ}^2 + \delta_{СР}^2 + \delta_{ПК}^2}, \quad (1)$$

де $\delta_{ДВ}, \delta_{СР}, \delta_{ПК}$ - відповідно середні квадратичні відхилення сигналів датчика відстані, системи автоматичного регулювання, перетворювача кута від приписаного значення.

Пасивний скануючий пристрій являє собою закріплений на валу важіль - скануючий елемент з робочим елементом на вільному кінці, який ковзає по поверхні матеріалу. Закріплений кінець скануючого елемента відтворює кут повороту, який однозначно зв'язаний з рівнем матеріалу залежністю

$$\alpha_{П} = 2 \arcsin \sqrt{\frac{h}{2l}}, \quad (2)$$

де h - товщина шару матеріального потоку; l - довжина скануючого елемента.

Пасивний скануючий пристрій (рис. 2) має перетворювач кута ПК і вимірювальний прилад ВП. Його точність в основному визначається лише похибкою ланцюга ПК-ВП та зносом крайки робочого елемента.

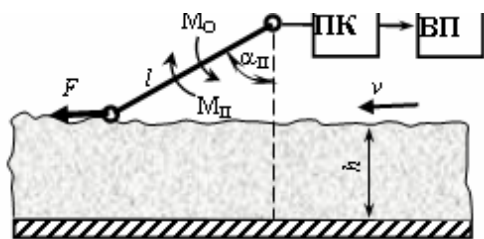


Рис. 2. Функціональна схема пасивного скануючого пристрою поверхні матеріального потоку

Як видно з (2), кут α_n нелінійно залежить від висоти матеріалу h в потоці.

Аналіз показав, що кут повороту вала активного скануючого пристрою визначається залежністю

$$\alpha_n = 2 \arcsin \sqrt{\frac{h + h_1}{2l}}, \quad (3)$$

де h_1 - відстань від вільного кінця скануючого елемента до поверхні матеріалу.

Як видно з (3), при $h_1=0$ отримуємо залежність (2), що відповідає пасивному скануючому пристрою. На рис. 3 показані залежності кута повороту вала первинного перетворювача від товщини матеріалу в потоці при різних значеннях відстані h_1 . При $h_1=0$ отримуємо характеристику, що відповідає пасивному скануючому пристрою (рис. 3а). З рис. 3б,г видно, що статичні характеристики активного скануючого пристрою однотипні.

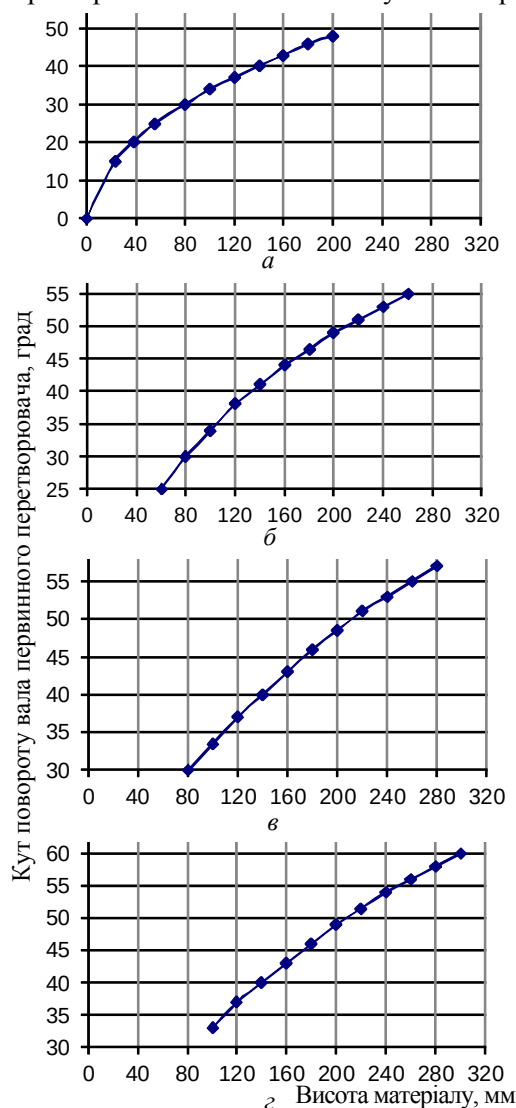


Рис. 3. Залежність кута повороту вала первинного перетворювача від товщини матеріалу в горизонтальному потоці при різних відстанях h_1 кінця скануючого елемента від поверхні вимірюваного середовища: а,б,г,з – відповідно при $h = 0, 60, 80, 100$ мм

Більш детальний аналіз показує, що всі вони сумісні між собою, тобто, є продовженням одна одної, займаючи лише різні діапазони зміни товщини матеріалу і кутів повороту. З статичних характеристик (рис. 3) видно, що у межах розглянутих змін h_1 з ростом даного показника не лінійність залежностей дещо зменшується.

На відміну від активних пасивні скануючі пристрої не мають привода і їх вільний кінець вільно ковзає по поверхні потоку. Якщо це сипкий матеріал, то робочий елемент не занурюється в нього і вимірювання здійснюється достатньо точно.

У випадку рідин така взаємодія ускладнюється. Розглянемо взаємодію рідкого потоку і робочого елемента у вихідному положенні, коли робочий елемент розташований перпендикулярно потоку і зафіксовано. Знайдемо розподіл тиску і сили тиску рідини на робочий елемент по його ширині.

Швидкість частинок рідини, що знаходяться на поверхні потоку в точці А (рис. 4) на відстані x від середини ширини робочого елемента дорівнює [2]

$$W = C \cdot \ln \frac{b+x}{b-x}, \quad (4)$$

де C - стала.

Віднесемо зміни тиску в різних точках по ширині робочого елемента до швидкісного напору в нескінченності і запишемо

$$\frac{\rho v^2}{2} = \frac{\rho \pi^2 C^2}{2}, \quad (5)$$

де ρ - густини рідини; v - швидкість потоку.

Аналізуючи розподіл тисків вздовж ширини робочого елемента, які діють з двох його боків, встановлено, що їх різниця стала по ширині робочого елемента і дорівнює перепаду в точці А, тобто $P_A=2$ (рис. 4).

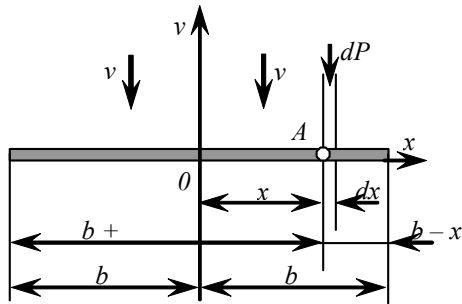


Рис. 4. Взаємодія потоку рідини з робочим елементом скануючого пристрою

Повна сила, що діє на робочий елемент з боку потоку, дорівнює

$$F = \rho v^2 \cdot \Delta h B, \quad (6)$$

де $B=2b$ - ширина робочого елемента.

Під дією сили F потоку (див. рис. 2) буде розвиватись момент повороту, який дорівнює

$$M_n = (l - h) \cdot F. \quad (7)$$

Моменту повороту M_n протидіє момент опору M_o , який створюється масою скануючого елемента та масою робочого елемента. Він буде дорівнювати

$$M_o = \frac{l}{2} (m_{ce} + 2m_{pe}) g, \quad (8)$$

де l - проекція скануючого елемента на горизонтальну вісь; m_{ce} , m_{pe} - відповідно маси скануючого елемента та робочого елемента; g - прискорення земного тяжіння.

Долаючи момент опору M_o , M_n повертає скануючий елемент. У рівновазі $M_n = M_o$, що дозволяє визначити величину заглиблення Δh робочого елемента в потік. Вона буде дорівнювати

$$\Delta h = \frac{(m_{ce} + 2m_{pe}) g}{2\rho \cdot B \cdot v^2} \cdot l \cdot \frac{\sqrt{\frac{2h}{l} - \frac{h^2}{l^2}}}{l - h}. \quad (9)$$

Залежність (9) містить конструктивні, фізичні та, можливо, експлуатаційні сталі. Змінна висота потоку h , довжина скануючого елемента l впливають на значення занурення Δh . При роботі Δh бажано мати незначним за величиною. Тому необхідно приймати найменші маси m_{ce} , m_{pe} і, по можливості, найбільш широкий робочий елемент B . Змінна частина виразу (9), що містить h і l , також повинна мати найменше значення.

Як показує аналіз, змінна частина виразу (9) при певних висотах матеріалу h залежить від l . Тому вона може слугувати критерієм оптимальності, якому необхідно надати найменше значення. Критерій оптимальності буде дорівнювати

$$J = l \frac{\sqrt{(2h/l) - (h^2/l^2)}}{l - h} \rightarrow \min. \quad (10)$$

За умовою задачі на величину l необхідно накласти обмеження

$$l_{\text{доп}} \geq l > h, \quad (11)$$

де $l_{\text{доп}}$ - визначається можливими габаритами і можливістю обтікання хвильоподібних поверхонь матеріалу.

У табл. 1 наведено значення критерію оптимальності, розраховані за виразом (10). З даних табл. 1 видно, що критерій оптимальності зменшується при зростанні довжини скануючого елемента при будь-яких значеннях висоти потоку.

Збільшення висоти потоку приводить до значного зростання критерію оптимальності. Критерій оптимальності (10) не має мінімуму, тому йому необхідно надати найменше значення, яке, крім того, буде визначатись осередненою висотою потоку.

Якщо найбільш імовірним значенням висоти потоку буде 100 мм, то за даними табл. 1 можна встановити рівень критерію оптимальності.

Найкраще значення критерію оптимальності може бути в області, наближеній до 0,6634, а довжини скануючого елемента - в межах певних змін відносно значення 600 мм.

Ці значення будуть найкращими тому, що критерій оптимальності з ростом довжини скануючого елемента спочатку стрімко зменшується, а потім зменшення відбувається повільніше.

При зростанні довжини скануючого елемента з 0,4 до 0,6 м критерій оптимальності зменшується на 0,22, а з 0,6 до граничних 0,8, всього на 0,11 і в два рази менше, ніж в попередньому випадку. Тому довжину скануючого елемента доцільно приймати десь на рівні 600 мм.

Залежність критерію оптимальності від довжини скануючого елемента

Висота потоку, м	Довжина скануючого елемента, м			
	0,2	0,4	0,6	0,8
0,05	0,8819	0,5533	0,4030	0,3712
0,10	1,7320	0,8819	0,6634	0,5533
0,15	2,6458	1,2490	0,8819	0,7175
0,20	-	1,7320	1,1180	0,8819

Оптимізація довжини скануючого елемента забезпечує найкращі параметри пристрою, однак не гарантує високої точності вимірювання координат поверхні, оскільки при визначенні 1 параметр Δh зі зміною висоти потоку може коливатись у значних межах. Промодельюємо даний процес з використанням залежності (9) на пісковому потоці спірального механічного класифікатора, приймаючи $l=0,6$ м, $\rho=2200$ кг/м³, $B=0,06$ м, $m_{ce}=0,05$ кг, $m_{pe}=0,05$ кг.

Результати моделювання зведені до табл. 2. З даних табл. 2 слідує, що заглиблення Δh робочого елемента пасивного скануючого пристрою у пісковий потік порівняно невелике. Чим більша швидкість руху матеріалу, тим воно менше. З ростом висоти потоку воно значно збільшується. До похибки вимірювання приводить не абсолютне значення Δh , а його зміни в процесі роботи.

Отже, на точність вимірювання координат поверхні потоку будуть впливати зміни висоти і швидкості руху матеріалу.

Наприклад, піски односпірального механічного класифікатора рухаються хвилюподібно, змінюючи висоту матеріалу від деякого найменшого до найбільшого значення. Швидкість руху матеріалу також при характерних циркулюючих навантаженнях змінюється порівняно в незначних межах. При значних густинах епіюра швидкостей також вирівнюється. Такий матеріальний потік є ідеальним для використання пасивного скануючого пристрою. Потоки з сипкого матеріалу таку похибку не породжують.

Аналіз показує, що рух пульпи в основному здійснюється з швидкостями 1,5-2,5 м/с. Тому швидкість 1 м/с можливо рахувати граничною, де похибки від зміни висоти матеріалу будуть найвищими. З даних табл. 2 слідує, що при $v=1$ м/с заглиблення робочого елемента пасивного скануючого пристрою у пісковий потік складає відповідно висоти потоку 4,5; 3,7; 3,28; 3,12 % у межах їх зміни від 0,05 до 0,20 м. Це значні відхилення.

Таблиця 2

Заглиблення робочого елемента пасивного скануючого пристрою у пісковий потік, мм

Висота потоку, м	Швидкість потоку матеріалу, м/с			
	1,0	1,5	2,0	2,5
0,05	2,25	1,50	1,12	0,90
0,10	3,70	2,46	1,85	1,48
0,15	4,92	3,28	2,46	1,97

Однак, якщо налагодження пристрою здійснити з компенсацією заглиблення на 3,7 мм при $h=0,1$ м, то відхилення Δh відповідно складуть - 1,45; 0; 1,22 і 2,53 мм, що відповідає відносним похибкам - 2,90 %, 0 %, 0,81 % і 1,26 %. Враховуючи, що значення висоти матеріалу 0,05 м малоімовірно, такі похибки допустимі при вимірюванні координат поверхні потоку.

При більших значеннях швидкостей похибки будуть зменшуватись і все ж вони залишаються значними при висотах матеріалу, що перевищують 150 мм.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Отже, пасивний і активний скануючі пристрої забезпечують необхідну в багатьох технологічних умовах точність вимірювання і надійність роботи. Вони можуть успішно використовуватись при контролі витрати матеріалів у збагачувальній галузі промисловості.

Пасивний скануючий пристрій, як більш простий, доцільно використовувати в усіх можливих випадках.

Областю застосування активних скануючих пристроїв є потоки з сильним налипанням матеріалу, малими густинами, швидкостями та абразивним зносом.

Пасивні скануючі пристрої достатньо добре підходять для вимірювання піскових потоків односпіральних механічних класифікаторів.

Потоки двоспіральних механічних класифікаторів з достатньо високою точністю виміряти практично не можливо в наслідок великої висоти, її пульсацій в широкому діапазоні, зміни в широких межах витрати, швидкості та густини матеріалу.

Перспективою подальших досліджень є забезпечення лінійності статичних характеристик пасивних і активних скануючих пристроїв.

Список літератури

1. Ультразвуковой контроль характеристик измельченных материалов в АСУ ТП обогатительного производства / [Моркун В. С., Потапов В. Н., Моркун Н. В., Подгородецкий Н. С.]. – Кривой Рог : Изд. центр КТУ, 2007. – 283 с.
2. Моркун В. С. Ультразвуковые поверхностные волны Лэмба и Лява в измерительных системах / В.С. Моркун, О.В. Поркуян - Кривий Ріг: Изд. центр КТУ, 2006. – 261 с.
3. Купін А.І. Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології / Купін А.І. – Кривий Ріг: Видавництво КТУ, 2008. – 204 с.
4. Назаренко М.В. Прогнозуюче адаптивне керування стохастичною системою для забезпечення раціональних техніко-економічних показників на прикладі залізничного гірничо-збагачувального комбінату / Назаренко М.В. – Кривий Ріг: Діоніс (ФOP Чернявський Д.О.). – 2010. – 309 с.
5. Назаренко М.В. Теоретичні засади та принципи побудови моделей динамічних процесів та їх регуляторів / Назаренко М.В. – Кривий Ріг: Діоніс (ФOP Чернявський Д.О.). – 2010. – 204 с.
6. Азарян А.А. Автоматизация первой стадии измельчения, классификации и магнитной сепарации – реальный путь повышения эффективности обогащения железных руд / А.А. Азарян, Ю.Ю. Кривенко, В.Г. Кучер // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць.- 2014.- Вип. 36.- С. 276-280.
7. Щокін В. П. Інтелектуальні системи керування: аналітичний синтез та методи дослідження / В.П. Щокін. – Кривий Ріг: Діоніс (ФOP Чернявський Д.О.), 2010. – 264 с.
8. Измельчение. Энергетика и технология / [Пивняк Г.Г., Вайсберг Л.А., Кириченко В.И. и др.]. – М.: Изд. дом “Руда и Металлы”, 2007.– 296 с.
9. Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых / [Морозов В.В., Топчаев В.П., Улитенко К.Я. и др.]. – М.: Изд. дом «Руда и Металлы», 2013.– 512 с.
10. Луткин Н.И. Приборы для контроля технологического процесса в потоке / Н.И. Луткин, К.К. Морар.– М.: Колос, 1978.– 160 с.
11. Гудима В.И. Основы автоматизации обогатительных фабрик / Гудима В.И.– М.: Недра, 1979.– 310 с.
12. Троп А.Е. Автоматизация обогатительных фабрик / А.Е. Троп, В.З. Козин.– М.: Недра, 1974.– 225 с.
13. Goldberg A.S., Boothroyd R.G. Measurements in flowing gas-solids suspensions.– Part I. Brit. Chemical Engineering, 14, 1969, 12, 1705-1708.
14. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ / Кремлевский П.П. - СПб.: Политехника, 2004.– 416 с.
15. А.с. 399252 СССР, МКИ В 03 В 13/04, В 02 С 25/00. Устройство для измерения песковой нагрузки в замкнутом цикле измельчения / С.А. Волотковский, А.К. Елисеєв, А.Н. Марюта (СССР). - № 1662502/29-33; заявл. 25.05.71; опубл. 03.10.73, Бюл. № 32.
16. А.с. 329905 СССР, МКИ В 03 С 5/00. Способ непрерывного измерения циркулирующей нагрузки / Т.И. Гуленко, В.А. Кондратец (СССР). – № 1352391/29-33; заявл. 28.07.69; опубл. 24.02.72, Бюл. № 8.
17. А.с. 388790 СССР, МКИ В 03 В 11/00. Устройство для автоматического контроля загрузки и стабилизации разжижения пульпы в мельнице / Ф.Н. Дегтярев, А.А. Мерзляков, В.А. Кондратец, В.И. Новохатько, Н.И. Кучма, Т.И. Гуленко (СССР). – № 1420849/29-33; заявл. 30.03.70; опубл. 05.07.73, Бюл. № 29.
18. А.с. 570398 СССР, МКИ В 03 В 13/04. Устройство для измерения циркулирующей нагрузки / Ф.Н. Дегтярев, А.А. Мерзляков, В.А. Кондратец, Л.П. Байда, Н.В. Гончаров (СССР). - № 1676560/03; заявл. 28.06.71; опубл. 30.08.77, Бюл. № 32.
19. Кондратец В.О. Теоретичне дослідження сканування поверхні відкритих матеріальних потоків променями незмінної довжини / В.О. Кондратец // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць.- 2013.- Вип. 35.- С. 174-178.
20. Милович А.Я. Теория динамического взаимодействия тел и жидкости / Милович А.Я. — М: Госиздат лит. по строит. и архит., 1955. – 310 с.

Рукопис подано до редакції 14.06.15

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА РУДОПОТОКА ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КАРЬЕРА НА ПРИБЫЛЬ ГОРНООБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

Качество рудопотока карьера, характеризующееся показателем среднеквадратического отклонения содержания полезного компонента, оказывает влияние на прибыль железорудного ГОКа. Самым затратным процессом является обогащение. Качество исходной руды (рудопотока) существенно влияет на уровень себестоимости обогащения. Обеспечение заданного показателя качества рудопотока позволяет оптимизировать процесс обогащения и снизить затраты. В исследованиях было использовано имитационное моделирование процесса формирования рудопотока с различными показателями среднеквадратического отклонения содержания полезного компонента при разной степени измельчения и были выполнены расчеты с применением компьютерной программы. По итогам исследований были построены графики зависимости прогнозных показателей прибыли от крупности измельчения для различных значений СКО в рудопотоке карьера для ПАО «ИнГОК» и ПАО «ПГОК» и были установлены зависимости показателей прибыли от величины коэффициента $\min imax$.

Более реальным является достижение крупности измельчения 75 мкм, при этом наблюдается падение прогноз-ного значения прибыли относительно крупности 30-60 мкм до 30 -50 млн грн.

Увеличение СКО на единицу вызывает снижение прогнозной прибыли горнообогатительного комбината в среднем на 25-35 млн грн. в год. Это происходит за счет снижения общего качества рудопотока, вызванного увели-чением диапазона колебаний качества. Увеличение СКО на единицу согласно правила «3 σ » соответствует показате-лю $\min imax$ - 3 % содержания полезного компонента, т.е. ширина диапазона колебаний увеличивается на 3 %.

Ключевые слова: рудопоток карьера, прибыль горно-обогатительного комбината, среднеквадратическое от-клонение содержания полезного компонента, крупность измельчения.

Проблема и ее связь с основными научными и практическими заданиями. В условиях кризиса в экономике Украины задача снижения себестоимости производства является весьма актуальной. Существует несколько путей решения этой задачи, которые сводятся к оптимиза-ции производственных процессов, сокращению основных статей затрат, повышению эффек-тивности инвестиций и гибкому реагированию на ценовые колебания рынка сбыта.

Анализ исследований и публикаций. Анализ распределения затрат по основным технологиче-ским процессам железорудных ГОКов Украины свидетельствует, что основная часть затрат прихо-дится на обогащение (от 57 % ПАО «Полтавский ГОК» до 61 % ПАО «Северный ГОК») [10].

Постановка задачи. Задача снижения себестоимости производства железорудных ГОКов Украины может быть решена формированием рудопотоков с заданными показателями качест-ва, обеспечивающими оптимальные режимы работы обогатительного производства.

Изменения качества в рудном потоке неизбежны, но весьма важным показателем является ограничение величины колебаний определенным диапазоном и обеспечение соблюдения этого диапазона. Границы диапазона диктуются условиями обогатительного производства. Возмож-ность выдержать содержание в границах заданного позволяет выдержать оптимальный режим обогащения, при котором обеспечивается наиболее рациональные технологические и экономи-ческие показатели, в том числе и минимальный показатель себестоимости.

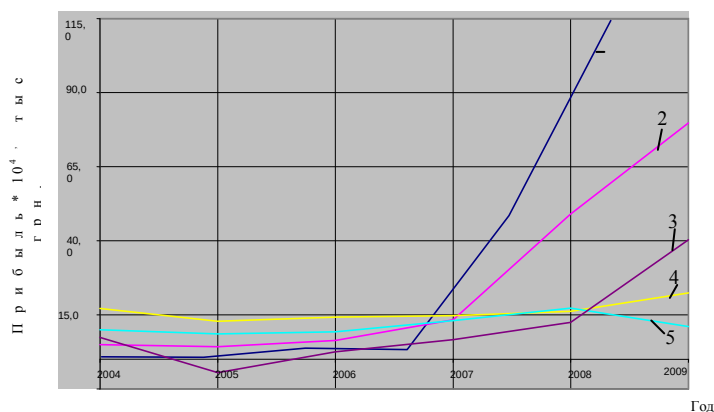


Рис. 1. Динамика изменения прибыли железорудных ГОКов Украины за 2004-2009 гг.: 1 - ПАО «СевГОК»; 2 - ПАО «ПГОК»; 3 - ПАО «ЦГОК»; 4 - ПАО «ЮГОК»; 5 - ПАО «ИнГОК»

Изложение материала и ре-зультаты. Качество продукции горно-обогатительного комбината предопределяет величину его от-пускной цены. Цена единицы про-дукции в свою очередь прямо взаимосвязана с показателем при-были предприятия [2].

На основании статистических

данных был построен график динамики изменения прибыли железорудных ГОКов Украины за период 2004-2009 гг. На графике наблюдается рост прибыли практически всех комбинатов в 2007 г., связанный с значительным ростом цен на концентрат. [1] Обратный процесс, связанный с падением мировых цен на железорудное сырье, который продолжается и сегодня, вызвал резкое сокращение прибыли железорудных ГОКов Украины, ухудшил практически все технико-экономические показатели и понизил их конкурентоспособность. Поэтому решение задачи по стабилизации прибыли горнообогатительных комбинатов на сегодня является одной из основных производственных задач.

Известно, что прибыль ГОКа определяется по формуле

$$П = \sum QЦ\gamma - \sum (З_d + З_n),$$

где Q - объемы добычи руды за учетный период; $Ц$ - отпускная цена за 1 т концентрата (величина, изменяемая во времени); γ - выход концентрата; $Q\gamma = Q_{\text{конц}}$ - объем концентрата за учетный период, где $\gamma = \varepsilon \alpha / \beta$; ε - извлечение, доли ед.; α - с.п.к. в руде; β - с.п.к. в концентрате; $З_d$ - общие затраты на добычу полезного ископаемого; $З_n$ - затраты на обогащение полезного ископаемого.

По сути, $\sum (З_d + З_n)$ является суммарной себестоимостью всего технологического цикла добычи и переработки

$$\sum (З_d + З_n) = \sum (C_{\text{вскрыши}}, C_{\text{добычи}}, C_{\text{концентрата}})$$

Себестоимость процесса обогащения в свою очередь является функцией от следующих показателей

$$C = f(R_{ш}, R_{ф}, R_{э}, R_{в}, R_{з.п.}),$$

где $R_{ш}$ - расход шаров; $R_{ф}$ - расход футеровки мельниц; $R_{э}$ - расход электроэнергии; $R_{в}$ - расход воды; $R_{з.п.}$ - расходы на заработную плату

Еще одним важным показателем является раскрытие зерен руды (крупность измельчения). Известно, что чем тоньше помол, тем больше извлечение в металл и меньше потери в хвостах. Однако при этом существенно возрастают расходные материалы и энергозатраты на обогащение и падает производительность обогатительного производства за счет увеличения времени цикла измельчения. [2] [3]

Рассмотрим влияние колебаний качества в рудопотоке (исходной руде обогатительного производства) на величину прибыли на базе имитационного моделирования.

Программа, позволяющая произвести моделирование процесса в виде многовариантных расчетов для различных массивов, в качестве исходных данных использует статистическую базу данных по основным технико-экономическим показателям работы железорудных горнообогатительных комбинатов.

Принцип формирования таблиц исходных данных основывается на двух основных положениях:

1. Прибыль предприятия $P = f(\sum Z_i, Ц, Q_{\text{год}}, \gamma)$ выражается формулой

$$П = (Ц - З) \cdot Q_{\text{год}} \cdot \gamma,$$

где все составляющие являются переменными величинами: $Ц$ - цена 1 т концентрата, грн.; $З$ - затраты на одну тонну концентрата, грн.; $Q_{\text{год}}$ - годовая мощность ГОКа по руде, т; γ - выход концентрата, %.

Известно, что цена - это переменная величина, в том числе зависящая от массовой доли полезного компонента в концентрате. Величина затрат зависит от ряда факторов, но большую часть (до 70 %) в ней составляют затраты на измельчение. Таким образом, затраты на измельчение можно представить как функцию от крупности измельчения исходной руды $З = f(d)$. Вместе с тем, степень измельчения влияет на показатель выхода концентрата. Выход концентрата, в свою очередь, зависит от колебаний качества в рудопотоке, оцениваемый величиной среднеквадратического отклонения σ , а также коэффициентом $\min imax$, ограничивающим диапазон колебаний качества. Показатель годовой мощности комбината по руде также величина переменная, влияющая на показатель прибыли в целом.

Взаимосвязь прогнозной прибыли ГОКа, крупности измельчения и различных показателей СКО содержания полезного компонента в исходной руде показана на графиках (рис. 2,3). При этом среднеквадратическое отклонение (СКО) рассматривается в диапазоне от 0 (идеальное состояние) до 5 с шагом 1.

Основные показатели, влияющие на величину затрат при измельчении: расход шаров, футеровки, электроэнергии, заработной платы и воды также являются функцией от крупности измельчения [3].

В расчетах использовалась средняя цена на 1 т концентрата ПАО «ПГОК» в 2007 г., которая составляла 115 долл. за 1 т на условии франко-граница (при курсе НБУ - 5,05 грн. за долл. - 580,75 грн./т). При вычитании транспортных и прочих расходов эта величина составляла 399,40 грн. за 1 т концентрата.

В результате проведенных многовариантных расчетов были получены графики для ПАО «ИнГОК» и ПАО «ПГОК»

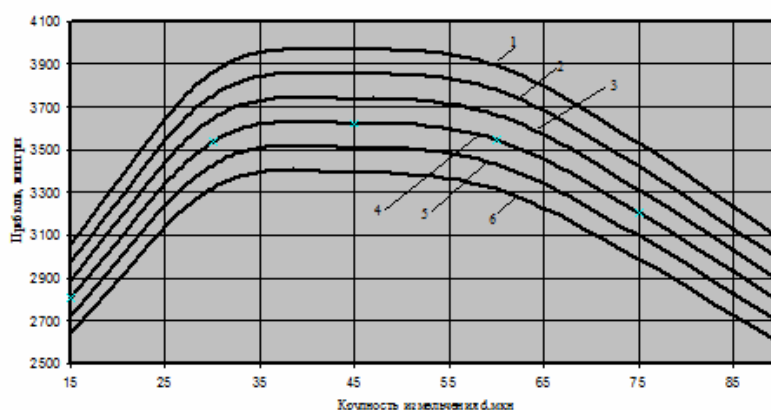


Рис. 2. Зависимость прогнозной прибыли ПАО «ИнГОК» от крупности измельчения при различных значениях среднеквадратического отклонения содержания полезного компонента в рудопотоке

$$\text{СКО}=0 \quad y = -0,0001d^4 + 0,0345d^3 - 3,755d^2 + 173,13d + 1199,80$$

$$\text{СКО}=1 \quad y = -0,0001d^4 + 0,0335d^3 - 3,6467d^2 + 168,05d + 1171,80$$

$$\text{СКО}=2 \quad y = -0,0001d^4 + 0,0326d^3 - 3,5448d^2 + 163,04d + 1143,80$$

$$\text{СКО}=3 \quad y = -0,0001d^4 + 0,0319d^3 - 3,4631d^2 + 158,77d + 1107,50$$

$$\text{СКО}=4 \quad y = -0,0001d^4 + 0,0308d^3 - 3,3525d^2 + 1153,69d + 1079,30$$

$$\text{СКО}=5 \quad y = -0,0001d^4 + 0,0302d^3 - 3,2723d^2 + 149,33d + 1045,50$$

Среднее значение показателя надежности аппроксимации составляет $R=0,99$

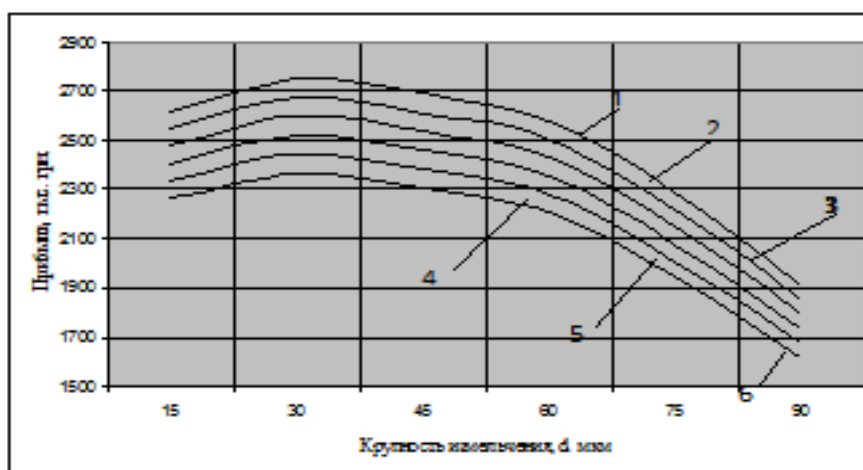


Рис. 3. Зависимость прогнозной прибыли ПАО «ПГОК» от крупности измельчения при различных значениях среднеквадратического отклонения содержания полезного компонента в рудопотоке

$$\text{СКО}=0 \quad y = -0,7292d^4 + 11,903d^3 - 128,06d^2 + 30,45d + 2310,50$$

$$\text{СКО}=1 \quad y = -0,7292d^4 + 11,829d^3 - 123,53d^2 + 407,19d + 2186,20$$

$$\text{СКО}=2 \quad y = -0,7083d^4 + 11,509d^3 - 123,76d^2 + 414,30d + 2251,70$$

$$\text{СКО}=3 \quad y = -0,6042d^4 + 10,171d^3 - 114,38d^2 + 384,84d + 2128,80$$

$$\text{СКО}=4 \quad y = -0,6042d^4 + 10,116d^3 - 112,05d^2 + 373,58d + 2065,80$$

$$\text{СКО}=5 \quad y = -0,5833d^4 + 9,8148d^3 - 108,72d^2 + 360,59d + 2003,70$$

Среднее значение показателя надежности аппроксимации составляет $R=0,99$

Анализ графиков позволяет сделать вывод, что максимум прогнозной прибыли горно-обогатительного комбината должен приходиться на крупность измельчения исходной руды 30-60 мкм при $СКО=0$, что в реальных условиях не встречается.

Более реальным является достижение крупности измельчения 75 мкм, при этом наблюдается падение прогнозного значения прибыли относительно крупности 30-60 мкм до 30-50 млн грн.

Увеличение $СКО$ на единицу вызывает снижение прогнозной прибыли горно-обогатительного комбината в среднем на 25-35 млн грн. в год. Это происходит за счет снижения общего качества рудопотока, вызванного увеличением диапазона колебаний качества. Увеличение $СКО$ на единицу согласно правила «3 σ » соответствует показателю $minimax$ - 3 % содержания полезного компонента, т.е. ширина диапазона колебаний увеличивается на 3 %.

Таким образом, прогнозный показатель прибыли ГОКа находится в обратной пропорции $СКО$ и коэффициента $minimax$. Колебания качества в рудопотоке в диапазоне до 3 % от заданного значения вызывают падения прибыли горнообогатительного комбината до 25-35 млн грн. в год.

При этом одной из возможностей стабилизации прибыли предприятий железорудной отрасли является формирование рудопотоков карьеров с заданными диапазонными значениями качества, основным условием которого является стремление σ к min .

Чем меньше будут колебания качества в заданном диапазоне, тем меньше будет показатель коэффициента $minimax$, тем выше величина прогнозной прибыли комбината.

Выводы. Прогнозный показатель прибыли ГОКа находится в обратной пропорции $СКО$ и коэффициента $minimax$.

Снижение качества рудопотока карьера на $\sigma=1$ уменьшает прибыль железорудного ГОКа до 25-35 млн грн. в год.

Список литературы

1. Азарян В.А. Управление качеством в рудопотоках железорудных карьеров Украины / В.А. Азарян // Материалы 6 международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании», Варна, 4-10 июня 2010.
2. Бызов В.Ф. Управление качеством продукции карьеров / В.Ф. Бызов // Учебн. для вузов – М.: Недра, 1991. – 239с.
3. Экономика обогащения железных руд. Федосеев В.А. Изд-во «Наука», Ленингр. Отд., 1-112
4. Азарян А.А., Колосов В.А., Ломовцев Л.А., Учитель А.Д. Качество минерального сырья. – Кривой Рог: Минерал, 2001 – 201 с.
5. Бызов В.Ф., Вилкул Ю.Г., Максимов И.И. Об усреднении качества руд при объединении грузопотоков / В.Ф. Бызов, Ю.Г. Вилкул, И.И. Максимов // Металлургическая и горная промышленность, 1982. - №2. - С. 64-65.
6. Арсеньев С.Я., Прудовский А.Д. Внутрикарьерное усреднение железных руд / С.Я. Арсеньев, А.Д. Прудовский // М.: Недра, 1980.
7. Бастан П.П., Костина Н.К. Смешивание и сортировка руд / П.П. Бастан, Н.К. Костина // М.: Недра, 1990.
8. Кармазин В.В. Современные тенденции в использовании минерального сырья / В.В. Кармазин // Сб. «Устойчивое развитие горнодобывающей промышленности», Кривой Рог, КТУ. -2004.
9. Шамрай О.В. Формування кар'єрних рудопотоків для стабілізації якості руди / О.В. Шамрай // Рукопис. Дис. канд. техн. наук за спеціальністю 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин. – Криворізький технічний університет: Кривий Ріг, 2009. - 140.с.
10. Азарян В.А. Анализ влияния технологических факторов на себестоимость производства железорудных ГОКов Украины / В.А. Азарян // Сборник трудов КТУ. - Кривой Рог, 2009.

Рукопись поступила в редакцию 17.03.15

Д.В. БРОВКО, В.В. ХВОРОСТ, кандидаты техн. наук, доц.,
Криворожский национальный университет

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД ПРИ НЕЗАВИСИМОМ МНОГОСТУПЕНЧАТОМ ПОСТУПЛЕНИИ СИГНАЛОВ О ДЕФЕКТАХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ШАХТ

На основе руководств по формальной оценке безопасности выполнен анализ риска возникновения аварийных ситуаций в зданиях и сооружениях. На примере обрушения конструкций сооружения поверхности горнодобывающего предприятия, рассмотрены критерии надежности невосстанавливаемых элементов промышленных объектов поверхности горных предприятий. Выведены выражения для оценки количественных характеристик надежности элементов до первого отказа.

Структурная энтропия служит мерой неупорядоченности строения системы. Если из отдельных элементов взводят пространственную конструкцию, то энтропия этой системы будет отрицательной за счет притока энергии при возведении, а мера неопределенности в расположении отдельных элементов возрастает. При возведении возрастает информация в научном ее понимании, т.е. в смысле возрастания неопределенности. Неопределенность об объекте принимается в теории как информационная энтропия. К концу возведения конструкции информационная энтропия достигает максимальной величины. Приток энергии в момент изготовления соответствует отрицательной энтропии. Таким образом, здесь информационная энтропия будет эквивалентна отрицательной структурной энтропии. Можно сказать, что информационная энтропия - это мера неопределенности перед ее раскрытием, о наличии и расположении вложенных друг в друга элементов и связей между ними в структуре системы. Таким образом, структурная неопределенность тесно связана с информационной энтропией. Для упрощения расчетов, иерархию в дефектообразовании следует описывать с помощью информационной энтропии.

Проблема и ее связь с другими практическими задачами. Стандартные значения степени живучести - это такие средние значения, при достижении которых элементы конструкций объекта переходят в качественно иное состояние. По определению стандартные значения являются инвариантами, так как не зависят ни от конструктивного типа, ни этажности объекта. Они используются для формирования требований к уровню конструкционной безопасности зданий (сооружений) при оценке технического состояния их несущих каркасов [20,21].

К стандартным значениям степени живучести относятся:

нормальная (естественная) степень живучести R_{norm} (normal), регламентирующая величину степени живучести объекта после окончания его строительства;

удовлетворительная степень живучести R_{sat} (satisfactory), соответствующая переходу объекта из нормального в удовлетворительное состояние. При достижении таких параметров на объекте должны быть произведены ремонтные работы;

непригодная степень живучести R_{uns} (unusable), соответствующая переходу объекта из удовлетворительного в непригодное к нормальной эксплуатации состояние. При достижении таких параметров способность объекта сопротивляться действующим на него нагрузкам исчерпывается и требуется проведение капитальных ремонтно-восстановительных работ;

аварийная степень живучести R_{crash} (crash), соответствующая переходу объекта из непригодного в аварийное состояние. При достижении таких параметров способность объекта сопротивляться действующим на него нагрузкам исчерпалась и эксплуатация строго запрещена.

Для отыскания стандартных значений степени живучести используется закон распределения. При этом нормальная степень живучести приравнивается к величине естественного состояния для новых зданий (сооружений), показателем которого может служить математическое ожидание закона распределения степени живучести на неограниченном множестве новых зданий (рис. 1).

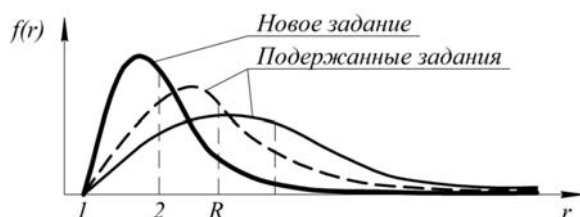


Рис. 1. Распределение плотности вероятности степени живучести объекта в процессе эксплуатации

Фактическая вероятность аварии объекта после окончания его строительства в среднем увеличивается в два раза по сравнению с вероятностью, закладываемой по умолчанию в объект при проектировании.

Постановка задачи. Закон распределения степени живучести построенного объекта в процессе эксплуатации размывается. Причинами этого являются нарушения правил эксплуатации объектов, старение и износ элементов конструкций. В результате совокупного действия этих факторов среднее значение степени живучести смещается вправо. При этом степень неопределенности технического состояния несущего каркаса объекта, показателем которой является величина информационной энтропии, увеличивается.

Изложение материала и результатов. В самом общем виде, энтропия - это мера рассеивания энергии и увеличения всех форм беспорядка. Энергия и энтропия обычно рассматриваются вместе. Однако энтропия, строго говоря, это не потеря энергии, а скорость потери (изменения) энергии. С физической точки зрения - это потенциал. В этом смысле энтропия является тенью энергии. При этом, возрастание энтропии, т.е. потенциал потери энергии, указывает на наиболее вероятное направление протекания процесса в изолированных системах.

Статистическая физика связывает энтропию с вероятностью осуществления данного макроскопического равновесного состояния системы. Энтропия определяется через логарифм статистического веса Ω данного равновесного состояния

$$S = k \cdot \ln \Omega(E, N) \quad (1)$$

где k - постоянная Л. Больцмана; $\Omega(E, N)$ - число квантомеханических уровней в узком интервале энергии ΔE вблизи значения энергии E системы из N частиц.

При испытании системы конструкций элементов зданий и сооружений от начала и до конца нагружения в ней постепенно развиваются системы блоков разного уровня, очерченных или ограниченных сквозными или прерывистыми дефектами. Из упорядоченной системы конструкция постепенно превращается в группу обломков, т.е. сдвигается в сторону хаоса. По мере нагружения конструкции потеря энергии, заложенной при изготовлении конструкции, увеличивается, следовательно, энтропия, как скорость потери энергии, положительна.

К структурной неопределенности примыкает причинно-функциональная неопределенность [3]. Причинно-функциональная неопределенность и ее раскрытие дают информацию о законах взаимодействия между элементами в системе (законы сохранения энергии, Ома и т.п.).

Причинно-функциональная неопределенность о законах взаимодействия представляется слишком большой величиной для определения прочности и устойчивости конструкций, да и сложно устранима на современном уровне науки.

Структурная неопределенность означает информацию о механической системе в целом. Структурная энтропия служит мерой неупорядоченности строения системы. Если из отдельных элементов взводят пространственную конструкцию, то энтропия этой системы будет отрицательной за счет притока энергии при возведении, а мера неопределенности в расположении отдельных элементов возрастает. При возведении возрастает информация в научном ее понимании, т.е. в смысле возрастания неопределенности. Неопределенность об объекте принимается в теории как информационная энтропия. К концу возведения конструкции информационная энтропия достигает максимальной величины. Приток энергии в момент изготовления соответствует отрицательной энтропии.

Таким образом, здесь информационная энтропия будет эквивалентна отрицательной структурной энтропии. Можно сказать, что информационная энтропия - это мера неопределенности перед ее раскрытием, о наличии и расположении вложенных друг в друга элементов и связей между ними в структуре системы.

Таким образом, структурная неопределенность тесно связана с информационной энтропией. С целью упрощения расчетов, иерархию в дефектообразовании следует описывать с помощью информационной энтропии.

Этот путь представляется более простым, но принципиальным и плодотворным для анализа картины дефектов и живучести в конструкциях.

Процесс снижения ценности научной информации в смысле уменьшения неопределенности можно представить как процесс уменьшения неизученного поля элемента конструкции. На рис. 2 показано, как уменьшается неизученная площадь A , увеличивается вероятность изученного поля P и уменьшается неопределенность H_i в задаче изучения поля.

На этом примере видно, что математическая теория информации предусматривает постепенное снятие неопределенности.

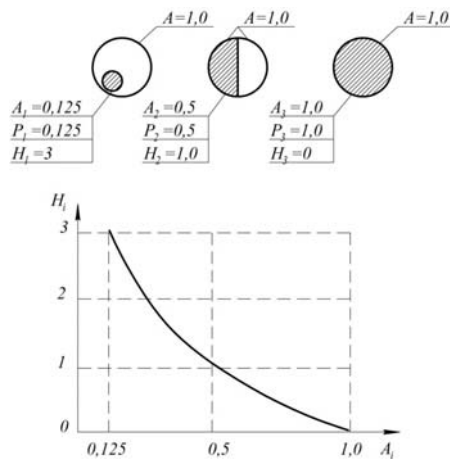


Рис. 2. Изменение меры неопределенности (количества информации) при изучении поля наблюдения. A - общая площадь наблюдения; A_1, A_2, A_3 - площадь изученного поля; P_1, P_2, P_3 - вероятности изученного поля; H_1, H_2, H_3 - неопределенности в изучении относительно всего поля

Процесс снижения неопределенности в научном представлении достаточно глубоко разработан в теории связи и информации [4-8]. Однако возникает проблема выбора вида информационной энтропии. Здесь надо иметь в виду, что эксплуатация, действующие нагрузки, а иногда и нагрузки аварийного действия, способствуют последовательному и иерархическому проявлению дефектов, т.е. непрерывному и многоступенчатому устранению неопределенности в появлении, развитии и завершении картины разрушения системы. Это должно быть учтено для обоснования выбора типа формулы К.Э. Шеннона.

В стадии предразрушения, объект моделируется конечным скелетом из элементов, т.е. слабыми связями. Отсюда следует важнейшее свойство прочностной структуры - локальность разрушения связей при повышении напряжений от внешней нагрузки. Работа данного элемента и его связей мало зависит от того, как нагружены смежные элементы.

Чтобы прийти к стадии конечного скелета, материал должен пройти несколько стадий предразрушений и образовать иерархическую систему дефектов. Отсюда следует другое важнейшее свойство материала - многоступенчатое, последовательное повреждение.

Следовательно, рассматриваемый вид информационной энтропии должен удовлетворять двум свойствам: локальности разрушения связей и многоступенчатому характеру их разрушения. С точки зрения теории связи и информации, принятый вид информационной энтропии должен удовлетворять требованиям независимости сообщения при их многоступенчатом сообщении. Если количество разрушившихся связей между структурными элементами принять как количество сигналов от этих связей, то открывается принципиальная возможность использования формулы информационной энтропии, по К.Э. Шеннону.

В этом случае процесс постепенного изменения состояния элементов конструкций можно описать информационной формулой, показывающей величину (меру) неопределенности при многоступенчатом независимом сообщении от многих источников [5,7,8,17,18,19].

Аналогия между разрушением элементов и сигналами об их разрушении основана на следующих статистических положениях.

Пусть имеется набор связей между элементами с заданной прочностью $R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_m$ вероятности которых не равны и выражены как $P_1, P_2, \dots, P_i, P_m$. Вследствие действия внешней нагрузки мы можем получить комбинацию разрушившихся связей, содержащую n связей из набора m . Все разорванные связи составят полную систему случайных событий, называемую ансамблем

$$\sum_{i=1}^m P_i = 1. \quad (2)$$

Вероятность каждой данной комбинации n выразится произведением вероятностей ее отдельных разорванных связей, так как предполагается, что появление разрыва отдельной связи есть независимое событие. Поэтому для комбинации разорванных связей имеем

$$P = P_1^{n_1} \cdot P_2^{n_2} \dots P_n^{n_n} = \prod_{i=1}^n P_i^{n_i} \quad (3)$$

Положим, что n достаточно велико для того, чтобы можно было считать

$$\begin{aligned} n_i &= P_i n \\ \text{или} \\ P_i &= n_i / n \end{aligned} \quad (4)$$

Количество возможных комбинаций разорванных связей (сообщений) с количеством связей $n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_m$ равно числу перестановок с неограниченными повторениями:

$$N = m^n \quad (5)$$

В теории связи и информации для получателя все N сообщений являются равновероятными, а получение конкретного сообщения равносильно для него случайному выбору одного из N объектов с вероятностью $1/N$. Чем больше N тем больше информативность и тем больше степень неопределенности в сообщении.

Число N могло бы служить мерой информации. Однако, с точки зрения техники связи и информации, необходимо наделить эту меру свойством аддитивности (в результате логарифмирования), т.е. определить ее так, чтобы она была пропорциональна величине n - количеству разорванных связей. Применительно к каркасу здания можно провести следующую аналогию: комбинация N из большого количества разрушенных связей n_i должна давать в результате большее количество дефектов. Таким образом, свойство аддитивности применительно к каркасу здания также крайне нужно для учета накопления разрушившихся связей, образующих общее состояние объекта.

Таким образом, необходимо в качестве меры количества сведений принять не само число N , а некоторую функцию от него, желательно аддитивного типа $I=f(N)$, а именно типа

$$I = \log N = n \log m, \quad (6)$$

где количество информации пропорционально величине n сообщения и удовлетворяет условиям аддитивности.

Используя величину Стирлинга [5], переходя к вероятностям и произвольным основаниям логарифмов, получаем формулы К.Э. Шеннона для количества информации и информационной энтропии

$$I = -n \sum_{i=1}^m P_i \log P_i; \quad (7)$$

$$H = (I/n) = -\sum_{i=1}^m P_i \log P_i. \quad (8)$$

Факт разрушения конструкции соответствует нулевой величине информационной энтропии $H_i=0$. Это означает, что неопределенность о факте разрушения отсутствует. В этом случае вероятность одного из элементов m^n (например, сквозные трещины) равна единице, т.е.

$$H_i = P_i \log_2 P = 1 \log_2 1 = 0 \quad H_i=0 \quad (9)$$

Информационная энтропия служит мерой измерения (уменьшения) неопределенности сообщения данного источника (конструкции), которые описываются вероятностями $P_1, P_2, \dots, P_n$, появления дефектов $R_1, R_2, \dots, R_n$.

Протяженность формулы К.Э. Шеннона зависит от характерного размера конструкции и от количества дефектов. Наиболее полная формула имеет следующий вид

$$\sum P_i = 1 \quad \text{при} \quad H_i = -P_1 \log_2 P_1 - P_2 \log_2 P_2 - P_3 \log_2 P_3 \dots P_n \log_2 P_n \quad (10)$$

Большой интерес для будущего анализа представляет четырехступенчатая формула, учитывающая четыре характерных состояний конструкций. Формула имеет следующий вид

$$\sum P_i = 1 \quad \text{при} \quad H_4 = -P_1 \log_2 P_1 - P_2 \log_2 P_2 - P_3 \log_2 P_3 \dots P_4 \log_2 P_4 \quad (11)$$

где $P_1, P_2, \dots, P_n$ - вероятности разрушения при разных степенях.

Чтобы представить себе характер зависимости $H(P_1, P_2, \dots, P_n)$ по К.Э. Шеннону, от независимых величин вероятностей $P_1, P_2, \dots, P_n$ рассмотрим два варианта физического износа для жилых зданий и промышленных зданий.

Будем полагать, что развитие состояния элементов и здания в целом происходит в соответствии с действующими нормативами с вероятностью, показанной в табл. 1 и 2.

Различия конструктивных схем зданий и сооружений, а также различные условия их эксплуатации, означает больший разброс в наличии наименее уязвимых мест во всей конструкции. Последние приводят к относительно большему числу дефектов. Относительно большее число этих дефектов выражено через вероятности их появления при соблюдении жесткого условия $\sum P_i = 1$.

Следует определить, какие из зданий представляют большую неопределенность в прогнозе появления дефектов. С этой целью подсчитываем частные неопределенности $P_i \log_2 P_i$ для каждого из видов физического износа, а также общую, суммарную неопределенность по формуле

$$H_i = -P_1 \log_2 P_1 - P_2 \log_2 P_2 - P_3 \log_2 P_3 \dots - P_n \log_2 P_n \quad \text{при } \sum P_i = 1 \quad (12)$$

Результаты расчета сведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Величины вероятностей и неопределенностей в отношении физического износа промышленных зданий и сооружений

Физический износ, %	0-20	21-50	51-80	81-100
Вероятность появления состояния, P_i	0,2	0,3	0,3	0,2
Частная неопределенность, $P_i \log_2 P_i$	0,464386	0,52109	0,52109	0,464386
Общая неопределенность, H_i				1,970951

Таблица 2

Величины вероятностей и неопределенностей в отношении физического износа жилых зданий и сооружений

Физический износ, %	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Вероятность появления состояния, P_i	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Частная неопределенность, $P_i \log_2 P_i$	0,464386	0,464386	0,464386	0,464386	0,464386
Общая неопределенность, H_i					2,321928

Общая суммарная величина неопределенности для жилых зданий и сооружений $H=2,321928$ оказалась на 18 % больше, чем неопределенность для промышленных зданий и сооружений $H=1,970951$. Интерпретировать эти результаты можно на основе различия в количестве видов физического износа. Это подтверждает предположения К.Э. Шеннона при равновесности состояний, неопределенность события тем больше, чем больше количество этих состояний. Логарифмическая форма, как аддитивная, может быть единственной для определения величины неопределенности или энтропии H_i .

При вычислении энтропии H_i сравнительно маловероятные результаты опыта можно без большой ошибки опустить.

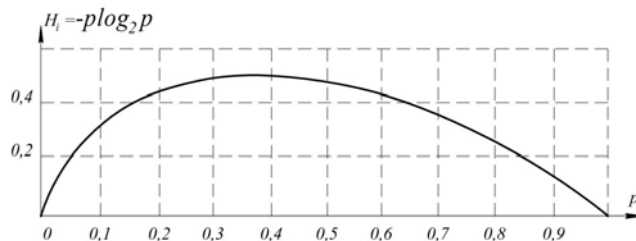


Рис. 3. Изменение частной неопределенности - H в зависимости от вероятности p

Наоборот, в области от $p_i=0,2$ и до $p_i=0,6$ слагаемые $-P_i \log_2 P_i$ принимают наибольшие значения, и они меняются сравнительно плавно. Поэтому в этой средней области кривой довольно значительные изменения величин вероятности P_i сравнительно мало отражаются на суммарной величине энтропии. Еще раз подчеркнем, что энтропия, или неопределенность, является средней характеристикой относительно ожидаемых результатов независимых опытов.

Как отмечается в монографии [8], понятие информационной энтропии (неопределенности), появившись для обслуживания связи и различного рода сообщений, успешно применяется в различных областях природы и техники.

В общем случае (при любом законе распределения) информационная энтропия закона распределения определяется по формуле [9]

$$H_i = P_i \log_2 P = 1 \log_2 1 = 0 \quad (13)$$

где P_i - вероятность события, определяемая из закона распределения и заключающаяся в том, что степень живучести находится в i -м диапазоне значений.

Для практических исследований используем данные о физическом износе зданий и сооружений поверхности горнорудных предприятий Криворожского бассейна. Данные получены сотрудниками ДВНЗ «КНУ» в результате проведенных обследований более 1000 объектов. Исследования степени живучести объектов различного срока эксплуатации и последующий анализ результатов этих исследований позволил принять решение о расположении стыковых точек (пороговых значений степени живучести). В результате приходим к идеализированной системе «энтропия - степень живучести» [10, 14-16], что позволяет утверждать следующее.

Выводы и направление дальнейших исследований. Время эксплуатации объекта с момента окончания его строительства до достижения удовлетворительной степени живучести $R_{sat}=12$ (satisfactory) определяет начальную границу безопасного ресурса объекта. В этот период

эксплуатации объекта дефекты в его конструкциях отсутствуют и можно утверждать, что его элементы способны сопротивляться не только проектным воздействиям, но и за счет запаса прочности большинству не учтенным при проектировании нагрузкам. Техническое состояние объекта на этом промежутке времени можно трактовать как безопасное. Необходимо проводить косметические ремонты.

При достижении объектом непригодной степени живучести $R_{uns}=36$ (unusable), его физический износ составляет более 50%. При такой величине износа требуется капитальный ремонт здания [11-13] с целью восстановления способности его элементов сопротивляться не проектным воздействиям. Если же восстановительные мероприятия на объекте произведены не будут, то степень живучести продолжает расти и достигает следующего предельного (аварийного) значения, равного $R_{crash}=84$ (crash), что определяет предельный ресурс этого объекта.

При достижении объектом предельного значения степени живучести максимальной становится не только степень неопределенности технического состояния несущего каркаса, но и величина его конструкционного износа.

Несущая способность объекта сопротивляться любым нагрузкам теоретически исчерпывается, а рост информационной энтропии практически прекращается. Это означает, что объект находится в аварийном состоянии, при котором наступления аварии объекта становится непредсказуемым.

Стандартные значения степени живучести R_{norm} , R_{sat} , R_{uns} , R_{crash} являются постоянными, поскольку из способа их определения следует, что они не зависят ни от конструктивного типа здания, ни от его этажности. R_{norm} и R_{crash} образуют нижнюю и верхнюю границы приемлемых значений степени живучести объекта.

Пока фактическая степень живучести остается внутри этого коридора, уровень безопасности объекта следует считать удовлетворительным.

Список литературы

1. Мельчаков А.П. "Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов" // Челябинск, Издательство ЮУрГУ, 2006 г.
2. Орловский С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. - М.: Наука, 1981.
3. Алексеев Г.Н. Энергоэнтропика. - М.: Знание, 1983. - 191 с.
4. Бриллюэн Л. Наука и теория информации. - М.: Физматгиз, 195;
5. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера: справочник. - Киев: Техника, 1975. - Глава 6. - § 7;
6. Силин А.А. Энтропия, вероятность, информация // Вестник РАН. - 1994. - Том 64. - № 6. - С. 490-496
7. Харкевич А.А. Избранные труды в 3-х томах. Том 3. - М.: Наука, 1973.-524 с1.36 ... 1.38;
8. Яглом А.М., Яглом И.М. Вероятность и информация. - М.: Физматгиз, 1973.-511 с.
9. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей. -М.: Наука, 1969.
10. Скоробогатов С.М. Принцип информационной энтропии в механике разрушения инженерных сооружений и горных пластов. - Екатеринбург: Изд. УрГУПС, 2000.
11. Попов Н.Н., Расторгуев Б.С. Расчет конструкций специальных сооружений. М.: Стройиздат 1990. с. 207.
12. Попов Г.Т., Бурак Л.Я. Техническая экспертиза жилых зданий старой застройки. -2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1986.
13. Применение анализа риска к исследованию хрупкого разрушения и усталости стальных конструкций // Механика разрушения. Разрушение конструкций. «Мир».:М.,1980. - с.7-30.
14. Рабочие чертежи. Реконструкция шахт рудоуправления. Башенное надшахтное здание шахты «Юбилейная» - КРИВБАССПРОЕКТ - 1976- 1980г.
15. Райзер В.Д. Методы теории надежности в задачах нормирования расчетных параметров строительных конструкций. - М.: Стройиздат, 1996.- 192 с.
16. Ржаницин А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. - М.: Стройиздат, 1978. - 239 с.
17. Ройтман А.Г. Надежность конструкций эксплуатируемых зданий. Надежность и качество - М.: Стройиздат, 1985. - 175 с.
18. Силин А.А. Энтропия, вероятность, информация // Вестник РАН. - 1994. - Том 64. - № 6. - С. 490-496.
19. Синицин А.П. Расчет конструкций на основе теории риска. - М.: Стройиздат, 1985.-304с.
20. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. - 2-е изд., перераб. и доп. - Киев: Изд-во УкрНИИпроектстальконструкция, 2000. - 216 с.
21. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. 2001. - 116 с.

В.И. ГОЛИК, д-р техн. наук, проф. Северо-Кавказский государственный технологический университет,
 В.И. КОМАЩЕНКО, д-р техн. наук, проф., Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
 В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф. Криворожский национальный университет
 В.И. ЛЯШЕНКО, канд. техн. наук, «УкрНИПИИпромтехнологии», г. Желтые Воды

ПОВЫШЕНИЕ ПОЛНОТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕДР С УЧЕТОМ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Статья посвящена проблеме повышения полноты разработки скальных рудных месторождений комбинированием открытого и подземного способов добычи. Показано, что при одновременном производстве открытых и подземных работ в вертикальной плоскости полнота использования недр определяется поведением рудовмещающих массивов под влиянием природных и техногенных напряжений. Определено, что основным фактором риска комбинирования технологий является деформация подработанного массива горных пород и обозначены меры снижения риска: предпроектная оценка геомеханического состояния, прогнозирование его изменения в ходе разработки месторождения, а также контроль развития деформационных процессов и управления ими. В качестве объективных критериев полноты использования недр рекомендованы: потери и разубоживание руд, а в качестве результирующего величина извлечения руды из недр. Предложен метод оценки динамики свойств массива путем сравнения физико-механических свойств пород до и после заполнения технологических пустот твердеющими смесями. Предложено вводить в модель управления массивом корректирующие коэффициенты, что позволяет выделить характерные зоны месторождения для оптимизации показателей разработки. Обосновано, что генеральным критерием эффективности комбинируемых технологий является опережение снижения себестоимости добычи руды над снижением содержания металлов в товарной руде для комбинируемых способов. Предложено осуществлять раскройку части месторождения, предназначенной для подземного способа, на геомеханически безопасные участки с учетом состояния отрабатываемой открытыми работами части месторождения. Бортовое содержание полезного компонента в руде, при котором производится оконтуривание запасов и минимального промышленного содержания полезного компонента, рекомендовано определять по открытому и подземному участкам месторождения из уравнения баланса ценностей.

Ключевые слова: руда, месторождение, комбинирование технологий, разработка, земная поверхность, напряжения, деформации, твердеющие смеси, прочность, отходы, управление, массив, хвосты, металлы.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Полнота разработки выходящих на земную поверхность скальных рудных месторождений в горной практике обеспечивается комбинированием открытого и подземного способов добычи.

В зависимости от очередности открытых и подземных работ технологии разделяют на три группы:

- вначале открытым способом, затем подземным;
- вначале подземным способом, затем открытым;
- открытым и подземным способами одновременно;
- комбинирование способов в рамках карьера (рис. 1).

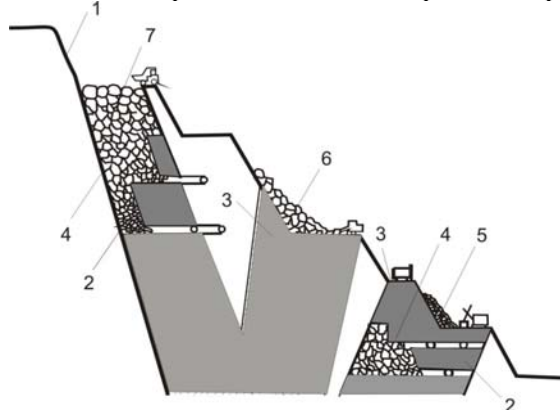


Рис. 1. Схема совмещения открытых и подземных работ в рамках карьера: 1 - борт карьера; 2 - подземная отработка; 3 - не тронутый подземными работами рудный массив; 4 - отработанные подземными работами запасы; 5 - части рудных тел, отрабатываемые открытыми работами; 6 - район выемки некондиционных руд

Комбинирование разработки мощных месторождений полезных ископаемых по первому варианту характеризуется увеличением напряжений в бортах карьера с понижением работ (рис. 2).

Деформация бортов карьера нередко становится причиной перехода на подземные работы.

Одновременная разработка открытым и подземным способами позволяет добавлять добываемым открытым способом бедным рудам добываемые подземным способом богатые руды.

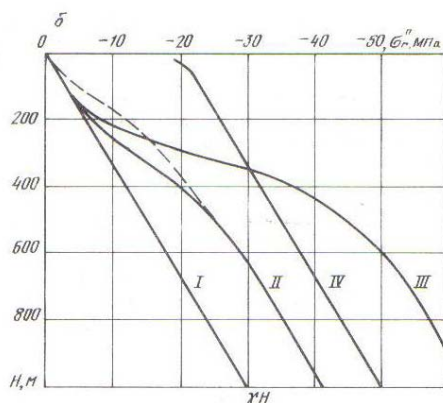


Рис. 2. Изменение горизонтальных напряжений в бортах карьера с понижением работ

Группу факторов риска комбинирования составляют:

- изменение свойств массива пород;
- деформации массивов с разрушением земной поверхности;
- проявление горных ударов;
- нарушенность массива незаполненными пустотами;
- сейсмическое воздействие на уровень напряжений в массиве.

Анализ исследований и публикаций. Основным фактором риска комбинирования является деформация подработанного массива горных пород. Меры снижения риска включают в себя: оценка геомеханического состояния, прогнозирование его изменения, контроль развития деформационных процессов и управления ими.

В качестве объективных критериев полноты использования недр приняты: потери и разубоживание руд, а в качестве результирующей величина извлечения руды из недр.

Определение величины потерь по разности между балансовыми и извлеченными запасами, допускает отклонения результатов расчета от фактической величины в 1,5-2 раза. Определение величины потерь непосредственным замером потерь по каждому источнику характеризуется меньшими ошибками.

Величина разубоживания оценивается по количеству руды или по содержанию металлов в запасах и в добытой руде.

Критерий оптимальности отработки месторождения - стоимость товарной продукции - определяется качеством добываемой руды, поэтому генеральным критерием целесообразности комбинированной разработки является показатель полноты использования недр.

Полнота использования недр, кроме общеизвестных факторов, определяется поведением рудовмещающих массивов под влиянием природных и техногенных напряжений. На практике это учитывается введением корректирующих коэффициентов влияния природных и техногенных факторов в рамках геолого-технологической модели [1]

$$\sigma k_{\sigma} = \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} f(x)(dx_1 \cdot dx_2 \cdot \dots \cdot dx_n) = \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} f(x)(d\sigma_n \cdot d\sigma_m \cdot \dots \cdot d\sigma_{xne})k_k,$$

где σ - напряжения в зоне влияния выработок, МПа; k_{σ} - коэффициент корректировки напряжений учетом геолого-структурных факторов; $l_{\max}$, $l_{\min}$ - соответственно, максимальные и минимальные пролеты обнажения очистных выработок, м; $x_1 \dots x_n$ - технологические, физико-механические и иные характеристики процессов добычи; h_{π} - прочность искусственного массива из стандартных компонентов твердеющей смеси, м; h_m - прочность искусственного массива из твердеющей смеси на основе утилизируемых хвостов обогащения, м; $h_{хпв}$ - прочность искусственного массива из хвостов подземного выщелачивания, м; k_k - коэффициент корректировки взаимодействия открытого и подземного способа добычи руд во времени и пространстве.

Постановка задания. Разработка модели напряженно-деформированного состояния массива вида осуществляется на основе комплексных исследований.

Дифференциация карьерного массива по величине напряжений и интенсивности разгрузки позволяет выделить характерные зоны:

- зона 1 с повышенными значениями напряжений;
 - зона 2 с равномерным распределением значений по ширине и неоднородным распределением напряжений по глубине;
 - зона 3 с повышенной концентрацией напряжений в подошве уступа.
- Модель позволяет дифференцировать параметры добычных работ (рис. 3):
- в зоне 1 - с учетом увеличения растягивающих напряжений;
 - в зоне 2 - как при разгруженном массиве;
 - в зоне 3 - с учетом увеличения сжимающих напряжений.

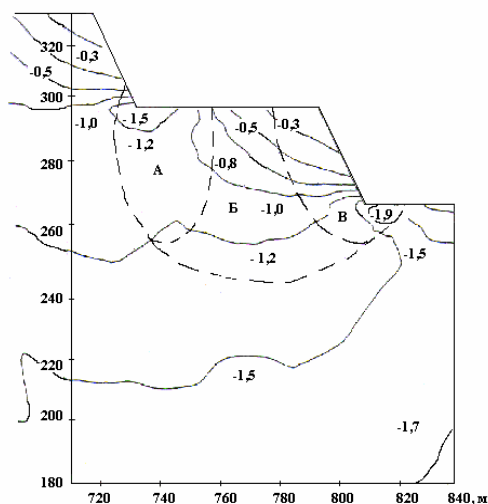


Рис. 3. Изолинии напряжений в зонах массива

При совмещении способов добычи руд по геомеханическим условиям:

если подземные работы начинаются после завершения открытых работ, массивы работают в условиях разгрузки от напряжений;

если подземные работы опережают открытые, требования к прочности несущих массивов повышаются;

при одновременной отработке к природным напряжениям добавляются наведенные от взрывных воздействий и требования повышаются еще более [2].

Генеральным критерием экономической эффективности комбинируемых технологий является опережение снижения себестоимости добычи руды

над снижением содержания металлов в товарной руде для каждого из комбинируемых способов. Изменяя затраты на добычу и переработку 1 т руды ($C_d + C_o$), при постоянных коэффициентах извлечения руды и изменения ее качества (K_n и K_k), определяют минимальное содержание металлов в добываемой руде, обеспечивающее целесообразность комбинирования [3].

Зависимость себестоимости добычи и переработки от минимального содержания металлов в добываемых рудах при постоянных потерях и разубоживания может быть определена графически (рис. 4).

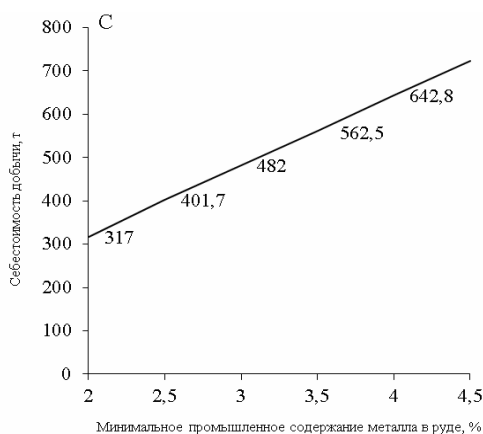


Рис. 4. Зависимость себестоимости товарной руды от содержания металлов

Выход концентрата из 1 т руды и его себестоимость для условий Садонского СЦК в зависимости от содержания металла в руде может быть определена графически (рис. 5).

В комплексе проблем полноты использования недр важно определять эффективность разработки не отдельных участков месторождения, а комбинированно открытым и подземным способом на всех стадиях технологического процесса [4].

При базовом способе исключение из добычи некондиционных запасов уменьшает производственную мощность горного предприятия, но эти запасы являются базой для сохранения производственной мощности предприятия при исчерпании доступных для рентабельной разработки запасов верхней части месторождения.

Изложение материала и результаты. Максимальная глубина открытой добычи руд определяется расчетом по общепринятой методике с учетом дисконтирования затрат и риска изменения конъюнктуры сырья.

Раскройка нижней части месторождения, предназначенной для подземного способа, на геомеханически безопасные участки, осуществляется с учетом состояния отрабатываемой открытыми работами части месторождения.

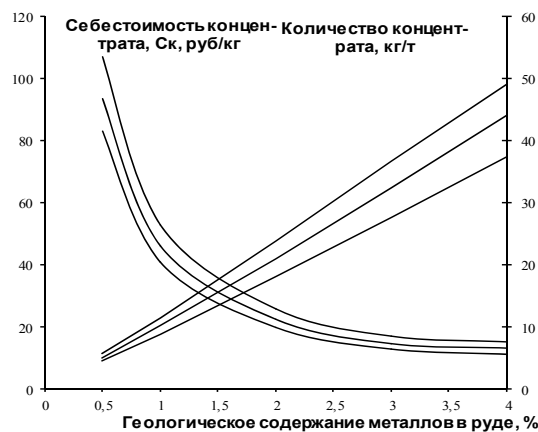


Рис. 5. Выход концентрата γ_p из 1 т руды и его себестоимость C_k в зависимости от содержания металлов в руде

Бортовое содержание полезного компонента в руде α_0 , при котором производится оконтуривание запасов и минимального промышленного содержания полезного компонента $\alpha_{\min}$, определяется по открытому и подземному участкам месторождения.

Зависимость между $\alpha_{\min}$ и показателем полноты извлечения запасов месторождений определяется из уравнения баланса ценностей

$$B C_0 - P C_n + B C_{np. n} = D C_{p. m.},$$

где B - балансовые запасы месторождения; P - потери руды; B - количество разубоживающих пород; D - масса добытой рудной массы; $C_0, C_n, C_{np. n}, C_{p. m.}$ - ценность, заключенная в балансовых запасах, потерях, в примешиваемых породах, добытой рудной массе, руб./т.

Минимальное промышленное содержание условного металла

$$\alpha_{\min} = \frac{100C}{C K_k \varepsilon K_u} - \frac{100 K_n C}{C \varepsilon K_u} - \frac{\alpha_n R}{K_k},$$

где C - затраты на добычу, транспортировку и переработку 1 т руды, руб.; C - цена металла в концентрате; ε - извлечение металла в концентрат; K_n - коэффициент потерь при добыче, доли ед.; R - коэффициент разубоживания, доли ед.; $K_u = (1 - K_n)$ - коэффициент извлечения полезного ископаемого, доли ед.; $K_k = (1 - R)$ - коэффициент изменения качества, доли ед.; α_n - содержание условного металла в породах.

Изменение бортового содержания в боковых породах соответствует уравнению регрессии $\alpha_x = b e^{-kx}$, а содержание ниже содержания металлов в товарной руде.

Принимать решение о вовлечении в эксплуатацию дополнительных запасов дает основание сравнение минимального бортового содержания с содержанием в коренных рудах $\alpha_{\min} < \alpha$.

Целью геомеханического мониторинга породного массива является инструментальное выявление закономерностей его деформирования и разрушения, обоснование определения параметров элементов технологии разработки, выбор вида и способа добычи [5].

Наиболее освоенные направления решения этой проблемы включают в себя операции:

оценка напряженно-деформированного состояния массива пород методом сейсмоакустического прозвучивания;

определение зон максимального опорного давления методом сейсмоакустического профилирования;

анализ сейсмического действия взрыва на состояние горного массива.

Геомеханический мониторинг производится в рамках единой схемы мониторинга окружающей природной среды (рис. 6).



Рис. 6. Схема мониторинга природно-технических систем

Инструментом мониторинга напряженно-деформированного состояния массива является предотвращение развития максимальных напряжений в массивах по единой схеме.

Аналитическая связь между деформациями и напряжениями устанавливается методами теории упругости, реже - при помощи теории пластичности.

Данные о массиве получают экспериментально в производственных или лабораторных условиях, используя для этого средства изме-

рений, основанные на физико-механических и иных представлениях.

Для исследований применяют методы: измерения деформаций и расчета по ним напряжений с помощью формул теории упругости (разгрузки, измерения деформаций скважин, компенсационной нагрузки), измерения давлений приборами (разности, упругих включений), оп-

ределения характеристик графическими методами и расчета по ним напряжений с помощью корреляционных зависимостей (акустический, ультразвуковой, электрометрический) [6].

В подземных условиях рекомендуются геофизические методы:

акустический (акустический эмиссии), основанный на регистрации акустических сигналов в массиве горных пород при различных нагрузках в диапазоне частот 10-100 кГц;

сейсмоакустический, регистрирующий сейсмоакустические процессы в диапазоне частот 100-1000 Гц;

сейсмический, регистрирующий сейсмические волны, возбуждаемые в массиве горных пород, в диапазоне 30-500 Гц;

электрометрический, основанный на зависимости электрического сопротивления горных пород от их напряженного состояния.

Оценка динамики свойств массива производится сравнением физико-механических свойств пород до и после заполнения технологических пустот твердеющими смесями, в том числе: прочность на одноосное сжатие, скорость распространения в образце продольных и поперечных волн и коэффициент структурного ослабления [7].

В очистной панели месторождения выделяют три секции общей длиной не менее 20 м (рис.7).

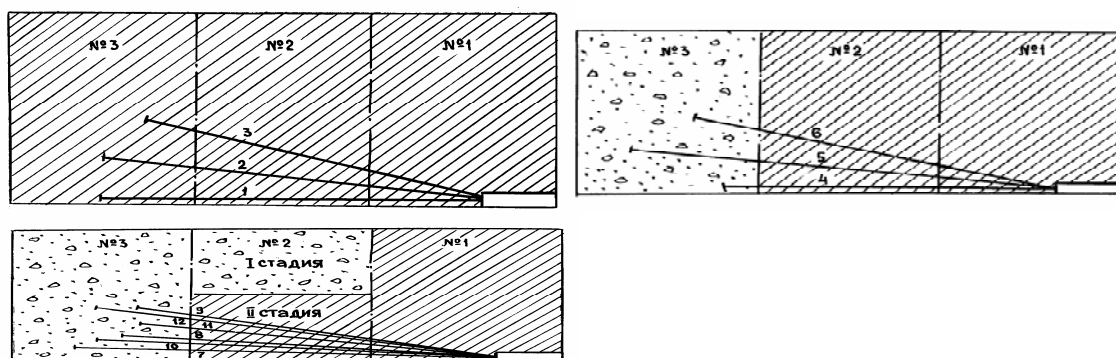


Рис. 7. Оценка влияния твердеющей закладки на свойства массива: 1,2,3 - скважины первого веера; 4,5,6- скважины второго веера; 7,8,9-скважины третьего веера; 10,11,12 - скважины четвертого веера

Из секции 1 в секцию 3 до начала ее отработки бурят три скважины диаметром 50 мм (1,2,3 - первый веер) с отбором и исследований керна, который служит базой при сравнении состояния массива до и после возведения искусственного массива (табл. 1).

Таблица 1

Результаты исследования состояния массива

Параметры	Веера			
	№1	№2	№3	№4
Скорость продольной волны, м/с	4420	4410	4390	4365
Скорость поперечной волны, м/с	2590	2575	2500	2415
Плотность пород, г/см ³	2,70	2,68	2,71	2,70
Коэффициент Пуассона	0,24	0,22	0,23	0,21
Модуль упругости, МПа	4,9105	4,7105	4,9105	4,6105
Прочность пород, МПа	44	45	43	44

После заполнения отработанной секции 3 твердеющей закладкой в направлениях ранее пробуренных скважин бурят еще три скважины (4,5,6 - второй веер) с отбором керна и исследованиями.

После обнажения вертикальной стенки искусственного массива на половину высоты блока, по направлению предыдущих скважин бурят скважины 7,8,9 (третий веер).

После закладки первой стадии подэтажа по направлению скважин бурят еще три скважины (10,11, 12 - четвертый веер), которые фиксируют изменение напряжений в массиве и влияние твердеющей закладки второй секции на породный массив [8].

Результаты исследования влияния технологии на коэффициент упрочнения закладочного массива обрабатывают с использованием четырехфакторного плана Бокса.

Уровни независимых переменных и интервалы их варьирования приведены в табл. 2, а матрица планирования и примерные результаты экспериментов - в табл. 3.

Таблица 2

Масштаб изменения		Факторы	Уровни			Интервал	Размерность
натуральный	кодový		-1	0	+1		
T	X_1	Сроки твердения	28	90	152	62	Сутки
C	X_2	Расход вяжущего	4	9	14	5	%
H_s	X_3	Высота массива	3	34	65	31	м
L	X_4	Длина массива	8	19		11	м

Таблица 3

Влияние твердеющей закладки на свойства породного массива

Номер серии опытов	Кодовый масштаб				Натуральный масштаб				$k_{упр}$
	X_1	X_2	X_3	X_4	T , сутки	C , %	H_s , м	L , м	
1	-1	-1	-1	-1	28	4	3	8	1,42
1	+1	-1	-1	-1	152	4	3	8	2,44
1	-1	+1	-1	-1	28	14	3	8	1,46
1	+1	+1	-1	-1	152	14	3	8	2,52
1	-1	-1	+1	-1	28	4	65	8	1,92
1	+1	-1	+1	-1	152	4	65	8	2,85
1	-1	+1	+1	-1	28	14	65	8	2,01
1	+1	+1	+1	-1	152	14	65	8	3,00
1	-1	-1	-1	+1	28	4	3	30	1,39
1	+1	-1	-1	+1	152	4	3	30	2,40

Математической обработкой экспериментальных данных с отсеком статистически незначимых коэффициентов регрессии получают модель физического явления в виде полинома второй степени типа

$$k_{упр} = 2,5316 + 0,4641X_1 + 0,0393X_2 + 0,2221X_3 - 0,0111X_4 - 0,1998X_1^2 - 0,0398X_2^2 - 0,0432X_3^2 - 0,0199X_4^2 + 0,0111X_1X_2 - 0,0158X_1X_3 + 0,0119X_2X_3,$$

где $k_{упр}$ - коэффициент упрочнения массива; X_1, X_2, X_3, X_4 - сроки твердения, расход вяжущего, высота и длина закладочного массива в безразмерном (кодovém) масштабе

$$x_1 = (T - 9)/62; x_2 = (C - 9)/5; x_3 = (H_s - 34)/31; x_4 = (L - 19)/11.$$

$R^2 = 0,8991$ - коэффициент детерминации; $F = 421$ - расчетное значение F -критерия; $F_{0,05;23;12} = 2,49$ - табличное значение F -критерия.

Если $F > F_{0,05;23;12}$, уравнение признается адекватным экспериментальным данным.

Прочность искусственных массивов исследуется аналитически с помощью уравнений множественной регрессии. Коэффициенты при изменяемых величинах определяются значениями целевых функций для минимальных и максимальных значений, в соответствии с матрицами планирования эксперимента. В таблицах-результатах обсчета приняты обозначения:

y - целевая функция; $x_1 \dots x_5$ - изменяемые параметры; x_0 - коэффициент, равный +1 и используемый для определения свободных членов уравнений регрессии; $x_{i\min}$ - минимальное значение параметра; $x_{i\max}$ - максимальное значение параметра.

Для вычисления уравнения регрессии при значениях параметров внутри границ, отличных от их крайних значений, определяют:

$$\text{основной уровень } x_i^0 = (x_{i\min} + x_{i\max})/2,$$

$$\text{уровень варьирования параметра } \Delta x_i = (x_{i\max} - x_{i\min})/2.$$

$$\text{параметры размерной системы координат } y_i = (x_i - x_i^0)/\Delta x_i,$$

где x_i - значения параметров уравнений.

В уравнение регрессии вместо обозначения параметра подставляется интересующее его значение y_i и вычисляется величина исследуемой функции. В планах экспериментов приводят значения функций при значениях параметров на двух крайних уровнях: «-» - минимальном и «+» - максимальном.

Основными факторами, вызывающими развитие напряжений в бортах карьера, являются [9]:

- наличие глинистого заполнителя в породах тектонических нарушений;
- обводненность пород;
- влияние сейсмичности взрывов и транспорта.

Для оценки устойчивости используют комплексы слежения за напряжениями и деформациями. Наблюдательная станция включает в себя опорные кольца реперов и профильные линии (рис. 8).



Рис. 8. Схема наблюдательной сети карьера

По периметру карьера закладывают опорные реперы, по которым проводят инструментальные наблюдения. Вертикальное смещение реперов определяют путем технического нивелирования, в плане - методом триангуляции. Для определения величины смещения массива проводят инклинометрические исследования скважин.

Выводы и направление дальнейших исследований. 1. При одновременном производстве открытых и подземных работ в вертикальной плоскости полнота использования недр определяется поведением рудовмещающих массивов под влиянием природных и техногенных напряжений.

2. В модель управления массивом вводятся корректирующие коэффициенты, что позволяет выделить характерные зоны месторождения для оптимизации показателей разработки.

3. Генеральным критерием эффективности комбинированных технологий является опережение снижения себестоимости добычи руды над снижением содержания металлов в товарной руде для комбинированных способов.

4. Раскройка нижней части месторождения, предназначенной для подземного способа, на геомеханически безопасные участки осуществляется с учетом состояния обрабатываемой открытыми работами части месторождения.

Список литературы

1. Прокопов А.Ю., Разоренов Ю.И. К методике комбинирования традиционных и инновационных технологий добычи металлов / А.Ю. Прокопов, Ю.И. Разоренов // Цветная металлургия. М. 2011. №4. - С. 41-44.
2. Комащенко В.И., Голик В.И., Дребенштетт К. Влияние деятельности геолого-разведочной и горнодобывающей промышленности на окружающую среду. Монография. М.: КДУ. 2010. - С. 356 с.
3. Голик В.И., Петин А.Н., Комащенко В.И. Экологизация геологической среды отработкой запасов некондиционных металлических руд. Научные ведомости Белгородского государственного университета. - Белгород. 2012. - № 12.
4. Голик В.И., Комащенко В.И. Природоохранные технологии управления состоянием массива на геомеханической основе / В.И. Голик, В.И. Комащенко // М.: КДУ. 2010. С. -556.
5. Комащенко В.И. Инновационные технологии приготовления твердеющих смесей / В.И. Комащенко // Вестник РУДН. М. 2008. №3, С. 12-18.
6. Голик В.И., Ляшенко В.И., Козырев Е.Н. Комбинированные технологии добычи полезных ископаемых с подземным выщелачиванием / В.И. Голик, В.И. Ляшенко, Е.Н. Козырев // М: Горный журнал. 2008 г. № 12 С. 25-29.
7. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures / V. Golik, V. Komashchenko, V. Morkun // Metallurgical and Mining Industry, 2015, №3, pp. 38-41.
8. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use / V. Golik, V. Komashchenko, V. Morkun // Metallurgical and Mining Industry, 2015, №, p.p. 49-52.
9. Vladimir Golik, Vitaly Komashchenko, Vladimir Morkun Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation / Golik Vladimir, Komashchenko Vitaly, Morkun Vladimir // Metallurgical and Mining Industry, 2015, No4, p.p. 322-324.

Рукопис подано до редакції 14.06.15

С.О. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., Криворізький національний університет

С.В. КАЛЬЧУК, канд. техн. наук, доц., Житомирський державний технологічний університет

АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПАСИРУВАННЯ БЛОКІВ КАМЕНЮ ШПУРОВИМИ МЕТОДАМИ В СУБДИНАМІЧНОМУ РЕЖИМІ НАВАНТАЖЕННЯ

Проаналізовано стан, досягнення та недоліки в теоретичному обґрунтуванні технології, яка забезпечує виробництво високоякісної продукції з гірських порід високої міцності. Визначено конкретно задачі подальшого розвитку теоретичних основ руйнування кристалічного середовища, представленого лицевальним каменем. Досліджено фізико-механічні параметри кам'яних зразків та вплив їх властивостей на процеси утворення і розростання мікро- і макротріщин в монолітному мінеральному середовищі. Описано суть теоретичного підходу щодо вирішення поставленої задачі та методи експериментальної перевірки адекватності вихідних припущень і покладеної в основу дослідження ідеї. Розглянуто аналітичну модель процесу пасирування блоків природного каменю. Обґрунтовано допустимі геометричні параметри процесу, за якого забезпечується керований відкол каменю заданої якості. Розглянуто математичний апарат створення моделі субдинамічного руйнування кристалічних порід на основі енергетичного підходу. Визначено напрями подальших досліджень означених процесів.

Ключові слова: природний камінь, кристалічне середовище, блоки, тріщини, розколювання, напруження, пасирування, математичне моделювання.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Пасирування являє собою один з різновидів відокремлення блочного каменю при його видобуванні шпуровими способами. У технологічному відношенні він реалізовується як процес попереднього буріння стрічки шпурів верстатами стрічкового буріння з подальшим розколюванням механічними клинами або гідроклинами біля устя шпурів. Цей спосіб порівняно з алмазноканатним різанням є значно дешевшим, однак не позбавленим недоліків. При пасируванні виконують рівний відкол за заданою площиною, відокремлюючи, як правило, частину каменю нерівної форми. Проблема ефективного застосування шпурового методу відколу при пасируванні полягає саме у неконтрольованому процесі розвитку та поширенні магістральних тріщин від місця прикладення навантажень (устя шпурів) та високій ймовірності діагонального сколювання в найтоншій частині блоку. У результаті неконтрольованої швидкості росту тріщини відриву досить часто мають місце діагональні сколи частини блоку – в формі сходинок (рис. 1). У зв'язку з цим виникає потреба в розвитку більш ефективних технологій, зважаючи на вартість даної продукції.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанням руйнування кристалічних гірських порід присвячено багато наукових праць [1-6], в тому числі й природного каменю [7]. Дослідженням процесів видобутку та пасирування блоків на кар'єрах займалися такі вчені, як М.Т. Бакка [8-10], Ю.Г. Карасьов [10-12], К.К. Ткачук [13], О.Б. Синельников [14] й ін. [15-17]. Існуючі інженерні формули розрахунків пасирування блоків каменю засновані на емпіричних залежностях процесів відколу при відокремленні моноліту від масиву та розділенні його на товарні блоки та не відображають механізму протікання процесу відокремлення в часі. Складність процесу пасирування блоків каменю полягає в тому, що відокремленню підлягає відносно тонкий шар каменю який у багатьох випадках досить складно рівно відокремити. Це обмеження потребує розкриття механізму росту тріщини в субдинамічному режимі руйнування по наміченій лінії відколу та врахування висоти блоку при якій забезпечується якісний відкол та мінімальна товщина шару відокремлення. Актуальність даного дослідження обумовлена поширеністю даної операції на усіх кар'єрах блочного каменю, а такою майже повною відсутністю досліджень цього процесу.



Рис. 1. Результат неконтрольованої швидкості розповсюдження магістральної тріщини

Постановка завдання. Вирішення проблеми забезпечення якості пасирувальних робіт в кар'єрі потребує розв'язання двох типів задач. Встановлення силових параметрів протікання процесу та визначення його динаміки. Мінімізувати ймовірність появи діагонального сколу є можливим за рахунок збільшення товщини відокремлюваного шару породи при пасируванні, але при цьому з'являється

додаткові втрати продуктивної частини. Крім того, з метою оптимізації процесу пасирування шпуровими методами постає необхідність у встановленні меж ефективного застосування шпурового способу пасирування блоків каменю в кар'єрі, дослідження режимів дії руйнуючих зусиль для забезпечення максимальної якості пасирування. Досить важливим є встановлення геометричних форм підготовлених до пасирування блоків з метою виявлення найбільш ефективних схем застосування шпурового способу пасирування.

Викладення матеріалу та результати. Направлене руйнування каменю по магістральним тріщинам з деякими спрощеннями можна розглядати, як задачу росту тріщини в середовищі при дії зусиль розтягу [15] (рис. 2)

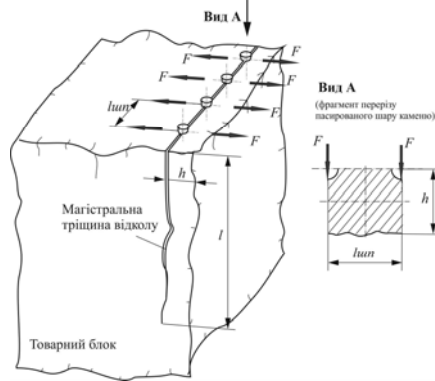


Рис. 2. Схема прикладення навантажень при пасируванні (відокремленні нерівної частини) блоку каменю

На етапі зародження магістральної тріщини біля устя шпурів та з ростом її вздовж наміченої лінії відколу відокремлений шар каменю можна розглянути як консольну балку, яка є консольно закріпленою біля вістря тріщини. За подібністю прикладених навантажень до кожного шпура вважатимемо, що діють однакові сили розпору F та за принципом паралельних перерізів розглянемо тільки частину консольної балки цього шару з перерізом, величиною h (товщина шару, що підлягає пасируванню) та $l_{ун}$ (відстань між шпурами) (рис.1. Вид А).

Напруження вигину, що діють біля вістря тріщини, прагнуть змінити напрям росту тріщини з виходом її до найближчої поверхні з утворенням виколу. Їх можна представити як напруження в консольній балці, навантаженій силою на один її кінець (1)

$$\sigma = M_{\max} / W, \quad (1)$$

де $M_{\max}$ - максимальний момент на вістрі магістральної тріщини відколу, $M = l \cdot F$, Нм; l - довжина консолі (тріщини), м; W - момент опору перерізу зразка на згин, Нм (2)

$$W = (l_{ун} \cdot h^2) / 6. \quad (2)$$

Підставивши вираз (2) в залежність (1), отримаємо значення критичного напруження на вістрі тріщини (3)

$$\sigma = 6lF / l_{ун} h^2. \quad (3)$$

За відомими значеннями технологічних та геометричних параметрів операції пасирування блоку каменю можна встановити мінімальне значення товщини відокремлюваного шару породи від пасируваного блоку (4)

$$h = \sqrt{6lF / l_{ун} \sigma}. \quad (4)$$

Іншим ключовим параметром операції пасирування є висота блоку, від якої залежить максимальна величина керованої тріщини, що має розповсюдитися від устя шпура до самого низу, повністю відокремлюючи нерівну частину блоку.

Енергія пружної деформації, що вивільняється при рості магістральної тріщини, визначається як (5)

$$G = \pi \sigma^2 l / E, \quad (5)$$

де l - довжина магістральної тріщини, м.

Енергія, що витрачається на поширення тріщини [5], виражається через (6)

$$R = dW / dl. \quad (6)$$

Вираз (6) в даному контексті характеризує опір росту тріщини.

Умовою початку росту тріщини є те, що G повинно бути рівним або більшим R , при тому, що R є константою.

За виразом (5) знаходимо значення критичного напруження, за якого буде відбуватися розростання тріщини (7)

$$\sigma_c = \sqrt{EG / \pi l}. \quad (7)$$

Щоб встановити максимальну довжину магістральної тріщини, за якої ще буде відбуватися відкол каменю, необхідно прирівняти значення напружень, які виникають на вістрі тріщини (3), та напружень, необхідних для початку її росту (7)

$$(6lF/l_{un}h^2) = \sqrt{EG/\pi l}.$$

Дана рівність дає можливість розрахувати максимальні значення довжини магістральної тріщини, за якої ще буде відбуватися її розростання без зупинки (8)

$$l = \sqrt[3]{EGl_{un}^2 h^4 / 36\pi F^2} \quad (8)$$

Встановлені геометричні параметри процесу пасирування блоків каменю h та l дозволяють визначати лише допустимі межі використання даного способу, при цьому залишається актуальним питання встановлення оптимальних часу та швидкості прикладення навантаження, за яких буде забезпечуватися контрольоване розростання тріщини.

Серед теорій, що розкривають питання крихкого руйнування каменю як функції часу (довговічності), заслуговує на увагу енергетична теорія [16]

$$t_l = t_p \exp\left(\frac{E_a - v_a \sigma}{kT}\right) \quad (9)$$

де k - постійна Больцмана; $t_p \cdot 10^{-3}$ с/час, за порядком величин близький до періоду коливань атомів в твердих тілах (період коливань максимальної частоти в дебаєвському спектрі); v_a - структурний коефіцієнт; T - постійна температура, К; E_a - енергетичний параметр атомарного рівня; σ - діючі напруження, за яких відбувається руйнування, МПа.

Дану залежність для зручності доцільно переписати у вигляді виразу (10)

$$t_l = t_p \left(\frac{\sigma}{\sigma_p}\right)^{-n} \exp\left[\frac{E'_a}{kT}\right] \quad (10)$$

Співвідношення (9), (10) за своєю суттю виражають середнє значення довговічності в статичних випробуваннях, коли значення напруг є константою в часі.

При постановці цієї задачі в субдинамічному діапазоні [17] прикладення руйнуючих навантажень вирази (9) та (10) запишемо, як рівняння швидкості росту тріщини при руйнуванні в динамічних та субдинамічних режимах (11), (12)

$$v_c = v_e \exp\left(-\frac{E_a - bK_1}{kT}\right) \quad (11)$$

$$v_c = v_e \left(\frac{K_l}{K_s}\right)^n \exp\left(-\frac{E'_a}{kT}\right) \quad (12)$$

де K_1 та K_s - коефіцієнти інтенсивності напружень, що діють в межах закону Гука.

Вирази (11) та (12) дають опис динаміки поведінки тріщин на основі швидкості руйнування на елементарному рівні v_e , яку можна знайти, встановивши час руйнування елементарних мікроруйнувань каменю по мікротріщинам (контактам міжмінеральних зв'язків), підставивши залежність (7) у вирази (9) та (10)

$$v_e = \frac{t_p}{\Delta l} \exp\left(E_a - v_a \sqrt{\frac{EG}{\pi l}} / kT\right), \quad (13)$$

$$v_e = \frac{t_p}{\Delta l} \left(\sqrt{\frac{EG}{\pi l}} / \sigma_p\right)^{-n} \exp\left[\frac{E'_a}{kT}\right], \quad (14)$$

де Δl – довжина контакту мікротріщини в камені у напрямі руйнування, м.

Одержані залежності вказують на те, що швидкість росту тріщини в субдинамічному діапазоні буде величиною змінною, оскільки параметр l в формулах (13) та (14) є постійно зростаючою величиною, яка на певному етапі приведе до росту швидкості тріщини до некерованих меж. Тому доцільним є прикладення навантаження з поступовим зменшенням напружень розтягу з дотриманням критерію постійної швидкості росту тріщини.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Оскільки процес направленої руйнування каменю складається з ряду складних процесів мікро- та макроруйнування, а також процесу росту магістральних тріщин, які протікають за різними законами, в субдинамічній постановці задачі руйнування описуються аналітично з використанням енергетичної теорії руйнування, статистичного розподілу та теорії безструктурних моделей.

Разом з тим комплексний підхід до аналітичного опису процесу субдинамічного руйнування каменю при пасируванні дозволив установити граничні співвідношення параметрів такого руйнування, за якого є доцільним застосування даного методу відколу, а встановлення швидкості росту тріщини як функції напружень та довжини дозволяє встановити регресію напружень з забезпеченням постійної (керованої) швидкості росту тріщини.

Список літератури

1. Власов О.Е. Основы теории действия взрыва. - М.: ВИА, 1957. - 408 с.
2. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. - М.: Наука, 1966. - С. 75-79.
3. Мячина Н.Н., Родак С.Н., Сердюк А.И. Новые методы разрушения и механика горных пород. - К.: Наукова думка, 1981. - 67 с.
4. Кузнецов В.М. Математические модели взрывного дела. - Новосибирск: Наука, 1977. - 262 с.
5. Мосинцев В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. - М.: Недра, 1976. - 270 с.
6. Кутузов Б.Н. Взрывное и механическое разрушение горных пород. - М.: Недра, 1973. - 310 с.
7. Жуков С.А. Расчет рабочего процесса пироклинового раскалывающего устройства // Разраб. рудн. месторождений. - Кривой Рог, 1998. - Вып. 64. - С. 42-55.
8. Бакка Н.Т. Разработка технологии и комплексов оборудования добычи блоков из высокопрочных трещиноватых пород: Дис. докт. техн. наук: 05.15.03. – Житомир: 1986. - 337 с.
9. Бакка Н.Т., Карасев Ю.Г. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня – С-Пб.: Санкт-Петербургский горный институт, 1997. – С 74–81.
10. Карасев Ю.Г. Технология горных работ на карьерах облицовочного камня. - М.: Недра, 1995. - 112 с.
11. Карасев Ю.Г. Формирование технологии горных работ по структурно-технологическим зонам на карьерах облицовочного камня высокой прочности: Дис. докт. техн. наук: 05.15.03 - М., 1995. - 316 с.
12. Ткачук К.К., Гребенюк Т.В. Откол каменных блоков с помощью статической нагрузки // Проблемы недропользования. Международный форум – конкурс молодых ученых. Сборник научных трудов. Часть 1. Санкт-Петербург 2012. – С 82 – 85.
13. Ткачук К.Н. Методика визначення технологічних параметрів видобутку гранітних блоків невибуховими методами / К.Н. Ткачук, О.І. Фоменко // Сб. науч. трудов НИГРИ. –2009. – С. 112–117.
14. Синельников О.Б. Добыча природного облицовочного камня / О.Б. Синельников. – М.: РАСХН, 2005. – С 93–108.
15. Кальчук С.В., Шлапак В.О. Обґрунтування параметрів пасирування блоків каменю в кар'єрі квазістатичними методами відколу. Вісник НУВГП: 36. наук. праць. – Рівне, 2014. – Випуск 2 (66). – С. 127-133.
16. Жуков С.О., Кляцький В.І., Кальчук С.В. Математичне моделювання спрямованого руйнування природного каменю в субдинамічному режимі. Вісник Криворізького національного університету. Збірник наукових праць. Кривий Ріг: КНУ, 2014. – Випуск 36. - С. 40-44.
17. Кальчук С.В. Особливості формування поля напружень при видобуванні блочного облицовального каменю. Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія «Гірничі справи». Київ: НТУУ КПІ, 2014. – Випуск 26. - С. 80-84.

Рукопис подано до редакції 28.03.15

В.И. ГОЛОВКО, д-р техн. наук, проф., М.А. РЫБАЛЬЧЕНКО, аспирант,
А.Н. СЕЛЕГЕЙ, канд. техн. наук, Национальная металлургическая академия Украины

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДОЗ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ СЕКУНДНЫХ ОБЪЕМОВ

Рассмотрено перспективное направление совершенствования технологии загрузки доменной печи, которое заключается в смешивании шихтовых материалов перед подачей в печь. Показано, что принципиальным решением задачи управления смешиванием компонентов является измерение геометрических параметров порции на конвейере в реальном масштабе времени. Полученное значение высоты слоя материала на конвейере необходимо для вычисления текущей производительности загрузки конвейера.

Показано, что секундный объем материала, расположенного на ленте, прямо пропорционален средней площади поперечного сечения и скорости движения ленты. Форма сечения дозы шихтовых материалов на ленте определена исходя из предположений о том, что материал расположен на ленте слоем, ограниченным сверху и снизу дугами окружности. При этом касательные ограничивающей сверху дуги, проходящие через точки пересечения с лентой, наклонены к горизонтали под углом естественного откоса материала.

Получены выражения для определения численного значения геометрических параметров порции шихтовых материалов на конвейере. Выполнены экспериментальные исследования с измерением высоты слоя дозы шихтовых материалов на конвейере в различных сечениях. В результате обработки осциллограмм записи высоты слоя материалов были получены численные значения высоты доз шихтовых материалов. Полученные результаты производительности загрузки конвейера агломератом подтвердили, что расчеты секундных объемов являются достаточно точными.

Предложена методика расчета секундных объемов шихты на основании информации о высоте загрузки конвейера, которая позволяет установить характер и величину неравномерности загрузки конвейера коксом, агломератом и окатышами в единицу времени.

Получены результаты производительности загрузки конвейера агломератом, определяемые на основании показаний трех датчиков геометрии дозы, подтвердили, что расчеты секундных объемов с использованием предложенных выражений являются достаточно точными. Так, например, при дозе агломерата в 22 м³ ошибка в вычислениях составила менее 1,5 %. При определении секундных объемов на основании одного датчика геометрии дозы, ошибка составила 5,5 %.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Перспективным направлением совершенствования технологии загрузки является разработка приемов загрузки многокомпонентных порций (смеси рудных материалов и кокса).

Анализ исследований и публикаций. Исследования, выполненные под руководством проф. В.И. Логинова [1,2] показали, что загрузка в печь смеси рудных материалов и кокса является одним из способов получения равномерного распределения рудной нагрузки по сечению печи. Этот технологический прием обеспечивает интенсификацию тепло-массообменных и физико-химических процессов в слое в основном за счет более равномерного распределения газа в столбе шихтовых материалов.

Таким образом, введение доменной плавки с использованием порций многокомпонентной шихты, обеспечивающих максимальное использование пропускной способности системы загрузки, позволит улучшить газодинамику плавки, повысить эффективность использования рабочего пространства печи и увеличить ее производительность, а также уменьшить удельный расход кокса.

Вместе с тем из анализа проведенных работ [3-7] по смешиванию различных материалов на доменных печах большого объема следует, что задача формирования многокомпонентных порций шихты на конвейере не решена.

Решение этой задачи заключается в разработке системы управления формированием на сборном конвейере многокомпонентной порции шихты с учетом заданного расположения компонентов, их соотношения в порции, суммарной объемной производительности конвейера, переменной геометрии выгружаемого сыпучего материала во взаимосвязи с оперативной информацией о ходе процесса смешивания.

Общими требованиями для порций любой структуры следует считать минимизацию длины порции на конвейере, транспортирование порций с минимальным транспортным запаздыванием и предотвращение перегруза конвейера с последующим сходом материала на ведомом барабане конвейера, что может повлечь аварийную остановку всей шихтоподачи;

Принципиальным решением задачи управления смешиванием компонентов является измерение геометрических параметров порции на конвейере в реальном масштабе времени, оценки динамических и расчетных параметров в темпе измерений, оперативного предупреждения аварийной ситуации. Полученное значение высоты слоя материала на конвейере необходимо для вычисления текущей производительности загрузки конвейера в реальном масштабе времени

Постановка задачи. Решение данной задачи требует определения секундных объемов, позволяющих установить характер и величину неравномерности загрузки конвейера коксом, агломератом и окатышами в единицу времени.

Изложение материала и исследований. Секундный объем прямо пропорционален средней площади поперечного сечения материала, расположенного на ленте, и скорости движения ленты $v_{\text{кн}}$

$$V_{\text{м.м}} = \frac{(S_t + S_{t-1} + \sqrt{S_t \cdot S_{t-1}})}{3} \cdot v_{\text{кн}}, \quad (1)$$

где t - текущее время поступления материала на конвейер; S_t - площадь поперечного сечения в момент времени t ; S_{t-1} - площадь поперечного сечения в момент времени $(t-1)$.

Относительно формы сечения дозы на ленте существует ряд предположений, рассмотренных, например, в работе Н.С. Полякова и И.Г. Штокмана [8], на основании которых можно выразить площадь S_t через ширину поперечного сечения материала. Так, К. Штуммелен предложил считать, что материал расположен на ленте слоем, ограниченным сверху дугой окружности, касательные которой АВ и СВ в точках А и С пересечения с лентой наклонены к горизонтали под углом естественного откоса ρ_o (рис. 1).

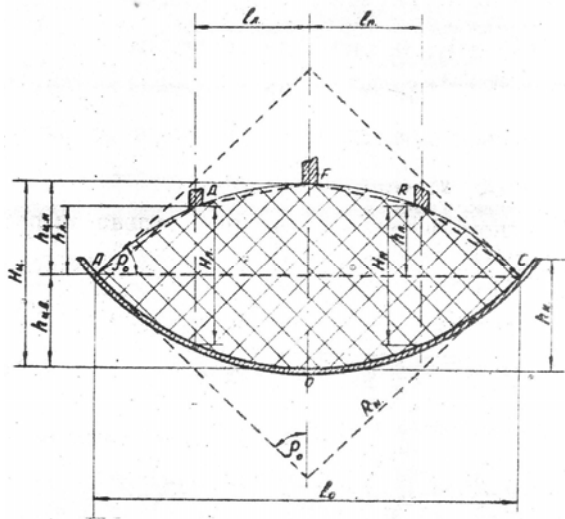


Рис. 1. Форма сечения материала на конвейере

Ограничение материала снизу осуществляется лентой конвейера, поперечное сечение которой является частью окружности. Проверка этого предположения, выполненная по формуле

$$Z_k = \sqrt{l_k^2 + (16/3)h_k^2} \quad (2)$$

где Z_k - длина дуги, образованной в сечении лентой конвейера; l_k, h_k - соответственно ширина и высота сегмента, образованного лентой конвейера показала, что допущение является правильным, так как отклонение Z_k от действительной менее 0,5 %. Тогда радиус этой части окружности определится по формуле

$$R_k = \frac{l_k^2 + 4h_k^2}{8h_k} \quad (3)$$

Текущее значение величины $h_{\text{ц.в.}}$ (см. рис. 1) получим из уравнения

$$h_{\text{ц.в.}} = R_k - \sqrt{R_k^2 - (l_o^2 / 4)}, \quad (4)$$

где l_o - текущее значение ширины поперечного сечения материала.

На основании работы [8], величина $h_{\text{ц.н}}$ будет равна

$$h_{\text{ц.н}} = \frac{l_o}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\rho_o}{2}; \quad (5)$$

$$h_{\text{ц.н}} = H_u - h_{\text{ц.в.}}, \quad (6)$$

где H_u - текущее значение высоты слоя материала.

Решая совместно уравнения (1)-(3), после преобразований получим

$$l_o = \frac{2 \left\{ \left[\operatorname{tg} \frac{\rho_o}{2} (H_u - R_k) \right] \pm \sqrt{\operatorname{tg}^2 \frac{\rho_o}{2} (H_u - R_k)^2 - \left(\operatorname{tg}^2 \frac{\rho_o}{2} + 1 \right) (H_u - 2H_u R_k)} \right\}}{\operatorname{tg}^2 \frac{\rho_o}{2} + 1} \quad (7)$$

Величина площади поперечного сечения материала может быть рассмотрена в виде суммы

$$S_t = S_e + S_n, \quad (8)$$

где S_e - площадь поперечного сечения материала, ограниченная прямой АС и снизу кривой АОС; S_i - площадь поперечного сечения материала, ограниченная сверху ломанной АД FRC и снизу прямой АС.

С учетом того, что длина  АОС равна

$$Z_e = \sqrt{l_o^2 + (16/3)h_{ц.е}^2} \quad (9)$$

Численное значение площади S_e определится из выражения:

$$S_e = \frac{R_k}{2} \left(\sqrt{l_o^2 + (16/3)h_{ц.е}^2} - l_o \right) + \frac{l_o h_{ц.е}}{2} \quad (10)$$

Для упрощения вычислений, с некоторым запасом в сторону уменьшения возможной производительности конвейера, можно заменить  AFC ломанной линией ADFRC. В этом случае величина S_e определится из выражения

$$S_n = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{l_o}{2} - l_l \right) h_l + (h_l + h_{ц.н}) l_l + \left(\frac{l_o}{2} - l_n \right) h_n + (h_n + h_{ц.н}) l_n \right\}, \quad (11)$$

где l_l, l_n - соответственно расстояние от оси левого и правого датчика до оси центрального; h_l, h_n - соответственно текущее значение высоты слоя материала от прямой АС до точки D и R.

Численное значение h_l будет равно

$$h_l = h_{ц.н} - [H_{ц} - (L_{ц} - L_l) - H_l], \quad (12)$$

где $L_{ц}, L_l$ - соответственно расстояние по вертикали от места крепления центрального и левого датчика до ленты конвейера; $H_{ц}$ - высота сечения материала в точке его соприкосновения с левым датчиком.

Величина h_n определяется аналогично h_l .

С другой стороны, радиус окружности, дуга которой ограничивает материал сверху, определится из выражения [8]

$$R_n = l_o / 2 \sin \rho_o \quad (13)$$

С учетом того, что длина  AFC равна

$$Z_n = \sqrt{l_o^2 + (16/3)h_{ц.н}^2} \quad (14)$$

Численное значение площади S_i составит

$$S_n = \frac{R_n}{2} \left(\sqrt{l_o^2 + (16/3)h_{ц.н}^2} - l_o \right) + \frac{l_o \cdot h_{ц.н}}{2} \quad (15)$$

Необходимо отметить, что расчет секундных объемов до момента касания материалом боковых датчиков и в дальнейшем при установке в вертикальное положение одного из них осуществляется на основании показаний перемещения центрального датчика.

Таким образом, были проведены измерения высоты слоя дозы на конвейере в различных сечениях.

Для этого на специальной раме, установленной на наклонном конвейере, были укреплены три датчика флажкового типа, свободно подвешенные на подшипниках качения (рис. 2).

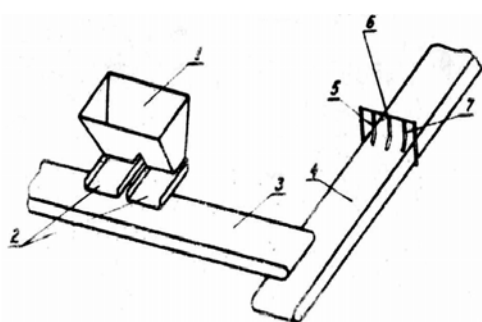


Рис. 2. Схема расположения оборудования и установки датчиков: 1 - весовая воронка; 2 - питатели; 3 - сборный конвейер; 4 - наклонный конвейер; 5 - левый датчик; 6 - центральный датчик; 7 - правый датчик

Измерительный сигнал снимался с реохордов, установленных на валах этих датчиков и регистрировался с помощью осциллографа Н-700 и другой аппаратуры.

Таким образом, высота и длина слоя материала фиксировались в трех сечениях: центральной (датчик № 1, установленный по оси конвейера); левом (датчик № 2) и правом (датчик № 3).

Расстояние между осями флажков составляло 450 мм, ширина флажков 150 мм.

Высота слоя измерялась в трех сечениях дозы в функции угла *поворота* флажков *от* вертикальной оси.

В результате обработки осциллограмм записи высоты слоя материалов были получены численные значения высоты доз шихтовых материалов.

Полученные результаты производительности загрузки конвейера агломератом подтвердили, что расчеты секундных объемов с использованием выражения (11) являются достаточно точными.

Так, например, при дозе агломерата в 22 м³ ошибка в вычислениях составила менее 1,5 %.

При определении секундных объемов, где величина S_i была вычислена по формуле (15), ошибка составила 5,5 %.

В связи с этим, для получения статистических данных производительности загрузки конвейера шихтовыми материалами, секундные объемы определялись на основании показаний трех датчиков геометрии дозы.

При этом, угол естественного откоса кокса и агломерата был принят равным 43°, а окатышей - 34°. Результаты статистической обработки загрузки конвейера представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты статистической обработки загрузки конвейера

Материал	Время t , с	Секундный объем, м ³ /с		Отклонение секундного объема, м ³ /с		Центральная часть, м ³ /с	
		головная часть $M\{V_{\Gamma}\}$	хвостов, часть $M\{V_{\kappa}\}$	головная часть $\sigma\{V_{\Gamma}\}$	хвостов, часть $\sigma\{V_{\kappa}\}$	$M\{V_{\Pi}\}$	$\sigma\{V_{\Pi}\}$
Кокс	1	0,02	0,77	0,036	0,113	0,85	0,09
	2	0,03	0,57	0,011	0,164		
	3	0,07	0,37	0,050	0,192		
	4	0,13	0,22	0,046	0,173		
	5	0,23	0,13	0,068	0,126		
Кокс	6	0,35	0,07	0,082	0,082		
	7	0,47	0,05	0,092	0,049		
	8	0,58	0,03	0,101	0,041		
	9	0,68	0,02	0,106	0,013		
	10	0,74	0,017	0,109	0,008		
	11	0,77	0,015	0,113	0,003		
	12	0,80	0,011	0,090	0,001		
Агломерат	13	0,83	0	0,090	0	0,66	0,070
	1	0,06	0,65	0,004	0,093		
	2	0,08	0,55	0,014	0,098		
	3	0,13	0,42	0,029	0,092		
	4	0,19	0,29	0,042	0,072		
	5	0,25	0,19	0,049	0,048		
	6	0,32	0,13	0,050	0,030		
	7	0,39	0,09	0,054	0,020		
	8	0,45	0,07	0,067	0,011		
	9	0,51	0,06	0,074	0,005		
Окатыши	10	0,58	0,06	0,106	0,002	0,66	0,07
	1	0,07	0,67	0,011	0,093		
	2	0,12	0,59	0,029	0,093		
	3	0,19	0,49	0,040	0,092		
	4	0,26	0,37	0,046	0,072		
	5	0,32	0,26	0,054	0,048		
	6	0,39	0,18	0,062	0,03		
	7	0,46	0,13	0,066	0,02		
	8	0,53	0,09	0,069	0,011		
	9	0,57	0,07	0,082	0,005		
	10	0,60	0,06	0,083	0,002		

Закон распределения случайных величин носит нормальный характер. Соответствие эмпирических и теоретических частот было проверено по критерию Пирсона.

Таким образом, предложена методика расчета секундных объемов шихты на основании информации о высоте загрузки конвейера. Полученные результаты производительности загрузки конвейера агломератом, определяемые на основании показаний трех датчиков геометрии

дозы, подтвердили, что расчеты секундных объемов с использованием предложенных выражений являются достаточно точными. Так, например, при дозе агломерата в 22 м³ ошибка в вычислениях составила менее 1,5 %.

При определении секундных объемов на основании одного датчика геометрии дозы, ошибка составила 5,5 %.

Список литературы

1. Влияние смешивания железорудного сырья с коксом на газодинамические условия и технико-экономические показатели доменной плавки / В.И. Логинов, А.Л. Берин, С.М. Соломатин [и др.] // Сталь. – 1977. - №5. – С. 391-394.
2. Работа доменной печи при совместной загрузке железорудных материалов и кокса в скип / В.И. Логинов, С.М. Мусиенко, Д.В. Воронков [и др.] // Сталь. – 1987. - №12. – С. 7-12.
3. Праздников А.В., Клоцман Е.Я., Шутылев Ф.М., Головки В.И. и др. «Способ подачи шихтовых материалов в доменную печь». Авторское свидетельство СССР № 694446. МПК C21B7/20. Заявка № 2380955. Приоритет изобретения 01.07.1976г. Опубликовано 30.10.1979 бюл. № 40.
4. Большаков В.И., Иванча Н.Г. Формирование смешанных порций шихтовых материалов на доменном конвейере//Металлургическая и горнорудная промышленность, 2002. - №6. - С.79-83.
5. Авторское свидетельство СССР № 1049549. МПК C21B7/20. Способ управления механизмами транспортной шихтоподачи доменных печей / Золотницкая Г.Д., Френкель М.М., Бургутин Б.Г., Гарбуз Е.Я., Клоцман В.И., Головки А.С. Гуров. - Заявка № 3358183. Приоритет изобретения 26.11.1981 г. Опубликовано 23.10.1983 бюл. № 39.
6. Порх В.И. «Способ управления механизмами транспортной шихтоподачи доменных печей». Патент РФ № 2016068. МПК C21B7/20. Заяв. 23.10.1991; опубл. 15.07.1994.
7. Пат.79643 Украина, МПК(2013.01) C21B7/00, C21B7/04,(2006.01). Способ подачи шихтовых материалов в доменную печь / Верховская А.А., Головки В.И., Иващенко В.П., Рыбальченко М.А.; заявитель и патентообладатель НМетАУ (Украина) - № U201213017; заявл. 15.11.12; опубл. 24.04.13,Бюл.№8.
8. Поляков Н.С., Штокман И.Г. Основы теории и расчеты рудничных транспортных установок. Научно-техническое издательство литературы по горному делу: М., 1962.

Рукопись поступила в редакцию 14.04.15

УДК 62-503.56:622.73

В.В. ТРОНЬ, канд. техн. наук, доц. Ю.В. ГУЛЯЄВА, магістрант
Криворізький національний університет

ОПТИМАЛЬНЕ І МОДАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ СТАДІЄЮ ЗБАГАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІЗНОВИДІВ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ

Наведено результати дослідження методу оптимального керування стадією збагачення технологічних різновидів залізорудної сировини. Виконано аналіз використовуваних підходів до оптимального автоматизованого керування млинами першої стадії подрібнення та критеріїв оцінювання ефективності процесу подрібнення. У процесі дослідження основні регулюючі впливи як: витрата руди та води у млин; як вихідні керовані показники - вміст заліза у хвостах першої стадії збагачення та вміст заліза у концентраті. Розраховано та виконано порівняльний аналіз перехідних процесів системи керування та реакцію системи на випадкові вхідні сигнали. Досліджено роботу системи керування при застосуванні модальних регуляторів та класичного ПІД-регулятора. Здійснено параметричний синтез керування і розроблено комп'ютерну модель системи у середовищі Simulink. Представлено схеми підключення трьох регуляторів та результати моделювання процесу керування першою стадією збагачення при використанні модального, астатичного модального, ПІД-регуляторів. Виконано порівняльний аналіз одержаних у результаті моделювання показників вмісту заліза у хвостах.

Ключові слова: оптимальне керування, подрібнення руди, модальний регулятор, ПІД-регулятор.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Найбільш енергоємною операцією в збагаченні є подрібнення руди, на яку припадає понад 60 % витрат електроенергії. Енергоспоживання технологічного збагачувального обладнання значною мірою визначається характеристиками руди, що надходить на переробку. Зокрема, коефіцієнт кореляції між витратами електроенергії і якістю руди становить 0,71-0,74 [1]. Коливання характеристик технологічних різновидів збагачуваної руди також негативно впливає на якість вітчизняного залізорудного концентрату. Середнє значення вмісту корисного компоненту в концентраті по залізорудних підприємствах України становить 64-65 %, в той час коли конкурентоспроможною на

світовому ринку вважається залізорудна продукція, що містить 67-68 % заліза у концентраті [2]. Отже, актуальним завданням є підвищення ефективності технологічних процесів збагачення технологічних різновидів залізорудної сировини шляхом підвищення продуктивності роботи збагачувального обладнання із забезпеченням необхідної якості кінцевої продукції.

Аналіз досліджень та публікацій. У роботі [3] для оптимізації технологічного процесу на збагачувальних фабриках запропоновано використання таких видів регуляторів: пропорційний (1), ізодромний (2), астатичний (3), екстремальний (4)

$$y = k_1 x \quad (1)$$

$$y = k_1 x + k_2 \int_0^t x dt \quad (2)$$

$$y = k_2 \int_0^t x dt \quad (3)$$

$$y = k_3 \operatorname{sign} \left(\frac{dx}{dt} \right) \quad (4)$$

Методи оптимального налаштування регуляторів запропоновано у праці [4]. У даній роботі зазначено, що оптимальними вважаються налаштовані регулятори, які відповідають мінімуму (або максимуму) певного показника якості, який встановлюється виходячи з технологічних вимог. Для кожного регулятора вибрано оптимальні параметри та у результаті порівняльного аналізу перехідних характеристик систем керування з різними регуляторами встановлено, що найкращим є екстремальний регулятор, використання якого дозволяє підвищити продуктивність стадії на 2,5 % та зменшити середньоквадратичне відхилення витрат руди від 27 до 10 %.

У праці [5] описано метод оптимального керування заповненням млина, згідно з яким регулювання подрібнюючого середовища (куль) та матеріалу (пульпи) в об'ємі барабану млина ґрунтується на вимірюванні неосновного параметру - споживаної електродвигуном млина потужності [6]. Недоліком даного способу є недостатньо висока точність регулювання і, як наслідок, зниження продуктивності технологічного обладнання. Ускладненням також є процес виділення із загального сигналу потужності достовірної інформації про заповнення млина, оскільки згадана потужність залежить не тільки від вагової кількості пульпи і куль, які перебувають у млині, а й від великої кількості інших змінних факторів: фізико-механічних характеристик технологічних різновидів руди, густини і в'язкості пульпи, зносу футеровки.

Метод оптимального керування роботою млина самоподрібнення, що включає змінення подачі вихідного споживання і подрібнених тіл, пошук екстремуму потужності електроприводу млина і вимірювання ваги матеріалу у млині запропоновано у роботах [7,8].

У праці [9] подано спосіб керування системою переробки сировини для досягнення оптимізації показників продуктивності, що дозволяє підвищити показники ефективності за рахунок оптимізації обсягів надходження технологічних різновидів сировини до збагачувального відділення. Запропоновані у праці [10] пропозиції спрямовані на зниження втрат заліза у хвостах першої стадії збагачення дають прямий економічний ефект в умовах фабрики, а зниження колювання вмісту заліза в концентраті, при забезпеченні його якості на заданому рівні, дає значний економічний ефект в умови аглодоменного виробництва. У роботі [11], проведено аналіз якості та об'ємів видобутку сировини в Україні.

Отже, завдання розробки методу оптимального керування стадією збагачення залізорудної сировини, представленої технологічними різновидами, є актуальним і потребує дослідження.

Постановка завдання. Завданням даної роботи є формування оптимального керування стадією збагачення залізорудної сировини, представленої технологічними різновидами, і апробація сформованого керування з використанням комп'ютерного моделювання.

Викладання матеріалу та результати. Основними керуючими впливами у системі керування стадією збагачення залізорудної сировини є витрати руди та води, вихідними (керованими) показниками - вміст заліза у хвостах першої стадії збагачення та вміст заліза у концентраті [5-8,12]. Схема досліджуваної математичної моделі процесу збагачення руди на першій стадії ґрунтується на результатах досліджень [12] і представлена на рис. 1.

На схемі (рис. 1) позначено: x - кількість класу -0,074 мм у подрібненій руді; δ - густина пульпи; β та ν - вміст заліза у концентраті та хвостах. Початкові умови вибрано такими:

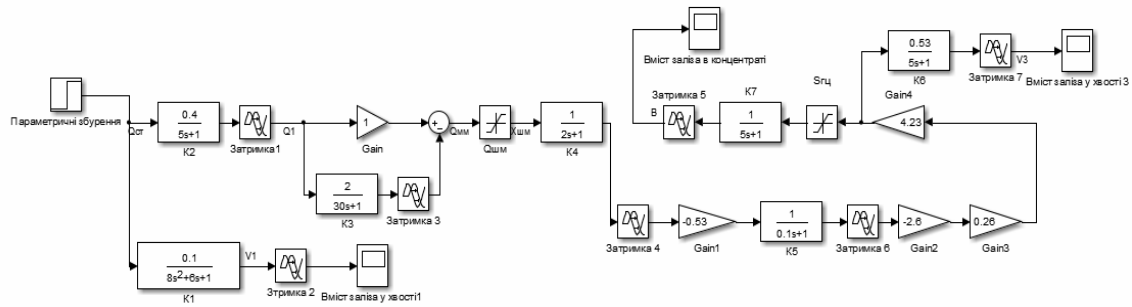


Рис. 1. Структурна схема моделі

При подачі одиничного ступінчатого сигналу (Step) на вхід системи було одержано графіки перехідних процесів, що представлені на рис. 2а. Реакцію системи на випадкові вхідні сигнали (Uniform Random Number) представлено на рис. 2б.

Розглянемо синтез керування по каналу «продуктивність ()» → «вміст заліза у хвостах (δ)». Завдання синтезу оптимальних систем керування формується як варіаційна задача. При цьому крім рівняння об'єкта керування повинні бути задані обмеження на керування і фазовий вектор, крайові (граничні) умови і критерій оптимальності [13].

Для кожного початкового стану x_0 оптимальний лінійний регулятор породжує оптимальне програмне керування $u(x,k)$ і оптимальну траєкторію $x(k)$. Одними з найважливіших завдань теорії керування є дослідження керованості та спостережливості динамічних систем. Наведемо відповідні визначення та критерії для стаціонарних лінійних систем, отримані Калманом [14]. Система називається цілком керованою, якщо вибором керуючого впливу $u(t)$ на інтервалі часу $[t_0, t_1]$ можна перевести систему з будь-якого початкового стану $x(t_0)$ у довільний заздалегідь заданий кінцевий стан $x(t_1)$. Система цілком спостережується, якщо по реакції $y(t_1)$ на виході системи на інтервалі часу $[t_0, t_1]$ при заданому керуючому впливі $u(t)$ можна визначити початковий стан $x(t_0)$. Для того щоб система була цілком керованою, необхідно і достатньо, щоб ранг матриці керованості [13]

$$M_u = \begin{pmatrix} B & AB & A^2B & \dots & A^{n-1}B \end{pmatrix} \quad (5)$$

дорівнював розмірності вектора стану: $\text{rank } M_u = n$.

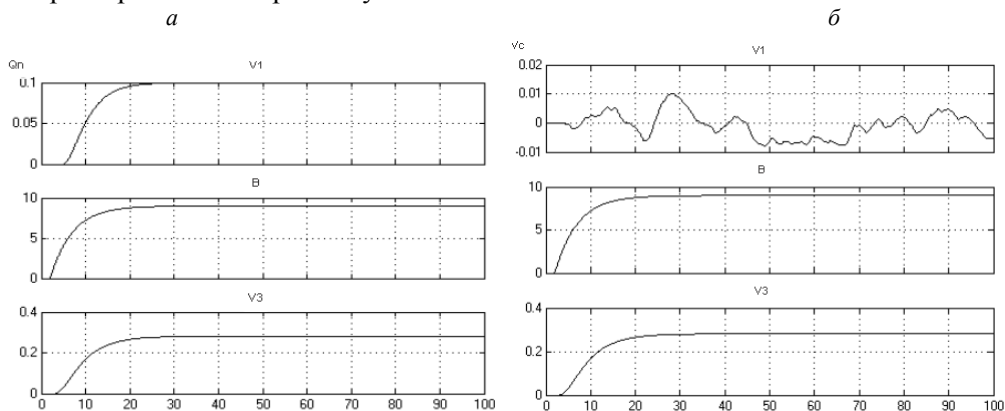


Рис. 2. Реакція об'єкта керування на вхідні сигнали різних типів

Для того щоб система була цілком спостережною необхідно і достатньо, щоб ранг матриці спостережності

$$M_Y = \begin{pmatrix} C^T & A^T C^T & (A^T)^2 C^T & \dots & (A^T)^{n-1} C^T \end{pmatrix} \quad (6)$$

дорівнював розмірності вектора стану: $\text{rank } M_Y = n$.

Для синтезу оптимального регуляторів лінійних стаціонарних систем у Control System Toolbox було використано функції розв'язків рівнянь Беллмана [15]. Функція dlqr обчислює ма-

трицю коефіцієнтів регулювання по всім змінним стану K для дискретної системи зі середньоквадратичним функціоналом якості без термінального члена [16]

$$J = \int_{t_0}^{t_1} [x^T Q x + u^T S u + 2x^T N u] dt \quad (7)$$

Після обрання функції (синтез дискретного регулятора) обчислюємо параметри регулятора

$$\begin{aligned} [kpe] &= dlqr(A, B, Q, R); \\ x &= \text{zeros}(2, N); \\ u &= \text{zeros}(2, N-1); \end{aligned} \quad (8)$$

Задана система управління описується кінцево – різницевиими рівняннями у просторі станів

$$x(k+1) = A(k)x(k) + B(k)u(k), \quad (k = 0, 1) \quad (9)$$

Визначена матриця K , формує закон керування $u = Kx$. Результати обчислення наступні: значення параметрів оптимального регулятора: $k = -0.5091 \ -0.0880$; $p = 1.1887 \ 0.0318, \ 0.0318 \ 0.5055$; $e = -0.1204 + 0.1500i, \ -0.1204 - 0.1500i$.

У систем, описуваних за допомогою змінних стану, зазвичай оцінюють спостережності і керованість. Для цього командами `obsv()` і `ctrb()` формуються матриці спостережності і керованості, а потім за допомогою функції `rank()` обчислюється ранг матриці. Система повністю керована, якщо ранг матриці керованості дорівнює порядку системи, повністю некерована, якщо ранг матриці керованості (спостережності) дорівнює нулю. В інших випадках вказується порядок керованості (спостережності), який дорівнює відповідно рангу матриці керованості [13]

$$U = [B \ AB \ A^2 B \ \dots \ A^{n-1} B] \quad (10)$$

або спостережності

$$N = \begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \\ \dots \\ CA^{n-1} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Модальний регулятор являє собою ПД-регулятор з коефіцієнтом K і зворотними зв'язками по змінним стану $x_1 \dots x_n$. Вибір коефіцієнтів k_i матриці зворотних зв'язків k^T забезпечує отримання заданих динамічних властивостей системи, причому єдиним чином. Керування U описується матричним рівнянням із впливом завдання r [13]

$$U = K(r - k^T x) \quad (12)$$

а одновимірне рівняння регулятора відповідає використанню в ланцюзі зворотного зв'язку ПД-регулятора.

Обрано в якості бажаного характеристичного полінома замкненої системи нормований поліном Баттерворта другого порядку з коефіцієнтами $a_1 = 1,41$, $a_2 = 1$, що дозволяє отримати показники якості системи з регулятором стану $t_p = 2,9$, $\sigma = 4,5\%$. З умови нульової помилки регулювання значення коефіцієнта $K = a_2/b = 1/0,0125 = 80$, тоді значення коефіцієнтів зворотного зв'язку по змінним стану рівні [17]

$$k_1 = \frac{a_1 - a_{10}}{Kb} = \frac{a_1 - a_{10}}{a_2} = 1,41 - 0,75 = 0,66 \quad (13)$$

$$k_2 = \frac{a_2 - a_{20}}{Kb} = \frac{a_2 - a_{20}}{a_2} = 1,0 - 0,125 = 0,875 \quad (14)$$

Одержана схема комп'ютерної моделі системи керування першою стадією збагачення залізородної сировини представлена на рис. 3.

Результати моделювання перехідних процесів у системі при використанні різних типів регуляторів наведено на рис. 4.

Слід відзначити, що із досліджуваних регуляторів саме астатичний модальний регулятор забезпечив найменший час перехідного процесу та відсутність перерегулювання. При цьому модальний регулятор призвів до появи перерегулювання у 5-7%. А ПД-регулятор має істотно більшу тривалість перехідного процесу.

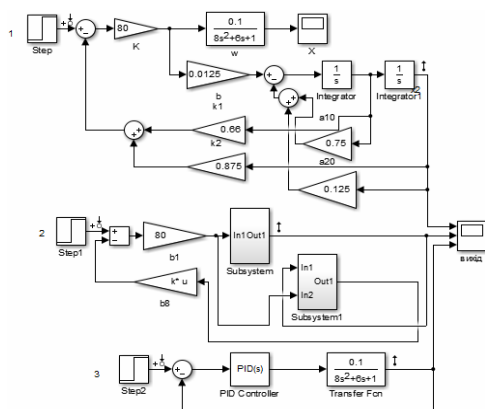


Рис. 3. Схеми комп'ютерної моделі системи керування: 1 - модальний регулятор з коефіцієнтами $k = -0,5091 - 0,0880$; 2 - астатичний модальний регулятор з коефіцієнтами (11), (12); 3 - ПІД-регулятор з коефіцієнтами $K = 21,11$; $A = 3,87$; $B = 28,68$

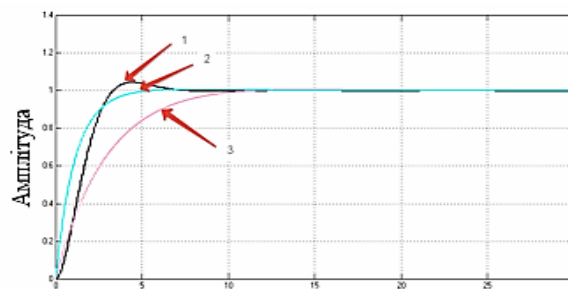


Рис. 4. Перехідний процес у системі керування вмістом заліза у хвостах першої стадії збагачення: 1 - модальний регулятор; 2 - астатичний модальний регулятор; 3 - ПІД-регулятор

ної сировини є доцільним. У подальшому необхідно виконати дослідження впливу параметричної невизначеності об'єкта керування на якість роботи системи.

Список літератури

1. Пивень В. А. Экономическая эффективность повышения качества горно-металлургического сырья / В. А. Пивень, Г. В. Шиповский, Н. И. Дядечкин // Горный журнал, 2003. – №9. – С. 57-58.
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. Нестеров Г.С. Технологическая оптимизация обогатительных фабрик / Г.С. Нестеров – М.: Недра, 1976. – 120 с.
4. Тимченко О., Меденець Я., Стрепо О. Методи налаштування регуляторів/ О. Тимченко, Я. Меденець, О. Стрепо // Українська академія друкарства.-2013.- С. 54-59.
5. Пат. 933111 СССР, кл. В 02 С 25/00. Способ оптимального управления заполнением мельниц измельчаемым материалом и измельчающей средой / Кузнецов П. В., Тихонов О. Н., Андреев Е. Е. и Ольховой В. А.; заявитель Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени научно – исследовательский и проектный институт механической обработки полезных ископаемых. - № 2577435; заявл. 09.02.78; опубл. 07.06.82, Бюл. №21.
6. Пат. 466047 СССР, кл. В 02с 25/00. Способ автоматической оптимизации процесса помола сырья в барабанных мельницах мокрого самоизмельчения/ Марюта А. П., Воронов В. А.; заявитель Днепропетровский ордена Трудового Красного Знамени горный институт им. Артема. – №1779086; заявл. 30.04.72; опубл. 05.04.75, Бюл. №13.
7. Пат. 740281 СССР, кл. В 02 С 25/00. Способ управления работой мельницы самоизмельчения / Кузнецов П. В., Тихонов О. Н., Андреев Е. Е. и Трушин А. А.; заявитель Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени научно – исследовательский и проектный институт механической обработки полезных ископаемых. - № 2542411; заявл. 09.11.77; опубл. 15.06.80, Бюл. №22.
8. Пат. 1222312 СССР, кл. В 02 С 25/00. Способ автоматического управления агрегатом мокрого измельчения с замкнутым циклом / Андреев.Е. Е., Бойко А. Ю., Златорунская Г. Е, Кузнецов П. В., Матвеев В. Н., Миллер Г. В., Тихонов О. Н. и Щекленн Е. С.; заявитель Ленинградский горный институт им. Г. В. Плеханова. - №1678454; заявл. 11.04.89; опубл. 23.09.91, Бюл. №35.
9. 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.
10. Азарян А. А. Автоматизация первой стадии измельчения, классификации и магнитной сепарации – реальный путь повышения эффективности обогащения железных руд / А. А. Азарян, Ю. Ю. Кривенко, В. Г. Кучер // Вісник Криворізького національного університету, 2014. – Вип.36. – С. 275-280.
11. Вилкул Ю.Г. Анализ качества и объёмов добычи железнорудного сырья в Украине / Ю. Г. Вилкул, А. А. Азарян, В. А. Колосов // Вісник Криворізького національного університету, 2014. – Вип. 36. – С. 13-18.
12. Нестеров Г.С. Технологическая оптимизация обогатительных фабрик / Г.С. Нестеров – М.: Недра, 1976. – С. 64.
13. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Т.2 Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: учеб.пособие./ Д. П. Ким – М.: ФИЗМАТЛИТ,2004. – 464с.
14. Зубов В.И. Лекции по теории управления. / Зубов В.И. М., Наука, 1975
15. Олійник В.П. Принципи оптимальності. Рівняння Беллмана / В.П. Олійник // Вінницький національний аграрний університет. – 2013. – 34.
16. Колоділін В.М. Оптимальні системи керування електроприводом промислових установок: конспект лекцій / В.М. Колоділін. – 2014.
17. Методические указания с дисциплины «Теория нелинейных систем автоматического управления» ONLINE.– Режим доступа до електронного ресурсу: <http://lib.znate.ru/docs/index-214429.html?page=5>

Рукопис подано до редакції 14.04.15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ БОРТОВОГО ОТСОСА С ПЕРЕДУВКОЙ

Широкое применение в современных термических и гальванических цехах для удаления вредных выделений от ванн различного назначения нашли щелевые бортовые отсосы. При ширине открытой ванны более 0,6 м экономически оправдано применение системы «передувка-отсос», создающей воздушно-струйное укрытие ванны. Рассмотрены способы уточнения расходов приточного и удаляемого воздуха активированного бортового отсоса с передувкой для повышения эффективности улавливания вредных выделений, экономии энергоресурсов и более обоснованного подбора вентиляционного оборудования. Произведен анализ исследований и публикаций в отечественных и зарубежных источниках. Достоверные данные о необходимых расходах воздуха в приточной струе и щелевом бортовом отсосе можно получить на основании математического моделирования рассматриваемого процесса. Процесс работы бортового отсоса с передувкой проанализирован на основании рассмотрения плоской картины взаимодействия трех течений: восходящего потока вредных выделений, плоской приточной струи и течения, обусловленного работой всасывающей щели бортового отсоса. Получены зависимости для расчета расходов приточного и удаляемого воздуха активированного бортового отсоса. Установлена зависимость объема удаляемого воздуха от скорости восходящего потока вредных выделений. Для проверки результатов выполненных теоретических исследований был проведен вычислительный эксперимент с использованием компьютерных программ. Выполнены сравнительные расчеты расходов вентиляционного воздуха для существующего технологического оборудования – масляного закалочного бака в термическом отделении. При этом использовались известные методики и полученные автором зависимости. Результаты расчетов показали существенное расхождение объемов приточного и удаляемого воздуха. Сформулированы рекомендации по оптимизации конструкции активированного отсоса закалочного бака. Для сокращения влияния неорганизованных воздушных потоков в производственном помещении на работу передувки и бортового отсоса в торцах бака предложено предусмотреть вертикальные воздухопроницаемые экраны.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. В современных термических и гальванических цехах для борьбы с вредными выделениями широко применяются бортовые отсосы. В случае, если ванны различного назначения имеют ширину более 0,6 м, рекомендуется применять двухбортовые отсосы или системы «передувка-бортовой отсос» [9,11].

При этом важно подавать и удалять от бортового отсоса оптимальные объемы воздуха. Недостаточное количество удаляемого воздуха не позволит локализовать выделяющиеся вредности, избыточное - приведет к перерасходу энергии. В связи с этим требуется разработка более обоснованного метода расчета объемов приточного и удаляемого воздуха.

Анализ исследований и публикаций. Разработкой методов расчета бортовых отсосов занимались как отечественные, так и зарубежные авторы: В.В. Батурин, Я.А. Гальчинский, В.Д. Столер, Ю.Я. Савельев, В.Н. Посохин, И.М. Халецкий и др. [1-6, 10-15]. Вместе с тем, существующие методики определения расходов приточного и отсасываемого воздуха, разработанные с использованием различных подходов, дают большие расхождения в результатах.

Постановка задачи. Уточнение расходов приточного и удаляемого воздуха для бортового отсоса с передувкой позволят эффективнее улавливать вредные выделения, экономить энергоресурсы и более обоснованно подбирать вентиляционное оборудование.

Изложение материала и результаты. Как было установлено ранее [7], для расчета бортового отсоса нужно знать параметр M , который выражает отношение объема воздуха, удаляемого бортовым отсосом к объему восходящего потока загрязненного воздуха. Параметр M зависит от максимального поднятия критической линии тока воздушного течения у бортового отсоса h^* .

Для определения требуемого значения коэффициента M , выполним исследования на экстремум критической линии тока, определяемой равенством

$$F(x^*, y^*) = 1 - x^* - m \sqrt{\frac{3}{4\sigma}} \delta^* \sqrt{1 - x^*} \operatorname{th} \eta^* - \frac{2}{\pi} M \arcsin \frac{q^* - p^*}{2} = 0.$$

Так как

$$\frac{dF(x^*, y^*)}{dx^*} = \frac{\partial F(x^*, y^*)}{\partial x^*} + \frac{\partial F(x^*, y^*)}{\partial y^*} \cdot \frac{dy^*}{dx^*} = 0,$$

а в точке максимума линии тока ($dy^*/dx^*=0$), то координаты экстремальной точки определяются уравнением

$$\frac{\partial F(x^*, y^*)}{\partial x^*} = 0. \quad (1)$$

В развернутой форме уравнение (1) имеет вид

$$-1 - m\sqrt{\delta^*} \sqrt{\frac{3}{4\sigma}} \frac{\partial}{\partial x^*} \left(\sqrt{1-x^*} \operatorname{tg} \eta^* \right) - \frac{2}{\pi} M \frac{\frac{\partial}{\partial x^*} \left(\frac{q^* - p^*}{2} \right)}{\sqrt{1 - \left(\frac{q^* - p^*}{2} \right)^2}} = 0. \quad (2)$$

Далее уравнение (2) преобразуется к

$$\frac{M}{\pi} \cdot \frac{x^* (q^* - p^*)}{\left(\frac{a^*}{2} \right)^2 p^* q^*} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{q^* - p^*}{2} \right)^2}} = 1 + m\sqrt{\delta^*} \sqrt{\frac{3}{4\sigma}} \frac{1}{2\sqrt{1-x^*}} [2\eta^* (1 - \operatorname{th}^2 \eta^*) - \operatorname{th} \eta^*].$$

Таким образом, для определения координат x_M, y_M точки максимума критической линии тока имеются два уравнения

$$1 - x_M - m\sqrt{\delta^*} \sqrt{\frac{3}{4\sigma}} \sqrt{1-x_M} \operatorname{th} \eta_M - \frac{2}{\pi} M \arcsin \frac{q_M - p_M}{2} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{M}{\pi} \cdot \frac{q_M - p_M}{\left(\frac{a^*}{2} \right)^2 p_M q_M \sqrt{1 - \left(\frac{q_M - p_M}{2} \right)^2}} = 1 + \frac{m\sqrt{\delta^*}}{\sqrt{1-x_M}} \sqrt{\frac{3}{16\sigma}} [2\eta_M (1 - \operatorname{th}^2 \eta_M) - \operatorname{th} \eta_M], \quad (4)$$

где

$$q_M = \sqrt{\left(1 + \frac{2y_M}{a^*} \right)^2 + \left(\frac{2x_M}{a^*} \right)^2}; \quad p_M = \sqrt{\left(1 - \frac{2y_M}{a^*} \right)^2 + \left(\frac{2x_M}{a^*} \right)^2}, \quad \eta_M = \sigma \frac{y_M}{1-x_M}.$$

Очевидно, следует положить

$$y_M = h^*.$$

Решением системы уравнений (3) и (4) определены соответствующие значения параметра M , характеризующего максимальное поднятие линии тока вредных выделений над поверхностью.

Для проверки результатов выполненных теоретических исследований был проведен вычислительный эксперимент с использованием программного обеспечения FlowVision. Сравнение данных показывает удовлетворительное согласование теоретических и экспериментальных результатов.

Порядок расчета необходимого расхода отсасываемого воздуха при заданных: размерах щели бортового отсоса - $a^*/2$, ширины ванны (бака) - l , скорости восходящего потока вредных выделений - U_ϕ и параметра, характеризующего передувку - $m\sqrt{\delta^*}$ сводится к следующему. Задаются допустимой высотой поднятия критической линии тока - h^* , далее при известной величине $a^*/2$ определяется соответствующее значение параметра M . Затем вычисляется удельный расход воздуха на один погонный метр длины щели по формуле

$$L_{из} = \left(M + m\sqrt{\delta^*} \cdot 0,3127 \right) U_\phi \cdot l, \quad (5)$$

Выражение (5) позволяет также вычислить объем отсасываемого воздуха для обычного бортового отсоса - без передувки. В этом случае параметр $m\sqrt{\delta^*}$ следует принимать равным нулю.

Также для проверки изложенной теоретической методики расчета бортового отсоса, экранированного приточной плоской струей были проведены экспериментальные исследования в лабораторных условиях с применением теневого метода визуализации воздушных течений.

Результаты экспериментального определения требуемых объемов отсасываемого воздуха и сравнение их с рассчитанными данными показали удовлетворительное совпадение.

Оценка существующих методик расчета объемов приточного и удаляемого воздуха для активированных бортовых отсосов произведена на примере масляного закалочного бака в термическом отделении Опытного завода ПАО «КриворожНИПИрудмаш». Работа масляного закалочного бака характеризуется наиболее неблагоприятными воздействиями на состояние воздушной среды термического отделения. Бак вмещает около 4 м³ масла и имеет форму прямоугольной призмы. В качестве закалочных сред используются различные виды масел, главным образом, промышленное и машинное с максимальной температурой воспламенения 240°С. Эта температура является одним из критериев при выборе марки масла.

Температура масла в баке должна быть на 40-60 °С ниже температуры воспламенения, то есть не превышать 180-200 °С.

Закаливаемые изделия загружаются в бак с помощью крана, поэтому для локализации вредных выделений не представляется возможным использовать полукоткрытые и полностью закрытые местные отсосы, которые имеют достаточно высокую эффективность улавливания вредных веществ.

Для локализации паров масла проектом предусматривалось оборудовать закалочный бак двухбортовым отсосом с расположением воздухоприемников вдоль длинных сторон бака. Размещение одного воздухоприемника со стороны зоны обслуживания затрудняет проведение технологических операций по загрузке и выгрузке деталей из бака, поэтому этот воздухоприемник в процессе эксплуатации был демонтирован. Устройство одностороннего бортового отсоса нецелесообразно, поскольку его эффективность ограничивается предельной шириной зеркала испарения, равной 0,6 м. В данном случае ширина ванны равна $l=1,15$ м, длина $a=2,95$ м.

В связи с этим предпочтительно устройство бортового отсоса с использованием экранирующей приточной струи, т.е. отсоса с передувкой. Он эффективен и сравнительно экономичен при условии, если над зеркалом испарения в баке нет выступающих частей.

В настоящее время существует достаточно большое количество методик расчетов бортовых отсосов с передувками. Авторы на основании различных подходов - экспериментальных и аналитических разработали методики расчета объемов приточного и отсасываемого воздуха.

Результаты выполненных расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты сравнительных расчетов бортового отсоса с передувкой закалочного масляного бака по существующим методикам

Автор методики, номер ссылки на источник	Объем приточного воздуха, м ³ /ч	Объем отсасываемого воздуха, м ³ /ч
Батурин В.В. [2]	1346	8076
ГПИ Сантехпроект [3]	1070	4885
Гальчинский Я.А. [4]	902	6155
Столер В.Д., Савельев Ю.Я. [5]	2729	8259
Посохин В.Н. [6]	3155	13261
Халецкий И.Т. [7]	2576	35337

Из приведенных данных видно, что полученные величины существенно отличаются друг от друга как по объему приточного воздуха (от 902 до 3155 м³/ч), так и по расходу отсасываемого воздуха (от 4885 до 35337 м³/ч). Такой разбег объемов вентиляционного воздуха потребовал проведения исследований и разработки усовершенствованной методики расчета бортового отсоса, экранированного приточной струей.

Для передувки используем плоскую приточную струю со скоростью истечения, принятой согласно рекомендации [8,9] равной $u_c=10$ м/с. При этом ширина щели назначается равной порядка $\delta=(0,01-0,015)l$, но не менее 0,005 м во избежание засорения [5,8,9]. В нашем случае величину δ можно принять равной 0,01м. Ширина щели отсоса принимается равной $a/2=(0,075-0,1)l$. Принимаем $a/2=0,115$ м.

Объем приточного воздуха, необходимый для передувки определится из очевидного соотношения

$$L_C = k_g \cdot W_c \cdot \delta \cdot S = 1,2 \cdot 10 \cdot 0,01 \cdot 2,95 = 0,354 \text{ м}^3/\text{с} = 1275 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где k_g - коэффициент запаса для учета подвижности воздуха в помещении, $k_g=1,2$.

В соответствии с (18)

$$m = \frac{u_c l}{u_\phi l} = \frac{10}{u_\phi}, \quad m \sqrt{\delta^*} = \frac{10}{u_\phi} \sqrt{\frac{0,01}{1,15}} = \frac{0,932}{u_\phi}.$$

С учетом размещения закалочного бака допустимая высота подъема вредных выделений принята равной $h=0,23$ м, т.е. $h^*=h/l=0,23/1,15=0,2$.

В данном случае при $h^*=0,2$ и $a^*/2=a/2l$ $a^*/2=a/2l=0,1$ имеем значение параметра $M=1,251$.

Тогда согласно выражения (5) удельный расход воздуха во всасывающей щели определится следующим образом, $\text{м}^3/\text{ч}$

$$L_{\text{щ}} = 1,439u_{\text{ф}} + 0,335,$$

а общий расход воздуха, удаляемого отсосом, составит, $\text{м}^3/\text{ч}$

$$L_{\text{щ.общ.}} = 4,245u_{\text{ф}} + 0,988.$$

Как видно (рис. 1), объем отсасываемого воздуха при прочих равных условиях в значительной степени зависит от скорости восходящего потока вредных выделений $u_{\text{ф}}$, изменяется в широких пределах.

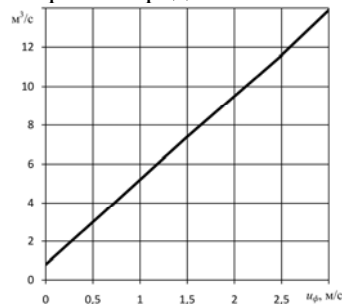


Рис. 1. Зависимость объема отсасываемого воздуха активированного отсоса от вертикальной скорости потока вредных выделений

В результате натурных исследований, выполненных на масляном закалочном баке, установлено, что величина $u_{\text{ф}}$ при всех технологических режимах не превышает 1,5 м/с. С учетом этого требуемый объем удаляемого воздуха составит 7,355 $\text{м}^3/\text{с}$ (26470 $\text{м}^3/\text{ч}$).

Рекомендуемая схема активированного отсоса закалочного бака представлена на рис. 2.

Для сокращения влияния неорганизованных воздушных потоков в производственном помещении на работу передувки и бортового отсоса в торцах бака следует предусмотреть вертикальные воздухопроницаемые экраны.

Выводы и направление дальнейших исследований. Рассмотрены существующие методики расчета бортовых отсосов, обоснованы расходы подаваемого и удаляемого воздуха от бортового отсоса с передувкой. Использование предложенной методики расчета объемов воздуха позволит эффективно удалять вредные выделения и рациональнее подбирать вентиляционное оборудование.

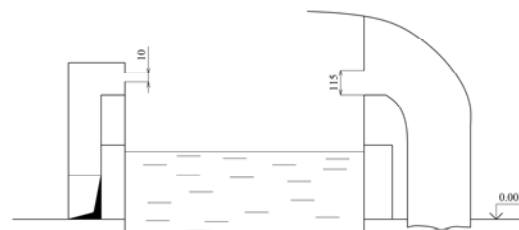


Рис. 2. Рекомендуемая схема активированного отсоса закалочного бака

Список литературы

1. Батурин В.В. Основы промышленной вентиляции. - М.: Профиздат, 1990. - 448 с.
2. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 2. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Справочник проектировщика. - М.: Стройиздат, 1977. - 502 с.
3. Гальчинский Я.А. К расчету плоских передувок. - В кн.: Вентиляция в металлургической промышленности. - М.: Металлургия, 1968. - С. 98-103.
4. Елинский И.И. Вентиляция и отопление гальванических и травильных цехов машиностроительных заводов. - М.: Машиностроение, 1982. - 135 с.
5. Посохин Е.Н. Расчет местных отсосов от тепло- и газовыделяющего оборудования. - М.: Машиностроение, 1984. - 160 с.
6. Халецкий И.М. Вентиляция и отопление заводов черной металлургии. - М.: Металлургия, 1984. - 240 с.
7. Голышев А.А. Аналитические исследования аэродинамики системы «передувка - бортовой отсос» / А.А. Голышев // Вісник Криворізького технічного університету: Кривий Ріг, 2007. - Вип. 19. - С. 176-179.
8. Указания по устройству и расчету местных отсосов и воздушно-струйных укрытий компенсационного типа для основного оборудования предприятий по обработке цветных металлов / ВНИИОТ ВЦСПС. - Свердловск, 1986. - 74 с.
9. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч.3 Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1/ В.Н. Богословский, А.И. Пирумов, В.Н. Посохин, Н.И. Березина и др.; Под ред. Н.Н. Павлова, Ю.И. Шиллера. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1992. - 319 с.
10. Cory W.T.W. Fans & Ventilation. - Elsevier in association with Roles & Associates Ltd., 2005. - 457 p.
11. Goodfellow H. Industrial ventilation design guidebook / Goodfellow H., Tahti E. - Academic press, 2001. - 1555 p.
12. Porges F. HVAC engineer's handbook. - Butterworth Heinemann, 2001. - 297 p.
13. Spotar S.Y., Sorokin A.L. Focusing of the flow capture for local exhaust ventilation systems. American Journal of Applied Sciences, 2010, Vol 7 (6), pp. 732-738.
14. Robinson M., Ingham D. B. Recommendations for the design of push-pull ventilation systems for open surface tanks. Ann. occup. Hyg., 1996, Vol. 40, No. 6, pp. 693-704.
15. Marzali F., Gonzalez E., Minana A., Baeza A. Determination and interpretation of total and transversal linear efficiencies in push-pull ventilation systems for open surface tanks. Ann. occup. Hyg., 2002, Vol. 46, No. 7, pp. 629-635.

Рукопис подано до редакції 14.04.15

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОБОГАЩЕНИЯ КУСКОВЫХ ГЕМАТИТОВЫХ РУД КРИВБАССА

Экономический потенциал Украины в значительной степени зависит от состояния железорудной промышленности. В настоящее время при добыче железорудного сырья потери руд со средним содержанием железа до 57 % составляют седьмую часть от общего объема, а засорение вмещающими породами с содержанием железа 37,5 % составляет шестую часть от общего объема добычи руд.

В условиях дефицита сырья вовлечение в сферу добычи и переработки бедных руд, а также промышленных отходов, является реальной возможностью увеличения объемов добычи и обеспечения более рационального использования минеральных ресурсов. В частности, снижение порога массовой доли железа в исходной руде до 40 % позволит увеличить запасы железорудного сырья в Кривбассе в 2,05 раза.

Статья Трачук А.А. «Анализ способов обогащения кусковых гематитовых руд Кривбасса» посвящена сравнительному исследованию различных способов обогащения железорудного сырья. Установлено, что при обогащении в тяжелой суспензии и обогащении с помощью рентгенорадиометрического метода извлечение полезного компонента выше, чем при использовании сухого магнитного метода обогащения и обогащения отсадкой.

Сравнение экономической целесообразности различных методов обогащения, включая базовый вариант, показал явное преобладание радиометрического метода обогащения над остальными, приведенными в статье.

Ключевые слова: гематитовая руда, способы обогащения, рентгенорадиометрический метод, железорудная отрасль.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Годовой объем открытой и подземной добычи железорудного сырья в Кривбассе составляет более 60 млн т. Вместе с тем, высокие темпы развития промышленности требуют увеличения объемов добычи руд. Балансные запасы богатой руды Кривбасса со средней массовой долей железа 56,7% составляют 1,5 млрд т, а железистых кварцитов со средней массовой долей железа 34,3 % - 18 млрд т.

Анализ исследований и публикаций. Одним из важнейших показателей эффективности производственной деятельности горнодобывающей отрасли промышленности является качество железорудного сырья. По качественным показателям железные руды Кривбасса значительно уступают крупнейшим мировым производителям аналогичной продукции (табл. 1) [1].

Таблица 1

Качественные характеристики железных руд мировых экспортеров

Страна	Массовая доля, %			
	железа	кремнезема	фосфора	серы
Австралия	62,6-64,9	3,1-4,3	0,05-0,07	0,01-0,02
Швеция	66,5	3,9	0,01	0,001
Венесуэла	63,8	2,2	0,06	0,001
Бразилия	68	1,3-1,5	0,025	3,9
Украина	57,4-62,0	8,9-14,0	0,01-0,0073	0,007-0,02

Из-за низких показателей массовой доли железа цены на товарную продукцию шахт Кривбасса почти в 1,9 раза ниже цен мировых экспортеров. В результате на каждой тонне товарной продукции поставщики Украины теряют до 1,1 долл. [2].

Совершенствование техники и технологии обогащения и усреднения товарной продукции железорудного сырья требует разработки оптимальных режимов, учитывающих зависимость конечных результатов от характеристики сырья и основных параметров процесса обогащения.

Обогащением руды называется операция, увеличивающая содержание железа или снижающая содержание вредных примесей в руде. Обогащение позволяет существенно повысить содержание железа в шихте доменных печей, улучшить условия восстановления железа, уменьшить выход шлака, улучшая тем самым ход печи и снижая расход кокса при возрастающей производительности. Установлено, что в средних условиях плавки повышение содержания железа в шихте на 1 % позволяет увеличить производительность печи на 2-2,5 % при снижении удельного расхода кокса на 2-2,5 %.

Постановка задачи. Обогащение гематитовых руд Кривбасса производится следующими основными способами:

обогащение отсадкой;

сухая магнитная сепарация;
обогащение в тяжелой суспензии;
радиометрическая сепарация.

Отсадка - это способ гравитационного обогащения полезных ископаемых, основанный на разделении минеральной смеси по плотности в вертикальном колеблющемся потоке воды переменного направления. Конечные продукты - концентрат с высоким содержанием полезного компонента и отходы [1].

Магнитная сепарация применяется для обогащения руд, содержащих минералы с относительно высокой магнитной восприимчивостью (ним относятся магнетит, франклинит, ильменит и пирротин, а также некоторые другие минералы железа, поверхности которых могут быть приданы нужные свойства путем низкотемпературного обжига).

Сепарация производится как в водной, так и в сухой среде. Сухая сепарация больше подходит для крупных зерен, мокрая - для тонкозернистых песков и шламов. Обычный магнитный сепаратор представляет собой устройство, в котором слой руды толщиной в несколько зерен перемещается непрерывно в магнитном поле. Магнитные частицы вытягиваются из потока зерен лентой и собираются для дальнейшей переработки; немагнитные частицы остаются в потоке.

Обогащение гематитовых руд целесообразно производить с помощью именно сухой магнитной сепарацией.

Сущность процесса обогащения в тяжелой суспензии заключается в том, что тонкоизмельченный суспензид или утяжелитель перемешивается с водой и находится в ней во взвешенном состоянии, образуя суспензию заданной плотности, в которой легкие минералы всплывают, в тяжелые оказываются на дне аппарата.

В промышленности в качестве тяжелых сред применяются тяжелые суспензии, т.к. тяжелые жидкости (трихлорэтан C_2HCl_3 , дибромэтан $C_2H_4Br_2$, бромформ $CHBr_3$, жидкость Туле) являются ядовитыми и имеют высокую стоимость.

Дробленая руда поступает на грохот для отделения мелких классов и шламов. Подрешетный продукт направляется в суспензионный сепаратор, где и происходит разделение его на легкую и тяжелую фракции. Продукты обогащения поступают на грохот с размером отверстия 1-3 мм, на которых сильной струей воды из брызгал, установленных над грохотом, производится отмывка утяжелителя, который направляется на регенерацию [3].

Регенерация утяжелителя, обладающего магнитными свойствами (ферросилиций, магнетит) проводится на магнитных сепараторах в одну или две стадии. Выделенный утяжелитель подвергается размагничиванию для предотвращения образования флоккул и направляется в емкость для приготовления суспензии.

Радиометрическое обогащение руды - это процесс переработки руд, основанный на взаимодействии различных видов излучений с веществом.

В технологии радиометрического обогащения руд выделяются два вида процессов:

Радиометрическая сортировка - процесс, при котором из добываемой руды выделяются сорта по содержанию ценного компонента.

Как правило, объектом анализа и разделения является порция горной массы. Порционную сортировку делят на призабойную - в ковше погрузо-доставочной машины, посамосвальную, повагонеточную, мелкопорционную.

Радиометрическая сепарация - процесс, основанный на неравномерности распределения полезного либо вредного компонента в кусках руды [4].

Известно более тридцати методов радиометрического обогащения, из которых наиболее распространенными являются [5]:

Радиометрический метод сепарации, основанный на разделении руд с естественной радиоактивностью по интенсивности гамма-излучения.

Рентгенорадиометрический (рентгенофлуоресцентный) метод, основанный на регистрации возбужденного рентгеновскими трубками либо источниками гамма-излучения характеристического рентгеновского излучения атомов определяемых элементов, входящих в состав горных пород. Данный метод применяется при переработке руд черных, цветных и благородных металлов. Является одним из наиболее универсальных методов.

Рентгеноабсорбционный метод сепарации, основанный на различии в ослаблении потока рентгеновского излучения кусками породы и руды.

Инфракрасный метод основан на различии теплоемкости руды и пустой породы.

Изложение материала и результаты. На шахтах Кривбасса проведены сравнительные испытания по обогащению кусковых гематитовых руд различными способами (табл. 2).

Таблица 2
Результаты сравнительных испытаний по обогащению кусковых гематитовых руд Кривбасса различными способами

Способ обогащения	Шахта Ленина		Шахта Гвардейская		Шахта Родина		Шахта Октябрьская	
	массовая доля, %	извлечение, %	массовая доля, %	извлечение, %	массовая доля, %	извлечение, %	массовая доля, %	извлечение, %
В тяжелых суспензиях	61,1	87,1	61,6	87,4	62	86,7	61,7	83,6
Радиометрический	60,5	81,9	61,2	79,9	61,7	85,9	61,5	82,4
Сухой магнитный	59,7	58	60,1	62,6	61	74,2	60,9	68,6
Отсадка	60,9	84,7	61,3	81	61,8	86	61,6	82,9

Исследованы были методы обогащения в тяжелых суспензиях, радиометрический метод, сухой магнитный метод обогащения и отсадка. Испытания проводились на шахте им.Ленина, шахте Гвардейская, шахте Родина и шахте Октябрьская.

В результате выявлено, что наибольшим извлечением обладает обогащение путем использования тяжелой суспензии и обогащение с использованием радиометрического метода.

По табл. 2 построены сравнительные гистограммы, демонстрирующие целесообразность указанных методов.

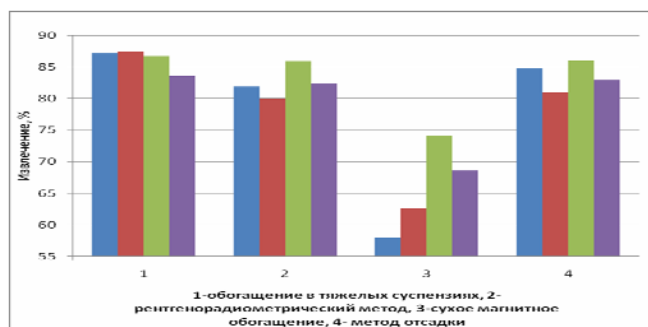


Рис. 1. Зависимость извлечения полезного компонента из гематитовых руд шахт Кривбасса от массовой доли железа общего Fe_2O_3 , слева направо: шахты им. Ленина, Гвардейская, Родина, Октябрьская

Кроме того, исследованы показатели экономической целесообразности различных вариантов обогащения окисленной железной руды шахт Кривбасса (табл. 3).

Таблица 3
Сравнительная экономическая целесообразность различных способов обогащения окисленной железной руды шахт Кривбасса: (1 - стоимость добычи, грн/т; 2 – стоимость обогащения, грн/т; 3 – суммарная стоимость, грн/т; 4 - цена продукта, грн/т; 5 - общая прибыль, грн/т)

	Шахта Ленина					Шахта Гвардейская					Шахта Октябрьская					Шахта Родина				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Базовый вариант	48,11	0	48,11	48,16	0,05	59,1	0	59,1	59,66	0,56	59,25	0	59,25	63,25	4	59,69	0	59,69	65,12	5,43
Тяжелая суспензия	48,11	11,27	59,38	59,69	0,31	59,1	11	70,1	72,6	2,5	59,25	10,96	10,21	73,36	3,15	59,69	10,27	69,96	73,4	3,44
Радиометрический сепаратор	48,11	8,1	56,21	59,1	2,89	59,1	8,14	67,24	72,15	4,91	59,25	7,57	66,82	73,15	6,33	59,69	7,05	66,74	73,05	6,3
Сухая магнитная сепарация	48,11	9,6	57,7	58,33	0,62	59,1	8,71	67,81	70,86	3,05	59,25	7,66	66,91	72,41	5,5	59,69	6,86	66,55	72,22	5,67
Отсадка	48,11	10,82	58,93	59,5	0,57	59,1	11,06	70,16	72,27	2,11	59,25	10,34	69,59	72,93	3,34	59,69	9,66	69,35	73,17	3,82

Исходя из результатов табл. 3 очевидно, что наиболее целесообразным является способ обогащения с помощью радиометрической сепарации, при этом прибыль при указанном методе составляет от 2,89 до 6,33 грн/т для разных шахт Кривбасса.



Рис. 2. Зависимость прибыли, получаемой при обогащении окисленной железной руды при применении различных методов обогащения на шахтах Кривбасса: ряд 1 - данные шахты им. Ленина; ряд 2 - шахта Гвардейская; ряд 3 - шахта Родина; ряд 4 - шахта Октябрьская

По данным табл. 3 построены гистограммы (рис. 2)

зависимости прибыли, получаемой при обогащении окисленной железной руды при применении различных методов обогащения на шахтах Кривбасса. Продемонстрированы результаты по шахтам им. Ленина, Гвардейской, шахте Родина и шахте Октябрьская. Очевидно, что наиболее стабильную прибыль дает использование радиометрического способа обогащения.

Выводы и направление дальнейших исследований. Применяемые в настоящее время технологии обогащения гематитовых руд требуют значительного совершенствования, что обусловлено снижающимся содержанием ценных компонентов и усложнением минералогического состава.

Повышение эффективности обогащения минерального сырья, снижение материальных затрат на переработку, повышение экологической безопасности горно-обогатительного производства требуют разработки и применения научно обоснованных методов контроля и регулирования технологического процесса.

Применение радиоизотопных средств и методов для обогащения железорудного сырья позволит повысить эффективность обогатительного передела гематитовых железных руд.

Применение радиометрического обогащения позволяет сократить объем горной массы поступающей на дальнейшее глубокое обогащение, при одновременном повышении качества горной массы.

Кроме того, применение радиометрического обогащения стабилизирует качество горной массы, поступающей на дальнейшую переработку.

Список литературы

1. Азарян А.А. Оперативный контроль качества минерального сырья с использованием рассеянного гамма-излучения. Разработка рудных месторождений: НТС.- Кривий Ріг: Мінерал, №93, 2010 –с.153-158.
2. Трачук А.А. Особенности обогащения гематитовых руд шахтной добычи Кривбасса на базе радиоизотопных средств // Дисс. канд. техн. наук.-Кривой Рог, - КТУ, 2006.-170 с.
3. Самылин Н. А. Технология обогащения угля гидравлической отсадкой, М., 1967; Справочник пообогащению руд, т. 2, М., 1974; Coal preparation, ed. J. W. Leonard, D. R. Mitchell, 3 ed., N. Y., 1968.
4. Якубович А.Л., Зайцев Е.И., Пржиялговский С.М. Ядерно-физические методы анализа минерального сырья. - М.: Атомиздат, 1973. - 378 с.
5. Азарян В.А. Доклад на 6-ой международной конференции Стратегия качества в промышленности и образовании «Управление качеством в рудопотоках железорудных карьеров Украины» Варна, (4-10 июня) 2010.-с.52-56.
6. Азарян А.А. Модель геометрии измерения интенсивности рассеянного от горных пород гамма-излучения, Институт проблем моделирования, «Электронное моделирование» №5, Киев, 2010.-с.111-117.
7. Азарян А.А., Азарян В.А., Трачук А.А. Доклад на международной научно-практической конференции. «Пути повышения точности оперативного контроля качества железорудного сырья». Кривой рог, Видавничий дім, 2010. –С. 106-107.
8. Азарян А.А. Разработка методов и средств физико-технического контроля и управления качеством руд черных металлов при добыче и переработке: Дис. докт. техн. наук: 05.15.11. – Киев., 1993. – 470 с.
9. Азарян А.А. Выбор параметров блока регистрации рассеянного гамма-излучения // Матер. II Межд. симпозиума. "Оперативный контроль и управление качеством минерального сырья при добыче и переработке" (Качество-99) – Ялта: АГНУ, 1999. – С. 202-206.
10. Азарян А.А. Оперативный контроль качество минерального сырья/ А.А. Азарян, Ю.Г. Вилкул, В.А. Колосов // М, Горный журнал, 2005.- №5.-С 106-108.
11. Азарян В.А., Трачук А.А. Обоснование геометрических и технологических параметров системы оперативного контроля качества исходной руды и продуктов обогащения / В.А. Азарян, А.А. Трачук - Варна, 2007.- Стратегия качества в промышленности и образовании.– Т.1. -С. 487-491.
12. Близинок Г.И., Большаков А.Ю. Способ рудоподготовки с использованием данных ядернофизического опробования // Обогащение руд. -1979 -№ 5, С. 10-11.
13. Салищева Е.П., Шикаренко С.Ф. Флотация железных руд подземной добычи Кривбасса // Обогащение и окускование руд черных металлов.-М.: Недра.-1970.-Вып.11.-С.81-94.
14. Губин Г.В., Губин Г.Г. Переработка и обогащение полезных ископаемых.- Кривой Рог :Минерал,1997.-131 с. Рукопис подано до редакції 14.04.15

ТЕРМОСТІЙКІ ТАМПОНАЖНІ МАТЕРІАЛИ

Для якісного розмежування пластів у нафтових і газових свердловинах застосовують переважно тампонажні цементи, в яких основним в'язучим матеріалом є портландцемент. Залежно від хіміко-мінералогічного складу, тампонажні портландцементи розділяють на класи для різних температурних умов експлуатації від 288 до 423 К. Актуальною є задача розробки термостійких тампонажних матеріалів з високими технологічними властивостями на основі низькоактивних композицій з метою підвищення якості розмежування гірських порід і нафтогазоносних горизонтів у глибоких свердловинах. Наведено характеристику чинників, що впливають на якість розмежування пластів. Проведено аналіз якості цементування обсадних колон на бурових підприємствах України. Запропоновано нові термостійкі тампонажні матеріали, що розширюються при твердінні, для цементування глибоких нафтових і газових свердловин.

На основі проведених досліджень встановлено, що суміші золи висококальцієвої, яка містить в'язучу основу - вільні оксиди кальцію, і золи кислої, в якій міститься активний кремнезем, можуть бути основою термостійких тампонажних матеріалів. Дослідженнями фізико-механічних властивостей встановлено, що оптимальними співвідношеннями золених сумішей є рецептури, які вміщують 30-70 % золи висококальцієвої і 70-30 % золи кислої.

Ключові слова: цементне кільце, термостійкий тампонажний матеріал, гідротермальна дія.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На сьогодні для якісного розмежування пластів у нафтових і газових свердловинах застосовують переважно тампонажні цементи, в яких основним в'язучим матеріалом є портландцемент. Залежно від хіміко-мінералогічного складу, тампонажні портландцементи розділяють на класи для різних температурних умов експлуатації від 288 до 423 К.

Дослідження ряду авторів [1-3] показали, що при застосуванні портландцементів в геотермальних умовах глибоких свердловин виникають проблеми довговічності тампонажного каменю. Висока активність портландцементу є причиною температурної нестабільності тампонажного каменю, що викликає деструктивні процеси, зокрема утворення гідросилікату $C_2SH(A)$, внаслідок чого поступово знижується міцність і підвищується проникність, навіть у термостійких цементів. Це може стати причиною формування шляхів газонафтоводопроводів (ГНВП).

Автор [4] вважає, що граничним діапазоном температури при якому можна використовувати тампонажні портландцементи для помірних температур 363-368 К. У працях [5,6] стверджується, що тампонажний портландцемент відповідає своєму призначенню до температури близько 358 К, тобто до глибини 2500-3000 м. За даними досліджень [1] уже при температурі 348 К через 28 діб твердіння тампонажного портландцементу міцність каменю починає знижуватись.

З огляду на викладене актуальною є задача розробки термостійких тампонажних матеріалів з високими технологічними властивостями на основі низькоактивних композицій з метою підвищення якості розмежування гірських порід і нафтогазоносних горизонтів у глибоких свердловинах.

Аналізостанніх досліджень і публікацій. Вперше термостійкий тампонажний цемент одержали шляхом добавки до тампонажного портландцементу тонкомеленого кварцового піску [3]. Такі суміші одержали широке застосування завдяки універсальності домішки піску, який добре поєднується з різними типами цементів і практично не впливає на інші властивості тампонажного розчину.

Сьогодні відомий широкий спектр малоактивних кальцієвмісних компонентів, які присутні у відходах металургійної, енергетичної, гірничорудної і хімічної промисловості (шлаки, шлами, огарки, золи, пил, горілі породи та ін.). Цементи на основі таких матеріалів найбільш економічні і термостійкі [7,8]. Для тампонажних композицій найширше застосування серед техногенних матеріалів знайшли доменні шлаки. Їх хімічний склад близький до складу портландцементного клінкера і відрізняється, як правило, меншим вмістом оксиду кальцію. Доменні шлаки, в залежності від коефіцієнта якості і хімічного складу, діляться на три сорти. Коефіцієнт якості враховується при оцінці їх гідралічних властивостей. При підвищених температурах процеси гідролізу і гідратації доменних шлаків значно інтенсифікуються і вони стають достатньо активними

в'яжучими матеріалами [9-11]. Враховуючи ці якості, на основі доменних шлаків розроблені шлакові та піщано-шлакові цементи для високотемпературних (до 473 К) свердловин [2,10,12].

Фізико-механічні властивості цементних розчинів на основі доменних шлаків залежать від хіміко-мінералогічного складу вихідного шлаку і способу його охолодження. Для температурних умов 373-473 К використовують шлаки з коефіцієнтом якості не меншим 1,65, для температур 473-573 К - не меншим 1,45. При температурах, нижчих за 373 К, для активації шлаків додають тампонажний портландцемент [13,14]. Основним недоліком тампонажних розчинів на основі доменних шлаків, який обмежує їх використання, є велика густина (1800-2000 кг/м³) внаслідок чого зменшується висота підйому тампонажного розчину в глибоких свердловинах в одну ступінь.

Для низьких, нормальних і помірних температур використовується тампонажний шлакопортландцемент з домішкою електротермофосфорного шлаку [15].

Відомі тампонажні композиції для цементування свердловин у температурному інтервалі 393-473 К, в процесі твердіння яких задіяні фізико-хімічні процеси взаємодії в системах $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$; $\beta = \text{C}_2\text{S-CaO-H}_2\text{O}$ [1]. До цієї групи належать вапняно-піщані, нефеліново-піщані (беліто-кремнеземисті) в'яжучі матеріали та ін. [1-3].

Широко застосовуються cemento-зольні тампонажні суміші, в яких для підвищення термостійкості використано пуцоланову домішку - кислу золу-винос теплових електростанцій (ТЕС) [16-19]. Доведено можливість використання таких композицій в термічному інтервалі 323-473 К [20].

На сьогодні найбільш повно досліджені шляхи використання зол горючих сланців, кам'яного і бурого вугілля. Їх застосування розвивається в трьох основних напрямках: використання зол в якості сировинного компоненту при одержанні клінкеру [21-24], використання в якості активної мінеральної домішки до цементів [21,25,26,27], у виробництві будівельних деталей при автоклавній обробці з використанням в'яжучих властивостей золи [28,29,30].

Залежно від хімічного складу і фазового стану пиловидні золи розділені на три групи [29]:

висококальцієві низькосульфатні золи, що утворюються при спалюванні торфу бурого вугілля і містять CaO більше 20 %, SO_3 менше 5 %;

висококальцієві сульфатні золи, які утворюються при спалюванні горючих сланців із вмістом CaO більше 20 %, SO_3 більше 5 %;

низькокальцієві кислі і надкислі золи, які утворюються при спалюванні антрациту, кам'яного і бурого вугілля, торфу і містять CaO менше 20 %.

Такий поділ зол обумовлено різним вмістом CaO , SO_3 і безпосередньо пов'язаний з відмінностями у процесах твердіння золових в'яжучих та дією активаторів твердіння.

У роботах [29,31] установлені напрямки процесів твердіння в'яжучих на основі висококальцієвих торф'яних і сланцевих зол при їх автоклавній обробці з тиском 0,8-1,6 МПа. Гідратація клінкерних мінералів золи $\beta - \text{C}_2\text{S}$ та алюмоферитної фази відбувається з утворенням, за рахунок двокальцієвого силікату, спочатку гідросилікату кальцію $\text{C}_2\text{SH(A)}$, потім гідросилікату кальцію CSH(B) і гідрогранатів за рахунок алюмоферитної фази. Гідроліз алюмосилікатної аморфізованої речовини золи і шламового скла в лужному середовищі відбувається з кристалізацією гідрогранатів і виділенням гелевидних низькоосновних гідросилікатів кальцію. Взаємодія гідрату окису кальцію з кварцом відбувається з поступовим утворенням гідросилікатів кальцію $\text{C}_2\text{SH(A)}$ і CSH(B) . Домішка до золотого в'яжучого гіпсу пришвидшує гідроліз і збільшує кількість гелевидних новоутворень, частина гіпсу виділяється у вигляді ангідриду.

При гідратації в'яжучого на основі пиловидної золи в газобетоні утворюються α -гідрат C_2SH і низькоосновні волокнисті гідросилікати. При домішці глинисто-золотого і глинистого аглопориту у співвідношенні 1:1 утворюється тоберморитова фаза [30].

У праці [19] відзначено, що при гідротермальних реакціях з участю золи-виносу утворюються гідрогранати, які різко знижують концентрацію вапна.

Експериментальні дослідження, проведені з в'яжучими на основі низькокальцієвих пиловидних зол [32,29] показали, що вони характеризуються зниженою гідралічною активністю, але при активації вапном і гіпсом на їх основі можна одержати в'яжучі матеріали в умовах пропарювання або автоклавного твердіння. При автоклавній обробці паром в температурному інтервалі 448-473 К і вище, суміші вапна і зол енергійно взаємодіють між собою з утворенням гідрогранатів середнього складу $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (0,5-0,7)\text{SiO}_2 \cdot (5-4,6)\text{H}_2\text{O}$, а також обумовлюючих їх

твердіння гідросилікатів кальцію. Якість зол погіршується при наявності в них домішок вугілля, яке не згоріло, та сірчаного ангідриду SO_3 . Достатньої стійкості такі в'язучі матеріали набувають при низькому вмісті в золах органічних речовин (до 7-10 % при спалюванні вугілля і до 5 % при спалюванні торфу). Вміст сірчаного ангідриду в золах, який викликає сульфатну корозію цементного каменю, діючим стандартом обмежений до 3 %.

Огляд доповідей VII Міжнародного конгресу з хімії цементів свідчить, що використання зол сприяє підвищенню міцності бетонів, особливо у пізні терміни їх твердіння [33]. Встановлено, що мінералогічний і гранулометричний склади зол впливають на міцність, довговічність і сульфатостійкість цементного каменю [34-38].

Виділення невирішених проблем. Аналіз досліджень багатьох авторів дає підстави стверджувати, що попередження ГНВП внаслідок деструктивних процесів у цементному камені, можна досягти підвищенням термостійкості тампонажних матеріалів у глибоких свердловинах шляхом застосування малоактивних тампонажних композицій на основі широкого спектру мінеральних відходів промислового комплексу.

Такими матеріалами є золи-виносу ТЕС. Вони є перспективною сировиною для виробництва термостійких тампонажних сумішей. Золи - виносу відносно дешеві й доступні, вони не потребують транспортування на великі відстані оскільки ТЕС розміщені у багатьох регіонах України. Золи утворюються при спалюванні твердих мінеральних палив (горючих сланців, кам'яного вугілля та ін.) на ТЕС і у великих кількостях накопичуються в системі фільтрової очистки газоподібних продуктів згорання. За хімічним і мінералогічним складом золи близькі до обпалених глин. Їх активність залежить від температури, якій вони піддавались в процесі спалювання палива, а хімічний склад - від виду мінерального палива. З підвищенням температури утворення, активність золи знижується [32].

У більшості випадків золи від спалювання вугілля вміщують значну кількість SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , а золи горючих сланців - CaO , MgO [28]. Деякі золи відрізняються підвищеною нерівномірністю складу, оскільки вони вміщують CaO не лише у зв'язаному, але й у вільному стані (CaO_v). Наприклад, золи Кансько-Ачинського вугільного басейну (Росія) містять CaO_v до 20 %, а естонських сланців - до 14,1 % [21,28].

Тому на даний час актуальною проблемою, яка потребує вирішення є створення термостійких тампонажних матеріалів на основі низькоактивних мінеральних відходів промисловості, зокрема, золи-виносу ТЕЦ.

Формулювання мети статті. Метою статті є розробка низькоактивних термостійких тампонажних матеріалів на основі зол - виносу ТЕС для підвищення якості цементного каменю в глибоких нафтових і газових свердловинах.

Виклад основного матеріалу. Найважливішою умовою термостійкості цементу є утворення в процесі його твердіння термодинамічно стійких при високих температурах сполук. Необхідно також, щоб ці сполуки мали добрі структуроутворюючі властивості, оскільки без цього не можна одержати високої міцності і низької проникності цементного каменю [7].

З метою розробки термостійких тампонажних композицій проведено дослідження висококальцієвої золи від спалювання естонських горючих сланців і кислої золи від спалювання кам'яного вугілля на ТЕС та різних співвідношень їх сумішей.

Фізико-хімічною особливістю зол є їх амфотерна структура і наявність значної кількості скловидних частинок. Зола складається з вихідної вугільної речовини, коксових частинок, різномірних частинок, сплавлених в агрегати, скловидних частинок, які повністю пройшли стадію розплаву та ін. [19].

Хімічний склад золи розглядають переважно як характеристику її потенційної здатності до гідратації, але при цьому значна роль належить її мінералогічним показникам. Основне значення мають кількість і склад золотого скла, наявність в деяких золах аморфізованих глинистих алюмосилікатів, вільного CaO (CaO_v) та нерозкладеного карбонату, який знижує в'язучі властивості. Пуцоланова активність золи залежить від її дисперсності, хімічного та фазового складу, особливо від вмісту скловидної фази [39].

Встановлено[40], що в'язучі властивості висококальцієвої пиловидної золи естонських горючих сланців, яка складається з клінкерних мінералів $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, вільного вапна, ангідриду (CaSO_4), склофази та нерозчинних у кислотах мінералів, залежать від взаємного співвідношення цих фаз і складу склофази. При формуванні цементного каменю, основними ком-

понентами є склофаза, клінкерні мінерали та нерозчинна частина, яка складає близько $\frac{2}{3}$ від маси золи. Але активність сланцевої золи реалізується лише при наявності в ній певної кількості активаторів твердіння вільного CaO та CaSO_4 . Її гідралічна активність тим вища, чим вища активність склофази, тобто чим більший вміст глинозему і кремнезему.

Процес твердіння висококальцієвої сланцевої золи включає: взаємодію $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ з гіпсом, гідратацію 2CaO-SiO_2 , активізацію склофази вапняно-гіпсовим розчином, що утворюється при замішуванні золи з водою - шламове твердіння, взаємодію гідроксиду кальцію, який утворюється при гідратації CaO з наявними в золі найдрібнішими зернами кварцу – пуцоланове твердіння [41]. Виходячи з мінералогічного складу висококальцієвих пиловидних зол, прийнято вважати, що при нормальних умовах їх твердіння відбувається за рахунок цементних мінералів, Ca(OH)_2 та утворення гідросульфаталюмінату кальцію [31].

Дослідження [26,41] показали, що полімінеральний склад сланцевих пиловидних зол найповніше використовується в умовах автоклавного твердіння при підвищеному тиску.

Основними критеріями вибору оптимального співвідношення компонентів термостійких золових сумішей (ЗС) можуть бути параметри, залежні від їх термостійкості - величина граничної міцності тампонажного каменю, міцність контакту каменю з обмежувальною поверхнею, газопроникність і корозійна стійкість.

Для обґрунтування оптимального використання пиловидних зол ТЕС як в'язучих матеріалів і домішок до них звернемось до їх класифікації. На сьогодні існує декілька класифікацій шлаків та зол за походженням, хімічним і мінералогічним складом тощо, але жодна з них не дістала практичного застосування. Найчастіше використовувалася класифікація за модулем основності $M_{\text{осн}}$ й активності $M_{\text{акт}}$, покладена в основу ДСТУ Б В.2.7–261:2011 на доменні гранульовані шлаки для виробництва цементу. Але дослідження й досвід промисловості показали відсутність закономірності між величиною цих модулів і властивостями матеріалу [28]. Очевидно, це пов'язане з тим, що вони є виключно емпіричними коефіцієнтами, одержаними на основі статистичних даних у процесі дослідження конкретної групи матеріалів.

У цій праці, в процесі підбору оптимального кількісного складу ЗС, використано коефіцієнт основності $K_{\text{осн}}$, запропонований П.І. Боженівим,

$$K_{\text{осн}} = \frac{(\text{CaO} + 0,93\text{MgO} + 0,6\text{R}_2\text{O}) - (0,55\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,7\text{SO}_3 + 1,3\text{CO}_2)}{0,93\text{SiO}_2}$$

який враховує не лише співвідношення, але й деякою мірою динаміку реакції між найголовнішими оксидами в процесі твердіння [42]. Перший член чисельника $(\text{CaO} + 0,93\text{MgO} + 0,6\text{R}_2\text{O})$ показує загальний (валовий) вміст (у відсотках) “умовного” CaO , і чим його більше, тим активнішим є цей матеріал. Другий член чисельника $(0,55\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,7\text{SO}_3 + 1,3\text{CO}_2)$ визначає кількість CaO , яка зв'язується відповідними оксидами і не бере участі в утворенні силікатів. У цілому чисельник показує, скільки відсотків “умовного” CaO залишається вільним для утворення силікатів кальцію. Знаменник $0,93\text{SiO}_2$ показує, скільки потрібно CaO (у відсотках) для зв'язування SiO_2 у моносилікат кальцію, і чим більший знаменник, тим більше в суміші може бути силікатів кальцію, а їх основність можна визначити за $K_{\text{осн}}$.

Відомо, що низькоосновні гідросилікати кальцію і магнію надають цементному каменю високу міцність, термо- й корозійну стійкість у баротермальних умовах глибоких свердловин. Тому необхідно добиватись їх кількісної переваги у складі цементуючої зв'язки. $K_{\text{осн}}$ золи висококальцієвої (ЗВ), яка утворюється при спалюванні горючих сланців на електростанціях, становить 0,823 та, за класифікацією П.І.Боженова, цей матеріал відносять до нейтральної сировинної групи (матеріали автоклавного твердіння) [28].

Згідно з дослідженнями [3], найбільша міцність і термостійкість каменю при тривалій гідротермальній обробці в чисто силікатній системі досягається при мольному відношенні $\text{CaO/SiO}_2 \leq 0,8$ для температур 333-363 К і $\text{CaO/SiO}_2 \leq 0,6$ для температур 363-393 К. Це в переважній більшості випадків відповідає $K_{\text{осн}} - 0,3 \div 0,7$ [28]. Розраховані значення $K_{\text{осн}}$ для різних складів золових сумішей показано в табл. 1. Аналізуючи одержані дані, можна передбачити, що найбільша міцність золотого каменю буде відповідати композиціям, які включають 20-50 мас. часток % домішки золи кислої (ЗК). Для перевірки цього передбачення зразки ЗС різного складу піддавались автоклавуванню протягом двох діб при температурі 348 К і тиску 30 МПа (див. табл. 1).

Визначення оптимального складу ЗС, що розширюються при твердінні

Тампонажний матеріал, мас. часток %		В/С	Коефіцієнт основності	Відносне лінійне розширення каменю, %	Границя міцності каменю при стисненні, МН/м ²	Міцність зчеплення каменю з металом, МН/м ²	Газопроникність каменю, мкм ² ×10 ⁻³	Коефіцієнт стійкості при вилугуванні через 360 діб
ЗВ	ЗК							
100	-	0,55	0,823	3,33	0,40	2,20	6,30	0,80
90	10	0,55	0,716	3,29	0,70	2,40	3,93	0,813
80	20	0,55	0,609	3,26	2,50	2,90	2,10	0,84
70	30	0,55	0,504	3,21	13,90	3,70	0,98	0,96
60	40	0,55	0,396	3,18	13,00	4,43	0,595	0,97
50	50	0,55	0,289	3,00	11,00	4,75	0,58	0,97
40	60	0,55	0,182	1,84	8,80	4,45	0,76	0,97
30	70	0,55	0,074	0,68	6,00	3,00	1,54	0,97
20	80	0,55	-0,031	0,045	0,90	0,43	3,50	0,85
10	90	0,55	-0,138	0,02	0,26	0,11	6,70	0,83
-	100	0,55	-0,245	-	-	-	-	-

В умовах тривалої гідротермальної дії на процеси твердіння і деструкції цементного каменю для його термостійкості, найважливіше значення мають процеси виникнення структуроутворюючих фаз. Дослідник Данюшевський В.С. [3] виділяє два можливих напрямки в одержанні стійких новоутворень на ранніх стадіях твердіння: а) вибір в'язучого з найменшою, але достатньою для забезпечення необхідної швидкості твердіння хімічною активністю; б) утворення довговічних в умовах високих температур і тисків гідросилікатів і гідрогранатів кальцію внаслідок реакції між портландцементом та введеними кремнеземом і глиноземом. Ця задача на практиці зводиться до розробки тампонажних композицій з малоактивними в'язучими матеріалами і домішками до них.

Висновки та перспективи подальших досліджень. На основі проведених досліджень встановлено, що суміші золи висококальцієвої, яка містить в'язучу основу - вільні оксиди кальцію, і золи кислоти, в якій міститься активний кремнезем, можуть бути основою термостійких тампонажних матеріалів. Дослідженнями фізико-механічних властивостей встановлено, що оптимальними співвідношеннями золових сумішей є рецептури, які вміщують 30-70 % золи висококальцієвої і 70-30 % золи кислоти. Камінь із золових сумішей має високі показники міцності та міцності зчеплення з металом обсадних труб, низьку газопроникність ($0,18-1,54 \text{ мкм}^2 \times 10^{-3}$), високу корозійну стійкість при знелуженні та в умовах дії більш жорсткої магнезійної агресії. Час прокачування золових сумішей легко регулюється за допомогою відомих хімічних реагентів, наприклад, нітрлотриметилфосфонові кислоти.

Список літератури

1. Крепление высокотемпературных скважин в коррозионно-активных средах / [В.М. Кравцов, Ю.С. Кузнецов, М.Р. Мавлютов, Ф.А. и др.]. – М.: Недра, 1987. – 192 с.
2. Шадрин Л.Н. Регулирование свойств тампонажных растворов при цементировании скважин / Шадрин Л.Н. – М.: Недра, 1969. – 240 с.
3. Данюшевский В.С. Проектирование оптимальных составов тампонажных цементов / Данюшевский В.С. – М.: Недра, 1978. – 293 с.
4. Гамзатов С.И. Применение вяжущих веществ в нефтяных и газовых скважинах / Гамзатов С.И. – М.: Недра, 1985. – 148 с.
5. Мачинский Е.К. Многокомпонентные смеси для цементировании скважин / Е.К. Мачинский // Бурение скважин и разработка нефтяных месторождений: (сб. научн. трудов ГрозНИИ). - 1960. - № 6. - С. 113-121.
6. Бандур Р.В. Проблема подбора рецептура тампонажных розчинів для заданих вибійних умов / Р.В. Бандур, О.В. Лужаниця, С.Г. Михайленко [та ін.] // Питання розвитку газової промисловості України: (зб. наук. праць УкрНДІгаз). - Харків, 2005. - С. 135-137.
7. Горський В.Ф. Тампонажні матеріали і розчини / Горський В.Ф. - Чернівці: 2006. – 524 с.
8. Каримов Н.Х. Вяжущие материалы, изготавливаемые из промышленных отходов и их применение при креплении скважин / Н.Х. Каримов, Б.Н. Хахаев, В.С. Данюшевский // Бурение: И.О. - М.: ВНИИОЭНГ. - 1982. - 48 с.
9. Булатов А.И. Цементы для цементировании глубоких скважин / Булатов А.И. - М.: Гостехтопиздат, 1962. - 202 с.
10. Булатов А.И. Цементирование глубоких скважин / Булатов А.И. – М.: Недра, 1964. - 297 с.
11. Мачинский Е.К. Цементно-песчаные растворы для тампонажа скважин / Е.К. Мачинский, А.И. Булатов. – Грозный: Чечено-Ингушское кн. изд-во, 1960. - 91 с.

12. **Мачинский Е.К.** Шлакопесчаные безобжиговые цементы для тампонажа скважин с забойными температурами до 200 °С / **Е.К. Мачинский, А.И. Булатов, А.И. Стафикопуло** // Нефтяное хозяйство. - 1958. - № 4. - С. 7-9.
13. **Мачинский Е.К.** Тампонажные свойства шлаковых смесей при температуре 100 - 130 °С / **Е.К. Мачинский, И.С. Финигонов** // Нефтепромысловое дело. - 1961. - № 2. - С. 13-15.
14. **Мачинский Е.К.** Исследование тампонажных цементов для глубоких скважин с большими забойными температурами и давлениями / **Е.К. Мачинский, И.С. Федулова** // Нефтепромысловое дело, 1961. - № 12. - С. 11-14.
15. **Криулин В.Н.** Использование отвального электротермофосфорного шлака / **В.Н. Криулин, Т.А. Федулова** // Цемент, 1987. - № 1. - С. 18.
16. **Зельцер П.Я.** Цементирование скважин цементо-золистыми тампонажными растворами / **П.Я. Зельцер, А.М. Бережной, И.С. Илованский** // Серия "Бурение": РНТС. - М.: ВНИИОЭНГ, 1971. - Вып. 6. - С. 10-12.
17. **Behsted John.** Oil Well cements / **John Behsted** // Cement and Ind. - 1983. - № 20. - P. 16-17.
18. **Nelson Erik B.** Portland cements characterized valuted / **Erik B. Nelson** // Oil and Gas Journal. - 1983. - № 6. - P. 81.
19. **Михайленко С.Г.** Оптимизация процессов цементирования скважин / **С.Г. Михайленко, А.С. Серяков, В.Н. Орловский** [и др.] // Техника и технология геологоразведочных работ, организация производства: О.И. - М.: ВИЭМС, 1988. - 26 с.
20. **Крых Б.В.** Повышение термостойкости тампонажных портландцементов добавками золы-уноса / **Б.В. Крых** // Термо- и солеустойчивые промывочные жидкости и тампонажные растворы: тезисы докладов первой украинской научно-техн. конференции: К.: Наукова думка, 1970. - Часть 1. - 168 с.
21. Применение топливных зол отходов ТЭС КАТЕКА в производстве в'язучих / **Киселев А.В., Аллилуева Е.И., Гальперина Т.Я.** [и др.] // Цемент. - 1988. - № 11. - С. 21-22.
22. **Макеев Ю.А.** Применение отходов горючих сланцев при производстве цемента / **Ю.А. Макеев, К.А. Вяжливцев** // Цемент. - 1989. - № 12. - С. 5.
23. **Дмитриев П.Н.** Подготовка к обжигу сырьевого компонента из золы отвалов ТЕЦ / **П.Н. Дмитриев, Л.С. Фрайман, К.А. Вежливцев** // Цемент, 1989. - № 12. - С. 7-8.
24. **Богомолов Б.Н.** Переход на двухкомпонентную сырьевую смесь с использованием золы ГРЕС / **Б.Н. Богомолов, В.И. Батраков** // Цемент. - 1990. - № 4. - С. 9-11.
25. **Дмитриев А.И.** Проблемы использования техногенных материалов при производстве цемента / **А.И. Дмитриев, В.Е. Каушанский** // Цемент. - 1988. - № 9. - С. 2-3.
26. **Караханиди С.Г.** Зола-унос ТЕЦ – активная минеральная добавка / **С.Г. Караханиди** // Цемент, 1987. - № 5. - С. 18-19.
27. **Высоцкий С.А.** Золосодержащие цементы и бетоны на их основе / **С.А. Высоцкий** // Цемент, 1989. - № 5. - С. 13–14.
28. **Боженев П.И.** Технология автоклавных материалов / **Боженев П.И.** – Л.: Стройиздат, 1978. – 367 с.
29. Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов / **[А.В. Волженский, Ю.С. Буров, Б.Н. Виноградов и др.]**. – М.: Стройиздат, 1969. – 392 с.
30. **Иванов И.А.** Легкие бетоны на основе зол электростанций / **Иванов И.А.** – М.: Изд. лит. по строительству, 1972. – 128 с.
31. Цементы автоклавного твердения и изделия на их основе / **[П.И. Боженев, В.И. Кавалерова, В.С. Сальникова и др.]**. – М.: Госстройиздат, 1963. – 200 с.
32. **Волженский А.В.** Минеральные вяжущие вещества / **Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С.** – М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.
33. **Calejja Jose.** Entorno a las cenizas volutasen los cementas en lashormigones, a la luz de um traba jopresenta doen el 7 Congreso Internacional de la guimica de ios cementas / **Jose Calejja** // Chem-hormigon, 1982. – № 582. – P. 53.
34. **Этнин З.Б.** О гидратации и твердении цементов с золой / **З.Б. Этнин, Е.Т. Яшина, Г.Г. Лепешенкова** // Шестой Международный конгресс по химии цемента: (сб. научн. трудов). – М.: Стройиздат, 1976. – Т. 3. – С. 95-99.
35. **Ковач Р.** Процессы гидратации и долговечность зольных цементов / **Р. Ковач** // Шестой Международный конгресс по химии цемента: (сб. научн. трудов). – М.: Стройиздат, 1976. – Т. 3. – С. 99 – 103.
36. **Люр Х.П.** Влияние гранулометрического состава зол с низкими потерями при прокаливании на рост прочности бетона / **Х.П. Люр, Я. Эфес** // Шестой Международный конгресс по химии цемента: (сб. научн. трудов). – М.: Стройиздат, 1976. – Т. 3. – С. 103 – 109.
37. **Шуберт П.** Сульфатостойкость цементного раствора, содержащего золу / **П. Шуберт** // Шестой Международный конгресс по химии цемента: (сб. научн. трудов). – М.: Стройиздат, 1976. – Т. 3. – С.109-112.
38. **Кобояси М.** Использование золы для повышения прочности глиноземистого цемента в длительные сроки твердения / **М. Кобояси, Н. Мияке, М. Кокобу** // Шестой Международный конгресс по химии цемента: (сб. научн. трудов). - М.: Стройиздат, 1976. - Т. 3. - С. 119-122.
39. **Кокобу М.** Цементы с добавлением золы / **М. Кокобу, Д. Ямада** // Шестой Международный конгресс по химии цемента: (сб. научн. трудов). - М.: Стройиздат, 1976. - Т. 3. - С. 112 – 115.
40. Эффективные зольные цементы на основе летучих зол твердых топлив / **В.Х. Кикас, Э.И. Пиксарв, А.А. Хайн** [и др.] // Шестой Международный конгресс по химии цемента: (сб. научн. трудов). - М.: Стройиздат, 1976. – Т. 3. - С. 115-117.
41. **Галибина Е.А.** Роль шлакового стекла в гидравлической активности сланцевых зол / **Е.А. Галибина** // Шестой Международный конгресс по химии цемента: (сб. научн. трудов). – М.: Стройиздат, 1976. - Т. 3. - С. 117-119.
42. **Заславская С.А.** К вопросу оценки попутных продуктов для промышленности автоклавных материалов / **С.А. Заславская** // Строительные материалы из попутных продуктов промышленности: (сб. научн. трудов ЛИСИ). – Л., 1973. – Вып. 85. – С. 19-25.

Рукопис подано до редакції 14.04.15

**ТОНКЕ ГРОХОЧЕННЯ ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ МЕТОД
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗБАГАЧЕННЯ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ**

Розглядається можливість отримання високоякісного концентрату при збагаченні магнетитових кварцитів поточного видобутку Північного Криворізького ГЗК по вдосконаленій технології їх переробки. На підставі проведення досліджень запропоновано вдосконалену технологічну схему збагачення з впровадженням операції тонкого грохочення. Для отримання високоякісного концентрату головним завданням є підвищення ефективності збагачення магнетитових кварцитів, розробка нових раціональних або вдосконалення існуючих технологій збагачення магнетитових руд із застосуванням тонкого грохочення. Технічний прогрес в конструктивних вирішеннях сучасних грохотів, а також розробка зносостійких сіток, що не забиваються, зробили застосування тонкого грохочення в технологічних схемах збагачувальних фабрик економічно доцільним. У результаті детального аналізу обладнання для тонкого грохочення, яке пропонують як закордонні, так і вітчизняні компанії, був визначений як найбільш оптимальний варіант застосування високочастотного грохоту розробки корпорації Derrick моделі «Стек Сайзер». Згідно з результатами проведених досліджень на рудах поточного видобутку Північного Криворізького ГЗК при повному впровадженні операції тонкого грохочення на грохотах StackSizer розробки корпорації Derrick можливий випуск високоякісного та конкурентоспроможного на залізничному ринку концентрату з вмістом заліза більше 67 %.

Проблема та її зв'язок з науковим та практичним завданням. Для промисловості чорної металургії країн світу характерно постійне збільшення обсягів видобутку і збагачення магнетитових руд. При цьому з одного боку, масова частка заліза в рудах, що добуваються постійно знижується, але з іншого, боку підвищуються вимоги якості залізних концентратів.

Зменшення масової частки заліза в видобутої руди пов'язано з залученням в переробку більшої частки магнетитових руд з дисперсною і вельми тонкою рудною вкрапленістю. Для компенсації погіршення якості руди на фабриках ускладнюються технологічні схеми подрібнення і збагачення. В основному це пов'язано зі збільшенням тонини помелу готових продуктів, що приводить до зростання витрат на подрібнення, частка яких досягає 30 % від загальних витрат переділу збагачення.

Підвищення якості концентратів при збільшенні обсягів виробництва і частки видобутих важкозбагачуваних руд неможливо при наявних схемах збагачення і кількості обладнання.

Вирішувати цю проблему можна шляхом простого нарощування виробничих потужностей (екстенсивний шлях), що приведе до зростання собівартості продукції та зниження рентабельності виробництва. Але краще використовувати інтенсивний шлях, пов'язаний з впровадженням нових процесів і апаратів, технологічних рішень, що дозволить не тільки не знижувати економічні показники переділу збагачення, а й покращувати їх [1].

Аналіз досліджень і публікацій. Незважаючи на наявний досвід використання тонкого грохочення за кордоном («Хойт Лейку» (США), «Хілтон-Майнз» (Канада)), випробування грохотів в 70-х роках на Дніпровському ГЗК і їх промислової експлуатацію на Костомукшському ГЗК, широке випробування та впровадження грохотів на магнетито-збагачувальних фабриках почалося в ХХІ столітті. Це пов'язане з появою на ринку високопродуктивного вібраційного гідравлічного грохоту корпорації «Derrick».

Як відомо, грохочення - це процес класифікації частинок за їх геометричним розміром. Форма частинок і питома вага матеріалу, з якого вони складаються, можуть мати певне значення, але в набагато більшому ступені розділення залежить від розміру частинок.

Технічний прогрес в конструктивних вирішеннях сучасних грохотів, а також розробка зносостійких сіток, що не забиваються, зробили застосування тонкого грохочення в технологічних схемах збагачувальних фабрик економічно доцільним. У загальному випадку, говориться про тонке розсівання в діапазоні від 10 до 38 мкм (400 меш). Тонке грохочення, як правило, здійснюється з використанням високочастотної, низькоамплітудної вібрації сітки по лінійній (зворотно-поступальній) або еліптичній траєкторіях [2].

Застосування тонкого грохочення для підвищення якості магнетитового концентрату дозволяє отримати більш високі технологічні показники збагачення за рахунок виключення попадання великих легких бідних частинок у тонку фракцію, що відбувається при використанні гідр-

роциклонів [1]. Це особливо важливо в умовах зростання світових цін на енергоносії, збільшення вартості сировини і витрат в металургійному переділі, попиту на нові види сировини з низьким вмістом шкідливих домішок (металізовані окатиші та брикети) для прямого одержання сталі.

У даний час в Україні працюють 5 гірничо-збагачувальних комбінатів і гірничо-збагачувальний комплекс у складі ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» з переробки магнетитових кварцитів. Технологія тонкого грохочення була вперше випробувана на Дніпровському гірничо-збагачувальному комбінаті в 1972-73 рр. і показала можливість підвищення вмісту заліза в концентраті на 1,4 %. Але подальше практичне впровадження цього процесу стримувалося відсутністю надійних і ефективних грохотів, що забезпечують розділення по класах 0,05-0,07 мм з високою ефективністю. [3]

Постановка завдання. Підвищення якості магнетитових концентратів, пов'язане з впровадженням нових процесів, апаратів і технологічних рішень, що дозволить не тільки не знижувати економічні показники переділу збагачення, а й покращувати їх. [1]

У результаті детального аналізу обладнання для тонкого грохочення, яке пропонують як зарубіжні, так і вітчизняні компанії, фахівцями гірничо-переробної промисловості був визначений як найбільш оптимальний варіант застосування високочастотного грохоту розробки корпорації Derrick моделі «Стек Сайзер».

Високочастотний грохот «Стек Сайзер» складається з п'яти паралельно розташованих один над одним дек і призначений для розділення матеріалу за крупністю в операціях подрібнення і збагачення. Повномасштабні випробування, проведені корпорацією Derrick з різними матеріалами, показали, що один грохот «Стек Сайзер» замінює від двох до чотирьох грохотів моделі «Мультиживлення». Ніколи раніше один грохот не мав такої продуктивності при ефективності класифікації, що перевищує 60-70%, і при таких невеликих необхідних площах. Крім цього, даний грохот створює прямолінійний вібраційний рух матеріалу, замість еліптичного, найбільш часто використовуваного при грохоченні. [4]

Для отримання високоякісного концентрату головним завданням є підвищення ефективності збагачення магнетитових кварцитів за рахунок впровадження грохотів «Derrick» на підставі визначення параметрів процесу тонкого грохочення, розробка нових раціональних або вдосконалення існуючих технологій збагачення магнетитових руд із застосуванням тонкого грохочення.

Викладення матеріалу і результати. Для визначення можливості впровадження операції тонкого грохочення в технологію збагачення магнетитових кварцитів з використанням грохотів «Derrick» Stack Sizer™ були проведені дослідження на рудах ПівніГЗК поточного видобутку. В загальному випадку грохот має наступний вигляд (рис. 1).



Рис. 1. Грохот Stack Sizer™

Згідно з проведеними дослідженнями з'ясовано, що інтенсивне розкриття рудних зерен відбувається вже при крупності мінус 0,07 мм. Так, в проміжних продуктах збагачення у класі 0,071-0,044 мм кількість вільних зерен становить 50-65 %. У цих продуктах відмічено до 8-15 % зростків, а також близько 10 % бідних зростків. Основна частина бідних зростків у продуктах збагачення припадає на класи крупніше 0,07 мм. У тонких класах (-0,044 мм) практично в усіх проміжних продуктах збагачення вміст розкритих рудних зерен збільшується до 85-95 %, кількість зростків знижується у 3 рази.

Отже, для отримання концентрату з масовою часткою заліза більше 67 % потрібно розкриття рудних

зерен в крупності менше 0,044 мм.

На підставі проведених досліджень була вдосконалена існуюча технологічна схема збагачення магнетитових кварцитів (рис. 2) та включає наступні операції: подрібнення дробленої до 25-0 мм вихідної руди, магнітне збагачення (I стадія) зливу класифікатора, подрібнення магнітного продукту, знешламлення зливу гідроциклону з подальшим його магнітним збагаченням (II стадія), грохочення магнітного продукту по класу 0,063 мм, під решітний продукт знешламлюється і збагачується на магнітному сепараторі (III стадія). Надрешітний продукт подрібнюється, класифікується. Злив класифікатора повертається на магнітне збагачення у другу стадію.

У комплексі це дозволяє збільшити масову частку заліза в концентраті або знизити питомі витрати на переробку руди.

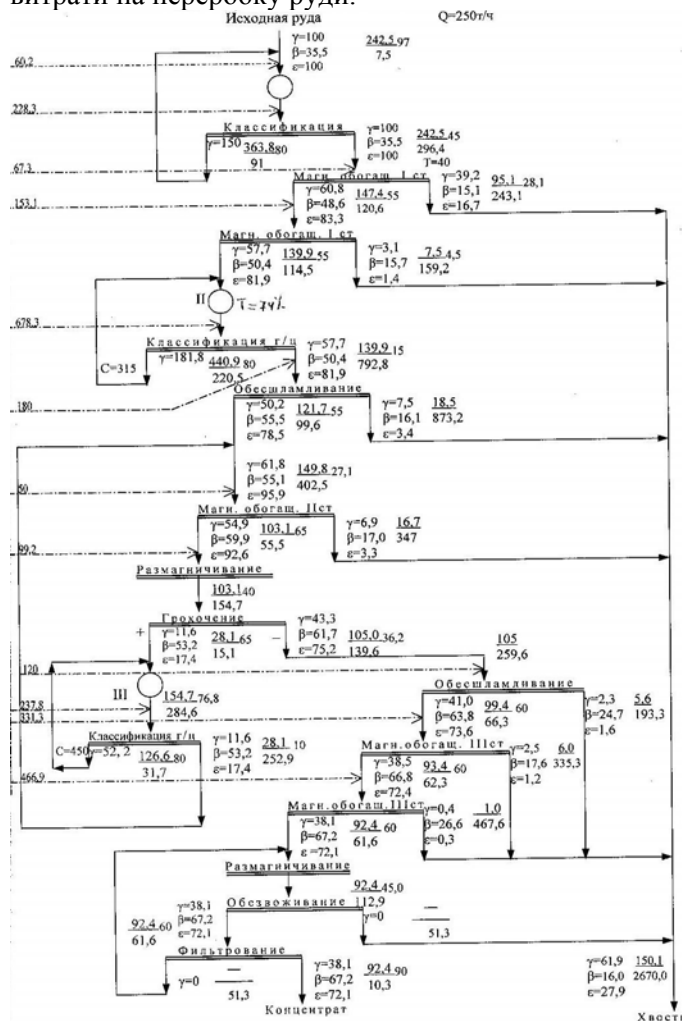


Рис. 2. Рекомендована технологічна схема

0,05 мм. При класифікації в гідроциклоні (діюча схема) основна частина розкритих зерен залишається в пісках подрібнюється і відповідно шламуються. Це збагачення магнетитових кварцитів ПівніГЗК з призводить до втрат рудних зерен при впровадженні операції тонкого грохочення, подальшій дешламації та магнітному збагаченні;

на третю стадію подрібнення надходить надрешітний продукт грохота, що складається, в основному, зі зростків. На діючій схемі на третю стадію подрібнення надходять піски гідроциклона, що містять розкриті рудні зерна;

перед грохоченням і фільтрацією передбачена операція розмагнічування, що дозволяє дефлокулювати продукти. Це, по-перше, збільшує ефективність грохочення, по-друге, звільняє захоплені нерудні зерна із флокул, а також покращує процес фільтрування;

для подрібнення руди рекомендовані кулі діаметром 100, 40 і 30 мм, відповідно по стадіям подрібнення замість 120, 60, 60 мм. Зниження крупності молотильних тіл сприяє покращенню процесу подрібнення, тобто збільшення виходу готового класу [5.]

Висновки та напрямок подальших досліджень. Технічний прогрес в конструктивних рішеннях сучасних грохотів, а також розробка зносостійких, тонких, аж до 100 мкм сіток, що не забиваються, зробили застосування тонкого грохочення в технологічних схемах збагачувальних фабрик економічно доцільним.

При проведенні досліджень грохот позитивно проявив себе і як збагачувальний апарат. За рахунок видалення бідних зростків в надрешітний продукт вміст заліза в підрешетному продукті підвищувався на 1-2 %.

Згідно з результатами проведених досліджень на рудах поточного видобутку ПівніГЗК при повному впровадженні операції тонкого грохочення на грохотах StackSizer розробки корпорації

За даною технологією отриманий концентрат містить 67,2 % заліза при вилученні - 72,1 %.

Вдосконалена схема відрізняється від діючої схеми ПівніГЗК наступними основними елементами:

операція класифікації в гідроциклоні передбачена після II і III стадій подрібнення (на діючій фабриці – перед подрібненням). Це обґрунтовано тим, що на діючій фабриці в злив разом з тонкими рудними й нерудними зернами залучаються великі зростки що потребують подрібнення. У даному випадку діє ефект розділення частин по гідравлічній крупності. Так, на фабриці ПівніГЗК у злив гідроциклона залучається до 12 % зростків. При подальшому магнітному збагаченні дані зростки зосереджуються, в основному, в магнітному продукті. Основна їх частка доходить до кінцевого концентрату разубожуючи його. Тому у виробленому ГЗК концентраті до 9 % зростків, а також 7 % нерудних мінералів;

рекомендовано магнітний продукт II стадії магнітного збагачення піддавати грохоченню по класу 0,063 % мм. Це пов'язано з тим, що продукт містить до 65 % розкритих рудних зерен, більша частка яких зосереджена у класі мінус

Derrick можливий випуск високоякісного та конкурентоспроможного на залізорудному ринку концентрату з вмістом заліза більше 67 %.

Список літератури

1. Пелевин А.Е. Научные основы процесса тонкого гидравлического вибрационного грохочения и разработка новых систем обогащения магнетитовых руд: дис. доктора техн. наук :25.00.13 / Пелевин Алексей Евгеньевич. – Екатеринбург, 2011. – 398 с.
2. <http://library.stroito.ru/articles/tgrohot/index.html>
3. Ширяев А.А. Применение тонкого грохочения для повышения качества железорудного концентрата на обогатительной фабрике горно-обогатительного комплекса «АрселорМиттал Кривой Рог» / А.А. Ширяев, Е.Н. Нескоромный, А.И. Мироненко, С.А. Самохина, С.С. Старых // Вісник КНУ. – Кривой Рог, 2013.
4. <http://www.mining-media.ru/ru/article/gorobor/1655-osvoenie-vysokochastotnogo-grokhota-korporatsii-derrick-na-oao-ssgpo>
5. Хміль І.В. Виробництво залізорудного концентрату в умовах РЗФ-1 ПАТ ПІВНІГЗК з впровадженням у технологію збагачення операції тонкого грохочення / І.В. Хміль, О.В. Булах, О.Л. Костючик // Гірничий вісник. - № 97 – Кривий Ріг: КНУ, 2014. – С. 226–231.
6. Эксперименты по проведению тонкого грохочения кварцевого песка высокого качества на высокоскоростных грохотах фирмы «Derrick», Aufbereitungs Technik., Mineral Processing № 9, 2002
7. И.П. Богданова, Е.Н. Рукасова, В.С. Маргулис. К вопросу повышения воспроизводимости технологических показателей при проектировании / Богданова И.П., Рукасова Е.Н., Маргулис В.С. // Обогащение руд черных металлов, 1975.
8. Получение концентратов с содержанием кремнезема менее 1% из магнетитовых кварцитов / П.К. Саворский, П.А. Гонтаренко, Л.А. Захарова, Б.М. Малый и др. В кн.: Особенности обогащения тонковкрапленных руд черных металлов. М., 1985. – с. 6-10.
9. Журавлев С.И., Смачная Э.М. Эффективность применения тонкого грохочения в схемах обогащения магнетитовых руд. «Обогащение руд черных металлов». М., Недра.
10. Опыт применения вибрационных грохотов корпорации «DERRIK» при обогащении железных руд., Веннер мл., Трапе Н., Лелис В.Ю. – Горный журнал, 2002г., №3. с.- 60-64.

Рукопис подано до редакції 14.04.15

УДК 622.7: 622.765.06

Т.А. ОЛІЙНИК, д-р техн. наук, професор, А.І. МАКАЧОВА, студентка
Криворізький національний університет

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ КОМПЛЕКСНОГО ЗБАГАЧЕННЯ БІОТИТ-ГРАНАТОВИХ ГНЕЙСІВ ЗАВАЛЛІВСЬКОГО РОДОВИЩА

Стаття присвячена проблемі комплексної переробки сировини Заваллівського родовища. Проведено аналіз розроблених та впроваджених технологій збагачення біотит-гранатових гнейсів, за якими виявлені переваги і недоліки розглянутих технологій збагачення графітових руд. У результаті дослідження обрана оптимальна схема збагачення біотит-гранатових гнейсів. Досліджено мінералогічний та хімічний склад досліджуваної проби біотит-гранатового гнейсу Заваллівського родовища. Досліджена можливість отримання готового концентрату за допомогою гравітаційного, мокрого і сухого магнітного збагачення. Встановлено оптимальну технологію переробки біотит-гранатового гнейсу, за якою отриманий гранатовий концентрат, що відповідає вимогам промисловості. Надано результати збагачення графітової руди за обраною схемою та при встановленому реагентному режимі.

Перероблення вивіреного біотит-гранатового гнейсу в лабораторних умовах, за схемою сухого магнітно-електричного збагачення, яка включала крупне, середнє та дрібне дроблення вихідного гнейсу до 1 мм, основну магнітну сепарацію в полі високої інтенсивності, перечищення в магнітному полі цієї ж напруженості промпродукту, основної сепарації і електросепарації об'єднаного концентрату магнітної сепарації забезпечило отримання гранатового концентрату з вмістом гранату 92,51 % та біотиту 1,70 % при вилученні гранату 91,72 %, кварц-польовошпатовий продукт з вмістом кварцу 63,44 % та оксидом заліза 9,76 % і біотит-кварц-польовошпатові хвости в кількості 8,51 %.

Ключові слова: збагачення, біотит-гранатові гнейси, концентрат,

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Гірничо-металургійний комплекс України експлуатується більш ніж п'ять століть. Родовища багатих руд практично виснажені. В зв'язку з цим, на сьогодні вельми актуальним є питання комплексного збагачення сировини українських родовищ. Адже практично всі види корисних копалин, містять декілька мінералів і тому технологія їх перероблення може розглядатися з позиції комплексного використання, тобто отримання не одного а декількох товарних продуктів. Комплексне збагачення

сировини забезпечить більш повне використання ресурсів, що в свою чергу вплине на рентабельність гірничо-металургійних підприємств.

Так, наприклад, в сировині Заваллівського родовища крім основного мінералу графіту, міститься гранат, кварц та польовий шпат, які представляють промисловий інтерес. Сьогодні Заваллівський комбінат випускає 25 видів графітової продукції. Залучення в переробку вкришних порід дозволить підвищити рентабельність роботи цього підприємства за рахунок отримання інших видів товарної продукції, а також покращити екологічне становище прилеглих територій. Тому розробка технології комплексного використання та збагачення сировини Заваллівського родовища є досить актуальним науково-практичним завданням.

Аналіз досліджень і публікацій. Для вирішення поставленого завдання наукового дослідження, розглянемо особливості технологій комплексного використання та збагачення сировини. Особливу увагу привернемо до технології отримання гранатового концентрату.

Типовою технологією супутнього отримання гранату з родовищ корисних копалин є переробка гранат-вмісних порід Іванівського родовища (Український щит), з якого видобувають граніт. Розкривні породи представлено біотит-гранатовими гнейсами з піроксеном та силіманітом. Сьогодні розроблено технологію переробки, що передбачає операцію подрібнення, класифікації, знешламлення, гравітаційне збагачення, мокру магнітну сепарацію, суху магнітну та електричну сепарацію яка дозволяє отримати гранатовий концентрат з вмістом гранату 96,5 % при вмісті гранату у вихідній руді 18,4 % [1].

Застосування тих чи інших методів збагачення з отриманням гранатового концентрату залежить від властивостей мінералів, які входять в склад збагачуваної сировини. Для вилучення безпосередньо гранату з сировини найчастіше використовують гравітаційний спосіб збагачення [2]. Він заснований на різниці щільності мінералів, які входять до складу руди. Тому гранат, як досить щільний мінерал, доцільно вилучати у важку фракцію за допомогою різних гравітаційних методів.

Прикладом комплексного використання сировини, з отриманням різних видів товарної продукції, є збагачення залізних руд. Так, при збагаченні залізних руд Північного району Криворізького басейну виявлено, що породи розкрити представлено гранатвмісними сланцями. Для їх перероблення запропоновано технологію збагачення вивітрених гранат-кварц-біотитових сланців гравітаційним методом без застосування води [3], яка передбачає двостадійне дроблення, класифікацію на п'ять фракцій: $-10,0 \div +3,0$ мм; $-3,0 \div +2,0$ мм; $-2,0 \div +1,0$ мм; $-1,0 \div +0,5$ мм; $-0,5 \div +0$ мм. Фракції $-10 \div +3$ мм $-0,5 \div +0$ мм видаляється з процесу, так як весь гранат в класі крупності $-10 \div +3$ мм знаходиться у нерозкритому стані, а з дрібного класу вилучення гранату без води неможливо. Фракції $-3,0 \div +2,0$ мм; $-2,0 \div +1,0$ мм; $-1,0 \div +0,5$ мм передбачено розділяти за допомогою концентраційного столу при різних кутах нахилу деки. Така технологія дає змогу отримати гранатові концентрати високої якості: 98,8 % для класу $-3,0 \div +2,0$ мм; 99,4 % для класу $-2,0 \div +1,0$ мм; та 98,0 % для класу $-1,0 \div +0,5$ мм при вмісті гранату у вихідних класах крупності відповідно 25,6; 50,7 та 31,0 %. Перевагою схеми є отримання концентратів високої якості без використання води. До недоліків слід віднести високі втрати гранату з розколом, який без використання води не піддається збагаченню.

Альтернативним варіантом є технологія з використанням не тільки гравітаційних методів, але магнітних та електричних, так як гранат відносять до парамагнетиків [4,5].

Так, для порід Ганнівського родовища розроблена технологія сухого збагачення гранатвміщуючої сировини, яка передбачала дроблення початкової сировини в гладковалковій дробарці до крупності 3-0 мм, збагачення в три стадії - пневмокласифікація, високоградієнтна магнітна сепарація та електростатична сепарація гранату. Перша стадія збагачення проводиться в пневмокласифікаторі, в результаті якої початковий матеріал знепилюється і з нього виділяється клас $-0,25$ мм, у якому практично не міститься гранат. Окрім цього виходять три гранатвміщуючі фракції, яка підлягала збагаченню кожна у своєму циклі. Так при вмісті гранату у початковій сировині 16 % були одержані три гранатові концентрати різної крупності $-3,0 \div +1,0$; $-1,0 \div +0,5$ і $-0,5 \div +0,25$ мм з вмістом корисного компоненту 98,75; 98,5 і 96,56 % відповідно [5].

Для сировини цього родовища запропонована схема збагачення у водному середовищі, яка включала двостадійне дроблення з наступним одностадійним подрібненням у відкритому циклі стрижневому млині до крупності $-3 \div +0$ мм. Подрібнений матеріал передбачено класифікувати

за граничним зерном 2,0 мм у зв'язку з тим, що фракція +2 мм характеризується низький вмістом гранату і її можна віднести до відходів збагачення. Матеріал крупністю -2÷+0 мм підлягає збагаченню за гравітаційно-магнітною технологією, що включає знешламлення, гравітаційне збагачення з використанням звужувального жолобу, концентраційного столу та магнітну сепарацію. Така технологія дозволяє отримати концентрат з вмістом гранату 94,6 % при його вмісті в вихідній сировині 20 % [6].

У цьому напрямку проведені також дослідження щодо комплексного використання сировини Ганнівського родовища, які направлено на переробку невивітрених гранат-вмісних сланців з метою отримання гранатових концентратів високої якості. Авторами [7] розроблено технологію збагачення породи з вмістом гранату 24,7 % з використанням двостадійного дроблення в щоккових дробарках, грохочення, знешламлення, основної магнітної сепарації з переочищенням магнітного продукту, гідралічної класифікації з розділенням на чотири фракції: -2,0÷+1,0 мм; -1,0÷+0,5 мм; -0,5÷+0,16 мм; -0,16÷+0 мм. Фракцію -2,0÷+1,0 мм передбачено направляти одразу на доведення, так як переважно весь матеріал представлено гранатом (93,5%). Фракцію -0,16÷+0 мм визначено видаляти з процесу, так як основна кількість часток не містить гранат (89,6 %). Фракції -1,0÷+0,5 мм та -0,5÷+0,16 мм передбачено збагачувати за допомогою концентраційного столу. Доведення важкого продукту до концентрату здійснювалося в дві стадії магнітної сепарації в слабкому і сильному магнітному полі. У результаті за такою технологією збагачення можливо отримати гранатовий концентрат з вмістом гранату 95,7 %. Недоліком даної технології є апаратурна складність схеми збагачення сировини.

Подальшим прикладом комплексного використання сировини є переробка порід розкриву Тербеостровського родовища гранату, що знаходиться на території Карелії, які представлено двома типами – кіаніт-гранат-біотитовими гнейсами та гранатовими жедрититами. Основним товарним продуктом при розробці родовища та збагачення сировини є гранатовий, супутніми концентратами – кіанітовий та польовошпатовий. Технологія збагачення руд з вмістом гранату у вихідній сировині 13,7 % включає дроблення в три стадії, грохочення за граничним зерном 0,5 мм, гравітаційне збагачення фракції -5÷+0,5 мм, доведення на магнітному сепараторі важкої фракції з вмісту гранату 78,6 до вмісту 82-86,1 % гранату. З хвостів цієї технології за допомогою флотації виділяють концентрати: кіанітовий з вмістом 80 % кіаніту та польовошпатовий - 76% польового шпату. Недоліком цієї технології є низький вміст гранату в концентраті, що не відповідає вимогам споживачів[8].

Комплексне використання надр добре простежується при аналізі технології, яка передбачає переробку відвалів Хігостровського родовища (Карелія) з видобутку червоного корунду. За цією технологією передбачається отримання гранатового концентрату з вмістом гранату 88,7 % з гранат-біотитових гнейсів відвалів (вміст гранату в сировині 14,7 %) за допомогою гравітаційного збагачення на концентраційному столі та електросепарації на коронному камерному електросепараторі. Технологія підготовки сировини передбачала дроблення, подрібнення в млинах самоподрібнення, грохочення з поверненням скрапу на подрібнення, класифікацію [9]. Недоліком технології є значні витрати електроенергії за рахунок великої кількості операцій переочищення при гравітаційній сепарації. Крім цього кінцевий концентрат містить досить високу кількість домішок. Тому для підвищення якості концентрату авторами технології було передбачено доведення чорного гранатового концентрату на повітряному чотирьохкамерному класифікаторі з 88,7 % до вмісту гранату 92,33 % [10]. Але при цьому одержують промпродукт з вмістом гранату 86,65 %, який не є товарним і потребує розробки рішень з знаходження ринку його використання. Цей факт є вадою, яка не дозволяє рекомендувати дану технологію як кінцеву.

Прикладом флотаційного збагачення гранату є вилучення його з золотовмісних руд Сінюхінського родовища. Так, хвости збагачення золотовмісних руд представлені волластонітом, гранатом, кальцитом та сульфідами. Волластоніт, гранат та кальцит можуть розглядатися як промислово важливі мінерали. Тому, була розроблена комплексна технологія збагачення хвостів цих руд, що містили 20,0 % кальциту, 30,0 % гранату та 40,0 % волластоніту за схемою, яка включала: сульфідну флотацію (для видалення сульфідного продукту в хвости), карбонатну флотацію з переочищенням для отримання кальцитового концентрату з вмістом кальциту 80,0 % при його вилученні в концентрат 85,0 %, та поліградієнтну сепарацію камерного продукту карбонатної флотації при напруженості магнітного поля 3500 кА/м, що дозволило одержати кон-

центрати: гранатовий з вмістом гранату 78,0 % при його вилученні 89,6 % та волластонітовий, з вмістом волластоніту 85,0 % при вилученні 96,3 % [11]. Ця технологія не отримала свого практичного використання, в зв'язку зі складністю технологічного оснащення схеми.

Стосовно Заваллівського родовища. Родовище представлене різновидами біотит-графітових та біотит-гранатовими гнейсами з пошарками кварцитів та карбонатних порід. Основним видобувним мінералом цього родовища є графіт, який отримують з біотит-графітових гнейсів. Але біотит-гранатові гнейси представлено не тільки графітом, але і гранатом, кварцом та польовими шпатами, що в значній мірі підвищує промисловий інтерес в зв'язку з можливістю отримання додаткової товарної продукції.

Постановка завдання. В роботі поставлена основна мета дослідження - розробка технології комплексного збагачення сировини Заваллівського родовища.

Викладення матеріалів та результати. Методика досліджень включала: вивчення речовинного складу вихідної проби, а також технологічних властивостей мінералів з яких складається порода. На дослідження поступила проба сильно вивіреного біотит-гранатового гнейсу Заваллівського родовища, яка переважно представлена порфіробластами гранату ізометричної форми розміром від 0,5-2 мм до 15-2 мм, а також лусочками біотиту, субпаралельного орієнтування, та невеликою кількістю графіту.

При вивченні речовинного складу та технологічних властивостей мінералів проб графітових і гранатових гнейсів було застосовано макроскопічний і мікроскопічні методи дослідження зразків кернавого матеріалу, шліфів і при-шліфовок, а також мономінеральних фракцій для визначення вмісту граната, біотиту та інших мінералів, термічний аналіз на установці УТА-1 з хромель-алюмелевою термопарою (час нагріву 15 хв. до 1000 С, еталон - проколений Al_2O_3), хімічний і спектральний аналізи графітових гнейсів і виділених з них мономінеральних фракцій. Гравітаційний аналіз виконувався послідовним розділенням мінералів в важких середовищах різної питомої ваги. Мокра магнітна сепарація проводилася на лабораторному валковому сепараторі типу АЕС-1 з нижнім подаванням руди при зазорі 3 мм, зі швидкістю обертання валків 45 об/хв. та напруженістю магнітного поля до 0,8 Тл. Перечищення концентрату мокрої магнітної сепарації проводилась на лабораторному концентраційному столі типу 30а-КЦ-1. Суха магнітна сепарація здійснювалася на електромагнітному сепараторі типу 229-СЕ конструкції інституту Механобр, електросепарація - на лабораторних електросепараторах типу ПС-1 та каскадному.

На підставі мікроскопічного вивчення біотит-гранатового гнейсу в шліфах визначено, що він має сланцювату текстуру, порфіробластову структуру з ліпідогранобластовою та нематоліпідогранобластовою структурою основної тканини.

Встановлено, що головними мінералами є: гранат (від 20 до 40 %), кварц (15-30 %), біотит (10-30 %), плагіоклаз (5-15 %), ортоклаз-пірит (до 20 %). Другорядні мінерали представлено графітом, вміст якого становить 1-5 % і сидеритом, який міститься зазвичай в незначній кількості.

Акцесорними мінералами є силіманіт, апатит, циркон, пірит, піротин, монацит, рутил, які зустрічаються в шліфах у вигляді одинарних зерен розміром до 0,2-0,3 мм. Іноді в шліфах відмічається скупчення зерен епідоту та ільменіту.

У результаті аналізу хімічного складу проби встановлено знижений вміст SiO_2 на 4,47 %, більш високий вміст Al_2O_3 на 2,1 % в порівнянні зі звичайними гнейсами. Слід відзначити в пробі порівняно високий вміст сірки 0,76 % та вуглецю 0,65 %, що обумовлено входженням в склад гнейсу графіту і сульфідів (піриту та піротину). Чітко виражена перевага калію у вмісті лугів, так як відношення K_2O/Na_2O дорівнює 2,01.

При виконанні спектрального аналізу у вихідній руді виявлено порівняно високий вміст нікелю, який складає в нормальних гнейсах в середньому $1,2 \cdot 10^{-3}$ %, а у вивченому гнейсі ділянки «Південно-Північний» воно досягає $8 \cdot 10^{-3}$ %, тобто близько до вмісту його елемента в графітовому гнейсі не утворюють підвищених концентрацій, а в порівнянні з графітовим гнейсом, який не піддався процесам вивітрюванням, в гранатовому гнейсі вміст більшості мікроелементів у 5-10 раз менше.

У результаті гравітаційного аналізу (рис. 1-2) встановлено, що при щільності середовища більше $3,5 \text{ т/м}^3$ з вихідної сировини, що містила 26,76 % гранату, можливо отримати сумарний гранатовий концентрат з вмістом гранату 92,34 % при його вилученні 96,4 % та вмістом біотиту

0,36 %. Аналіз результатів дозволяє зробити висновок, що гравітаційними методами збагачення на вузько класифікованому матеріалі може бути отримано кондиційний гранатовий концентрат з низьким вмістом біотиту і з малими втратами гранату.

У результаті мокрого магнітного збагачення при напруженості магнітного поля 0,8-1,1 Тл некласифікованої руди крупністю $-1\div+0$ мм отримано гранатовий концентрат з вмістом гранату 62-56 % при вилученні його 94-97 % (рис. 3). Але в цьому концентраті відмічено завеликий вміст біотиту 30-36%, у зв'язку з малою різницею питомої магнітної сприйнятливості гранату і біотиту.

Низький вміст гранату в концентраті магнітної сепарації обумовлено наявністю в ньому деякої кількості нерозкритих зростків польового шпату і кварцу з магнітними мінералами. Тому без вузької класифікації вихідного матеріалу перед магнітною сепарацією розділити ці два мінерали неможливо.

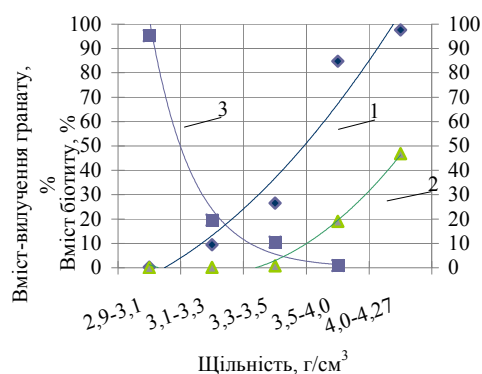


Рис. 1. Результати гравітаційного аналізу біотит-гранатового гнейсу для класу $-1\div+0,315$ мм: 1, 2 - вміст гранату; 3 - вміст біотиту

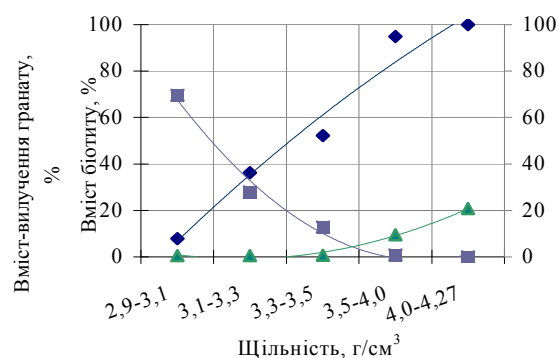


Рис. 2. Результати гравітаційного аналізу біотит-гранатового гнейсу для класу $-0,315\div+0,056$ мм: 1, 2 - вміст гранату; 3 - вміст біотиту

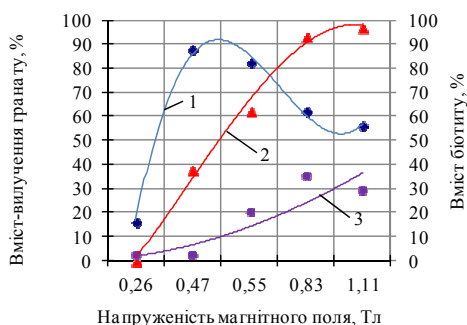


Рис. 3. Результати магнітного аналізу біотит-гранатового гнейсу: 1 - вміст гранату; 2 - вилучення гранату; 3 - вміст біотиту

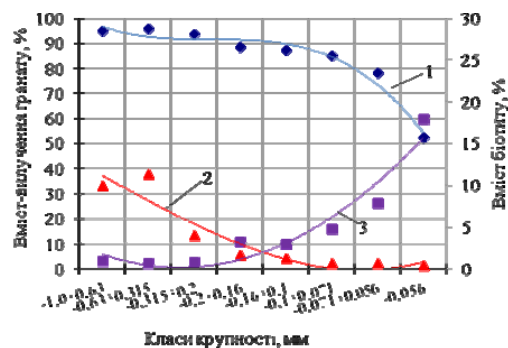


Рис. 4. Показники кінцевого гранатового концентрату: 1 - вміст гранату; 2 - вилучення гранату; 3 - вміст біотиту

Результати проведених в лабораторних умовах технологічних досліджень свідчать про те, що технологія збагачення біотит-гранатових гнейсів повинна включати як гравітаційні, так і магнітні методи.

На підставі отриманих результатів була розроблена магнітно-гравітаційна технологія перероблення цієї сировини, що включає: знешламлення вихідної руди за класом $-0,040$ мм, основну та контрольну мокру магнітну сепарацію і концентрацію на столі об'єднаного магнітного промпродукту магнітної сепарації з перевищенням на столі промпродукту основної концентрації. За цією технологією з вихідних гнейсів з вмістом гранату 28,42 % було отримано концентрат з вмістом гранату 91,22 %, при вилученні 83,32 % та вмістом біотиту в ньому 5 %, що суттєво перевищує вміст шкідливих домішок згідно вимогам до гранатових концентратів.

Альтернативним варіантом при проведенні досліджень були експерименти з перероблення гнейсів без застосування води, із застосуванням сухої електричної сепарації та магнітної сепарації в полі високої інтенсивності.

Збагачення біотит-гранатового гнейсу на електромагнітному сепараторі показало високу ефективність цих сепараторів на цій сировині за рахунок сумісної дії на матеріал магнітних, гравітаційних та інерційних сил. Дія цих сил призводить до утворення широкого віялу матеріалу, що сепарується, в верхній частині якого концентрується переважно гранат, в нижній - кварц та польовий шпат, а в середній біотит з кварцом, польовим шпатом і гранатом.

Застосування перевищення гранатового концентрату на електросепараторі дало змогу знизити вміст біотиту в концентраті до 1,7 %, що відповідає вимогам споживачів.

Перероблення вивіреного біотит-гранатового гнейсу в лабораторних умовах, за схемою сухого магнітно-електричного збагачення, яка включала крупне, середнє та дрібне дроблення вихідного гнейсу до 1 мм, основну магнітну сепарацію в полі високої інтенсивності, перевищення в магнітному полі цієї ж напруженості промпродукту, основної сепарації і електросепарацію об'єднаного концентрату магнітної сепарації забезпечило отримання гранатового концентрату з вмістом гранату 92,51 % та біотиту 1,70 % при вилученні гранату 91,72 %, кварц-польовошпатовий продукт з вмістом кварцу 63,44 % та оксидом заліза 9,76 % і біотит-кварц-польовошпатові хвости в кількості 8,51 %.

Слід відзначити, що кварц-польовошпатовий продукт може бути рекомендовано для отримання кварц-польовошпатових концентратів для скляної і керамічної промисловості після зниження вмісту окису заліза до 0,2-0,5 %.

Висновки і напрямки подальшого дослідження. У результаті виконаних досліджень: встановлено, що технологія комплексного збагачення для сировини Заваллівського родовища з застосуванням сухих методів має ефективність збагачення за Хенкоком-Луйкеном 89,6 % проти 71,1 % технології з застосуванням мокрих методів, тобто на 18,5 % більше. Тому для перероблення біотит-гранатових гнейсів Заваллівського родовища рекомендовано саме схему їх сухого магнітно-електричного збагачення.

Список літератури

1. **Мостыка Ю.С.** Кинетика магнитной сепарации и технология доводки гранатовых концентратов/ **Мостыка Ю.С., Мостыка Е.Н.** // Горный информационно-аналитический бюлетьень. М.: издательство «Горная книга». 2005.– №12. – С. 274-280.
2. Неметаллические ископаемые СССР, -Москва, 1941.
3. **Ковальчук Л.Н.** Минералогические закономерности гравитационного обогащения гранат-кварц-биотитовых сланцев Северного района Кривбасса (без применения воды) / **Ковальчук Л.Н., Евтехов В.Д.** // Геолого-мінералогічний вісник Криворізького технічного університету.– 1999.– №1.– С. 36-41.
4. **Ковальчук Л.Н.** Минералогическое обоснование процесса подготовки гранат-содержащих сланцев к обогащению/ **Ковальчук Л.Н., Евтехов В.Д.** // Відомості Академії гірничих наук України.– 1997.–№4.– С. 49-51.
5. **Кушнірук Н.В.** Обґрунтування параметрів магнітної електростатичної сепарації гранатвміщуючих сланців, – Кривий Ріг, 2006.
6. **Ковальчук Л.М.** Технологічна мінералогія гранат-вмісних сланців Ганнівського родовища Криворізького басейну, -Кривий Ріг, 2003.
7. **Ковальчук Л.Н.** Минералогия гравитационного обогащения гипергенно неизмененных гранат-содержащих сланцев Анновского месторождения (Криворожский бассейн) / **Ковальчук Л.Н., Евтехов В.Д., Дударь Л.Т.** // Геолого-мінералогічний вісник Криворізького технічного університету.– 2001.– №2.– С. 11-20.
8. **Щипцов В.В.** Гранатые руды северной Карелии, технологические подходы к их освоению и возможные области использования / **Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Каменева Е.Е., Савицкий А.И.** // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск. 2002. – Вып.5. – С. 82-94.
9. **Некрашев Г.Д.** Электросепарация граната// Изв. ВУЗов, - Горный журнал, 1963.– №6. – С. 189-194.
10. **Бельшев А.К.** Разработка технологии обогащения гранатосодержащего сырья/ **Бельшев А.К., Мясников Н.Ф., Ковердяев О.Н., Тарасов А.Н.** // Горный информационно-аналитический бюлетьень. М.: издательство «Горная книга». 2000.– №2.
11. **Брагина В.И.** Извлечение ценных минералов из хвостов обогащения/ **Брагина В.И., Коннова Н.И.** // Горный информационно-аналитический бюлетьень. М.: издательство «Горная книга». 2011.– №12.– С. 165-169.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ РУДИ І КОРИСНОЇ КОПАЛИНИ У РУДНІЙ СИРОВИНІ РУДНОГО ПОТОКУ

Виконано дослідження технологічних і структурних схем формування рудних потоків корисної копалини у рудній сировині і ідентифікація функцій елементів по їхньому відношенню до розглянутих типів елементарних перетворень, що дозволяє побудувати моделі формування (трансформації) якості руди і корисної копалини у рудній сировині. Визначена структура одиничного елемента рудного потоку корисної копалини у рудній сировині при генеральному і перспективному плануванні, що враховує схему розкриття і порядок відпрацювання родовища, покладу, рудного тіла або ділянки корисних копалин, горизонтів, поверхів, панелей, блоків. Доказано, що при поточному плануванні, структура одиничного елемента залежить від системи розробки, що застосовується, технології і організації доставки, транспортування, складування і відвантаження, а у ході виробничих процесів, відбувається часткове або повне злиття потоків руди і корисної копалини у рудній сировині, яка видобута з окремих очисних забоїв у єдиний потік руди і корисної копалини у рудній сировині. Розглянуто процес формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині з погляду теорії множин при якому все родовище, поклад, рудне тіло або ділянки корисних копалин розбивається на елементарні блоки відповідного об'єму, які характеризуються якістю руди і корисної копалини. Якісні характеристики родовища, покладу, рудного тіла або ділянки корисних копалин представлені у вигляді тимчасового динамічного ряду якості руди і корисної копалини у рудній сировині впорядкованого у просторі безліччю елементів. Викладений підхід розширює можливості методу прогнозування процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині в рудопотоках і дозволяє вірогідно оцінювати контрольовані якісні характеристики на періодах управління перевищуючи оперативні, істотно підвищуючи точність прогнозування.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. У процесі видобування з родовища, покладу, рудного тіла або ділянки корисних копалин якість руди і корисної копалини у рудній сировині послідовно приймає декілька форм існування. Серед яких виділяється сукупність елементарних перетворень, що переважно утворюють ту або іншу форму якості руди і корисної копалини у рудній сировині. Технологічні і структурні схеми формування рудних потоків корисної копалини у рудній сировині і ідентифікація функцій елементів по їхньому відношенню до розглянутих типів елементарних перетворень дозволяють побудувати моделі формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині. Рудний потік корисної копалини у рудній сировині, можна представити, як упорядковану в часі послідовність значень об'ємів спостереження з відповідною якістю руди і корисної копалини у рудній сировині, тобто як тимчасовий динамічний ряд якості руди і корисної копалини у рудній сировині.

Аналіз досліджень і публікацій. Відповідно до теорії [2-5,8], тимчасові динамічні ряди якості руди і корисної копалини у рудній сировині подібного типу є інтервальними. Складові рудного потоку корисної копалини у рудній сировині, часом існування яких є інтервали розбивки тимчасового динамічного ряду якості руди і корисної копалини у рудній сировині, є одиничними елементами рудного потоку корисної копалини. Вони характеризуються часом існування T_i (інтервал дискретності), об'ємом V_i і якістю руди і корисної копалини у рудній сировині C_i . Кожному одиничному елементу можна поставити у відповідність сукупність елементарних об'ємів V_j у балансових запасах надр з їхніми якісними характеристиками руди і корисної копалини у рудній сировині C_j . Виділення одиничного елемента рудного потоку руди і корисної копалини у рудній сировині є процедурою умовною і здійснюється відповідно до вимог споживачів руди і корисної копалини у рудній сировині на кожному періоді управління.

Постановка завдання. На стадії генерального планування одиничним елементом рудного потоку є потоки руди і корисної копалини у рудній сировині кар'єру кожного промислового типу (сорт) або ізольованого «сліпого рудного тіла», покладу або його ділянки з глибоких горизонтів шахти. Об'ємними і якісними характеристиками такого одиничного елемента є балансові запаси надр і якість руди і корисної копалини у рудній сировині кожного промислового типу або родовища, покладу, рудного тіла або ділянки корисних копалин, який відпрацьовують роздільно або переробляють по технологічних схемах, що принципово розрізняються.

Тимчасова довжина T_i одиничного елемента, визначається промисловими запасами руди і корисної копалини у рудній сировині даного типу V_i і продуктивністю Q_i гірничого підприємства по даному типу, тобто $T_i = V_i / Q_i$. При перспективному плануванні, з розбивкою на п'ятиріччя, а майбутнього п'ятиріччя по роках, об'ємні і якісні характеристики одиничних елементів руд-

ного потоку корисної копалини у рудній сировині відповідають об'єму і якості руди і корисної копалини у рудній сировині річного і п'ятирічного видобування. При поточному плануванні, коли річний план видобування розділяється по кварталах і місяцях, об'ємні і якісні характеристики одиничних елементів рудного потоку корисної копалини у рудній сировині відповідають об'єму і якості квартального або місячного видобування руди і корисної копалини у рудній сировині. При оперативному плануванні, характеристиками одиничних елементів є об'єм і якість декадного, добового і змінного видобування руди і корисної копалини у рудній сировині [1].

Викладення матеріалу та результати. Структура одиничного елемента рудного потоку корисної копалини у рудній сировині при генеральному і перспективному плануванні визначається схемою розкриття і порядком відпрацювання родовища, покладу, рудного тіла або ділянки корисних копалин, горизонтів, поверхів, панелей, блоків. При поточному плануванні, структура одиничного елемента залежить в основному від системи розробки, що застосовується, технології і організації доставки, транспортування, складування і відвантаження. Нарешті, структура одиничного елемента рудного потоку корисної копалини у рудній сировині при оперативному плануванні, визначається не тільки параметрами технологічних процесів, але і впливом організаційних факторів. Первинним джерелом неоднорідності якості руди і корисної копалини у рудній сировині є складна якісна структура родовища, покладу, рудного тіла або ділянки корисних копалин, який виражає просторову мінливість геологічних показників родовища, покладу, рудного тіла або ділянки корисних копалин, а при видобуванні ця просторова мінливість послідовно трансформується у тимчасову мінливість рудного потоку корисної копалини у рудній сировині. Направленість і глибина трансформації визначаються технологічним рівнем гірничого виробництва, який залежить від чисельних факторів, що обумовлені схемою підготовки і системою розробки, структурою комплексної механізації і організації гірничих робіт. У ході виробничих процесів, відбувається часткове або повне злиття потоків руди і корисної копалини у рудній сировині, яка видобута з окремих очисних забоїв у єдиний потік руди і корисної копалини у рудній сировині. Таким чином, якість видобутої руди і корисної копалини у рудній сировині, буде визначатися не тільки вихідною якістю одиничних рудних потоків корисної копалини, які сформовані у різних очисних блоках, але і тимчасовими характеристиками кожного процесу (елемента) єдиного технологічного ланцюга.

Розглянемо процес формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині з погляду теорії множин [8,10,12-14]. Все родовище, поклад, рудне тіло або ділянка корисних копалин розіб'ємо на N елементарних блоків об'ємом V_i , які характеризуються якістю руди і корисної копалини $C_i (i = 1, 2, \dots, N)$. Якісні характеристики родовища, покладу, рудного тіла або ділянки корисних копалин представлені у вигляді деякого тимчасового динамічного ряду якості руди і корисної копалини у рудній сировині впорядкованого у просторі безліччю елементів $S = (C_1, C_2, \dots, C_N)$. За весь період T експлуатації родовища, покладу, рудного тіла або ділянки корисних копалин, безліч елементів S перетворюються в результаті гірничих робіт у деяке впорядковане у часі безліччю елементів $W = (C'_1, C'_2, \dots, C'_N)$, які характеризують вихідний потік руди і корисної копалини у рудній сировині і над елементами безлічі S здійснюється в результаті діяльності кар'єру чи залізорудної шахти деяке функціональне перетворення

$$F : \begin{pmatrix} C_1, C_2, \dots, C_N \\ C_1, C_2, \dots, C_N \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Основним аналітичним апаратом для вивчення подібних перетворень є матриці. У розглянутій постановці процес формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині буде описуватися за допомогою матричного рівняння

$$C' = AC, \quad (2)$$

де C - матриця елементів C_i , що має один стовпець і N рядків; C' - матриця елементів C'_i , що має один стовпець і N рядків; A - квадратна матриця розміром $N \times N$.

Лінійне перетворення, яке описане за допомогою матриці A , представляємо як тимчасовий динамічний ряд послідовних елементарних перетворень, що пов'язані з виробничими процесами видобування руди і корисної копалини у рудній сировині. Якщо вихідним є безліч елементів

$S = (C_1, C_2, \dots, C_n)$, то для моменту часу, який відповідає відбійці руди і корисної копалини, перетворення матриці C полягає просто в перестановці елементів C_i

$$C'_f = U_f C, \quad (3)$$

або

$$\begin{pmatrix} C'_{f1} \\ C'_{f2} \\ \vdots \\ C'_{fk} \end{pmatrix} = U_f \cdot \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_N \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Матриця U_f є матриця перестановок, елементи якої дорівнюють нулю або одиниці. Впорядкування по рядках у матриці C'_f відповідають впорядкуванню у часі в момент відбійки руди і корисної копалини. При доставці, підземному транспортуванні, підйомі і поверхневому транспортуванні тимчасовий динамічний ряд якості руди і корисної копалини у рудній сировині C'_f може піддаватися подальшим перетворенням того ж типу. Відбувається тимчасове перемішування елементів C'_i , які відносяться до одного або різних одиночних потоків руди і корисної копалини у рудній сировині. Сумарний ефект описується добутком матриць одного типу

$$U_f = U_f^k \cdot U_f^{k-1} \dots U_f^1, \quad (5)$$

і має такий вигляд

$$U_g = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \dots & \alpha_k & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \alpha_1 & \alpha_2 & \dots & \alpha_k & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \alpha_1 & \alpha_2 & \dots & \vdots & \dots & \alpha_k \end{pmatrix} \begin{matrix} N \text{ рядків,} \\ k \end{matrix} \quad (6)$$

N -стовпців,

де $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$ - коефіцієнти зважування при акумуляції (додаванні); k - число акумулюючих елементів.

У найпростішому випадку, коли елементарні об'єми V_i однакові, всі α_i дорівнюють $1/N$, тобто додавання (акумуляція) є середнім арифметичним. У загальному випадку

$$\alpha_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^N V_i}. \quad (7)$$

Рівняння, яке описує процес акумуляції, має вигляд

$$C_g = U_g C_f = U_g U_f C. \quad (8)$$

Розподіл будемо описувати елементарним лінійним перетворенням, матриця якого має вигляд (4,6). З інших елементарних перетворень враховуються ті, які відбуваються в межах об'ємів V_i . До них відносяться змішування руди і корисної копалини у рудній сировині, яке виражається матрицею U_p , і класифікація, яка описана матрицею U_q . Розглянуті типи лінійних перетворень U_p, U_g, U_h, U_p, U_q дозволяють повністю описати процес формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині за тривалий проміжок часу як результат послідовних трансформацій зазначеного виду. У найпростішому випадку матриця A може мати вигляд

$$A = U_q U_p U_h U_g U_f, \quad (10)$$

а процес формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині буде описуватися матричним рівнянням

$$C' = U_q U_p U_h U_g U_f C. \quad (11)$$

Якщо об'єми V_i визнати неподільними, то можна обмежити загальну модель виразом

$$C' = U_h U_g U_f C. \quad (12)$$

У загальному випадку, число співмножників у поданні матриці A значно більше, однак, всі вони зведені до комбінації розглянутих вище елементарних перетворень.

У реальних умовах вихідний тимчасовий динамічний ряд якості руди і корисної копалини у рудній сировині C , а також матриці перетворення A володіють стохастичними властивостями.

Це приводить до того, що тимчасовий динамічний ряд якості руди і корисної копалини у рудній сировині, який описується матрицею C' , представляє собою випадкову послідовність, ймовірнісні властивості якої пов'язані з ймовірнісною природою розміщення геологічних показників балансових запасів у надрах і зі стохастичними властивостями матриці перетворення A .

Отже, ймовірнісні характеристики тимчасового динамічного ряду якості руди і корисної копалини у рудній сировині C' визначаються, з одного боку, властивостями вихідної якості руди і корисної копалини у рудній сировині C , а з іншого боку - структурою матриці перетворення A .

Взаємний вплив цих складових матриць на якість руди і корисної копалини у рудній сировині C' на різних періодах планування і видобування різних і пов'язаний в основному з вибором елементарних об'ємів V_i , для яких визначається якість C_i вихідного тимчасового динамічного ряду якості руди і корисної копалини у рудній сировині.

Аналіз матричного рівняння (4,6), дозволяє, обґрунтувати вибір методики оцінки якості руди і корисної копалини у рудній сировині на різних етапах планування.

З математичної точки зору, така оцінка, є вирішенням завдання умовного або безумовного прогнозування.

При генеральному плануванні (при проектуванні), об'єми одиничних елементів рудного потоку корисної копалини у рудній сировині, які відповідають елементам матриці C у рівнянні (4,6), порівнюються з об'ємами «сліпих рудних покладів» з глибоких горизонтів шахти або типів руди, які відпрацьовуються протягом тривалого часу.

Послідовність видобування балансових запасів цих об'ємів можна не враховувати, тоді матриця A набуває простого виду

$$C' = IC = C, \quad (13)$$

де I - одинична матриця.

Судячи з виду рівняння, завдання прогнозування якості руди і корисної копалини у рудній сировині, зводиться до оцінки якості руди і корисної копалини у балансових запасах надр, безпосередньо до визначення елементів матриці C .

Залежно від кількості розвідувальних даних, оцінка знайдена статистичними або геостатистичними методами [18-20]. Для перспективного планування матричне рівняння буде записане у вигляді

$$C' = U_j C, \quad (14)$$

де U_j - матриця перестановок, елементи якої задані перспективним планом розвитку гірничих робіт.

Оцінка членів тимчасового динамічного ряду C' проведена шляхом визначення якості руди і корисної копалини у балансових запасах надр, з урахуванням планованих перестановок об'ємів V_i . Вибір математичних методів визначення оцінки і її похибок залежить від кількості розвідувальних даних.

При поточному плануванні, коли параметри систем розробки і розподіл об'ємів видобування по забоях відомі, модель процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині, враховує процеси перестановки і акумуляції елементарних об'ємів рудних потоків корисної копалини у рудній сировині з різних забоїв. Матричне рівняння має вигляд

$$C' = U_g U_f C. \quad (15)$$

Матриця A при цьому буде задана аналітичною моделлю гірничих робіт. Оскільки, випадковими відхиленнями від нормативних параметрів гірничих робіт можна зневажити, матриця A стає детермінованою і носить явно виражений стохастичний характер, без обліку якого, умовне прогнозування втрачає смисл.

У цьому випадку, при оцінці C' використовуємо методи безумовного прогнозування, що базуються на моделях тимчасовий динамічний рядів якості руди і корисної копалини у рудній сировині.

Висновки та напрямки подальших досліджень. При плануванні, в процесі формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині беруть участь всі елементарні перетворення, все різноманіття факторів, вплив яких на тимчасовий динамічний ряд якості руди і корисної копалини у рудній сировині заздалегідь передбачити неможливо.

Отримані залежності будуть використовуватися для побудови агрегованих тимчасовий динамічний рядів процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині, якщо відомі характеристики вихідного основного ряду.

Викладений підхід розширює можливості методу прогнозування процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині в рудо потоках і дозволяє вірогідно оцінювати контрольовані якісні характеристики на періодах управління перевищуючи оперативні, істотно підвищуючи при цьому точність прогнозування.

Список літератури

1. Аврамов В.Е., Азбель Е.И., Ефремова Н.И. Планирование эксперимента и прогнозирование качества сырья на горных предприятиях. Новосибирск, Наука, 1979.
2. Арсеньев С.Я., Прудовский А.Д. Внутрикарьерное усреднение железных руд. М., Недра, 1980.
3. Бастан П.П., Азбель Е.И., Ключкин Е.И. Теория и практика усреднения руд. М., Недра, 1979.
4. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1. М., Мир, 1974.
5. Гудков В.М., Васильев В.М., Николаев К.П. Прогноз и планирование качества полезного ископаемого. М., Недра, 1976.
6. Добина А.С., Евстропов Н.А. Стандартизация продукции в горнодобывающей промышленности. М., изд. ВИСМ, 1978.
7. Измерение качества продукции. Вопросы квалитетрии. Под ред. А.В. Гличева. М., Стандарт, 1971.
8. Геометризація родовищ корисних копалин. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів за напрямом «Гірництво» / Сидоренко В.Д., Федоренко П.Й., Шолох М.В. та інші - Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2008. -367 с.
9. Инструкция по производству маркшейдерских работ. - М.: Недра, 1987. - 240 с.
10. Сидоренко В.Д., Федоренко П.Й., Шолох М.В. Автоматизация маркшейдерских работ: Навчальний посібник. -2-е вид., перероб. і доп. Кривий Ріг: Мінерал, 2006. - 344 с.
11. Baranowski M. Zastosowanie fotogrammetrii w miernictwie podziemnym / M. Baranowski // Prz. gorniczy. - 1974. - Vol. 30. - № 11. - P. 571-577.
12. Beyer C. Erfahrungen beim Abbau eines 9m mächtigen Kohlenpfeilers um eine Schachtröhre / C. Beyer. - Budapest, 1972. - 236 p.
13. Brinkmann E. Dauerstandsverhalten von Holzpfeilern / E. Brinkmann, F. Neveling // Glückauf-Forsch. - Vol. 30. - 1969. - P. 85-87.
14. Chambon C. Einfluß der gebauten Mächtigkeit und der Teufe auf die Strebkonvergenz / C. Chambon // Bergb. - Wiss.(13). -1966. - P. 153-160.
15. Chen C.T. Visible and ultraviolet optical properties of single-crystal and polycrystalline hematite measured by spectroscopic ellipsometry / C. T. Chen, B. D. Caban // J.Opt.Soc.Amer. - Vol. 7. - 1981. - 240 p.
16. Deeper open pits // International Mining. - № 10. - 2009. - P. 52-55.
17. Gorachard G. Dispersions-equation coefficients for the refractive index and birefringence of calcite and quartz crystals / Gorachard Ghosh // Opt.Comm. - Vol.163. - 1999. -P. 95-102.
18. Herzinger C.M. Ellipsometric determination of optical constants / C. M. Herzinger, B. Johs, McGahan and J. A. Woollan. - 1995. - 123 p.
19. Meier G. Erkundung und Verwahrung tagesnaher Holraum in Sachsen / G. Meier // Gluckauf. -1997. - P. 241-245.
20. Mie G. Beiträge zur Optik trüber Medich Special kolloidaler / G. Mie // Metalsösungen. Ann. Phys. - B. 25. - 1998. - P. 377-445.

В.А. СТРИХА^{*}, канд. техн. наук, доц.,
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне
С.О. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., М.О. НАУМОВА, студентка
Криворізький національний університет

АНАЛІЗ І УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ Й ІНФОРМАЦІЙНОГО СУПРОВОДУ ВИДОБУВАННЯ ТА ЗНЕВОДНЮВАННЯ ПАЛИВНОГО ТОРФУ

В умовах розвалу торф'яної галузі в Україні загострюються енергетичні проблеми. У цьому зв'язку все більш актуальним стає пошук усіх доступних паливних джерел. Це обумовлює повернення інтересу до торфу як до палива. Тому виникла необхідність в інвентаризації торф'яного фонду, а також в оцінці сучасного стану торф'яних ресурсів та перспектив розвитку галузі в регіонах. Для структурування такої інформації створюються геоінформаційні бази даних. При їх розробці виконується систематизація торф'яного фонду, створюються електронні інтерактивні карти торф'яних родовищ у форматі ГІС, формується банк даних підприємств - можливих споживачів торф'яної продукції, розробляється приблизна схема територіального розвитку галузі, виділяються перспективні для видобутку торфу родовища по районах області. Бази даних - призначені для обліку, оцінки й оперативного інформування користувачів про стан торф'яних ресурсів і можуть застосовуватися у виробничій діяльності підприємств у сфері надрокористування, торфовидобутку і торфопереробки, при економічній оцінці варіантів використання торф'яних ресурсів та оцінці екологічного збитку. Наведено дані про експериментальні дослідження зневоднення фрезерного торфу і результатах цих експериментів. Обґрунтовано оптимальні умови сушіння торфу і відповідні їм технологічні рішення. Визначено напрямки подальших досліджень.

Ключові слова: геоінформаційні технології, бази даних, торф'яні ресурси, аналіз, зневоднення, валкування, шари торфу.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Для майже повністю енергозалежної України, питання пошуку енергетичної перспективи й альтернатив нафтогазовій дійсності набуває виняткової актуальності. Так, Україна - багата на вугілля, але стан вугільної промисловості та її сировинної бази - катастрофічні буквально. Тому настав час самим серйозним чином звернути увагу на ще один ресурс нашої країни - торф, який тут з давніх часів традиційно використовувався, а потім - з початком фатального для України нафтогазового буму, коли Україна була багата самою високоякісною нафтою, був майже зовсім забутий. Україна - найпівденніша країна Європи, в якій торфові ресурси ще мають промислове значення. Геологічні запаси цієї корисної копалини складають 2,17 млрд т, сумарна площа торфових родовищ сягає 1 млн га, а в межах промислової глибини - 642 тис. га [1].

Зараз, коли в усьому світі стрімко падають ціни на нафту і газ, гірникам треба відмежовуватися від злочинного популізму недолугих можновладців, чітко усвідомлюючи невідворотність зовсім невдовзі початку нового, вже екстремального, а головне – сталого й безкінечного (експоненціального) подорожчання вуглеводнів, враховуючи обсяги їх споживання й залишки в надрах. Тому видобуток торфу як палива і сировини для ряду галузей промисловості та сільського господарства стає вже по-справжньому актуальним, а відтак, готуватися до таких трансформацій треба заздалегідь і негайно, щоб не опинитися в убивчому цейтноті, не забуваючи, що це стосується специфічної і, що є особливо важливим в даному аспекті, - відновлюваної корисної копалини

Аналіз досліджень і публікацій. В останні роки, завдяки розвитку науки і техніки, з'явилися нові можливості для використання інноваційних технологій при оцінці торф'яних ресурсів. Так, сучасні геоінформаційні системи (ГІС) дозволяють створювати універсальні каталоги територіально прив'язаної інформації, в яких можна легко знайти необхідні відомості й обробити наявні матеріали математичними або статистичними способами [2,3]. Разом з тим, для умов України бракує повністю відповідних ГІС, що можна надолжити, принаймні до розробки власних систем, адаптацією запозичених на основі досліджень [4-9]. Збільшення обсягів видобутку торфу, підвищення ефективності діючих торфопідприємств й освоєння нових родовищ нерозривно пов'язане з удосконаленням і створенням нових технологій та устаткування, чому присвячено багато наукових праць як іноземних [10-12], так і вітчизняних [13-17] учених. Проте фактор надзвичайно високого вмісту українських торфів змушує шукати нові технологічні рішення їх видобутку й переробки, особливо енергетичних видів.

Постановка завдання. Виходячи з викладеного, можна зазначити, що: існуючі методи оцінки торф'яних ресурсів потребують удосконалення, яке пропонується шляхом створення відповідних ГІС; зневоднення підготовленої продуктивної маси є найбільш вразливою ланкою технологічного процесу видобування фрезерного торфу, тому її удосконалення є найбільш ефективним для покращання процесу в цілому.

Мета дослідження полягає в узгодженому вдосконаленні формування інформаційної бази і процесу виробництва фрезерного торфу шляхом модернізації операції його валкування в напрямку зменшення втрат готового продукту і підвищення його якості як сировини для одержання паливної продукції. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: визначити найголовніші чинники, які визначають перебіг технологічної операції валкування фрезерного торфу і зумовлюють втрати торфу та його зволоження; розробити якісно нову технологію та технічні засоби валкування фрезерного торфу, позбавлені головних недоліків існуючих.

Викладення матеріалу та результати. В останні роки, завдяки розвитку науки і техніки, з'явилися нові можливості для використання інноваційних технологій при оцінці торф'яних ресурсів. Так, сучасні геоінформаційні системи (ГІС) дозволяють створювати універсальні каталоги територіально прив'язаної інформації, в яких можна легко знайти необхідні відомості й обробити наявні матеріали математичними або статистичними способами. Тому для структурування даних про родовища, розробки плану територіального розвитку торф'яної галузі та оцінки її перспектив в регіоні необхідно розробити геоінформаційні бази даних. При їх створенні вирішуються: розробка бази даних по торф'яним ресурсам у форматі ГІС; створення схеми розподілу торф'яних родовищ за напрямками використання; формування банку даних можливих споживачів торф'яної продукції; розробка імовірної схеми територіального розвитку торф'яної галузі району, області [3].

Методика досліджень [2] включає роботи з виділення та систематизації фондових матеріалів, розробки електронних карт торф'яних родовищ в програмі Arc01B, уточнення місця розташування родовищ з використанням результатів дистанційного зондування земної поверхні. Для створення цифрової картографічної основи придатними є топографічні карти 1: 100000, 1: 200000 й дрібного масштабу, звіти геологічних вишукувань і звіти про НДР.

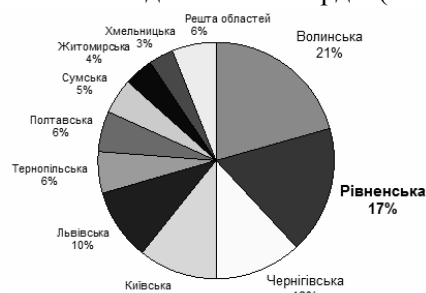
На першому етапі перспективи розвитку торф'яного напрямку в економіці регіону доцільно розглядати на прикладі одного з найбільш фінансово забезпечених районів. Аналіз торф'яних ресурсів району дозволяє виявити кількість торф'яних родовищ, загальну їх площу і запаси торфу певної вологості; частку детально і прогнозно розвіданих торф'яних ресурсів. У ГІС-моделі району відображаються: категорія розвідки торф'яних родовищ, запаси і ресурси торфу, тип покладів, наявність підготовлених до експлуатації площ, напрям використання й ін. Крім того, вказуються межі сільських поселень, інфраструктура (дороги, залізничні станції) і підприємства району із зазначенням можливих напрямів використання торфу.

На другому етапі за аналогічною схемою розробляється база даних «Торф'яні ресурси області». При цьому систематизуються дані по торф'яним ресурсам області, позначаються перспективні для освоєння родовища, виконується детальна характеристика їх запасів і напрямів використання сировини.

Застосування адаптованої до умов України методики [2] дозволяє узагальнену геоінформаційну базу даних торф'яників перетворити в адекватну задачам моделювання їх освоєння, приймаючи за основу наступне.

Найбільші ресурси торфу зосереджені на Поліссі: у Волинській, Рівненській і Чернігівській областях. На цих територіях виявлено і розвідано 1038 родовищ (36% всіх родовищ України), їх запаси складають 1.07 млрд т (50% запасів торфу і сапропелю України) (рис. 1).

Рис. 1. Розподіл геологічних запасів торфу областями України [7]



Первинною одиницею класифікації є вид торфу. На даний час виявлено 150 видів торфу, з яких 65 - низинних, 41 - перехідних, 44 - верхових. Усі види об'єднуються в 6 груп - деревна, деревно-трав'яна, деревно-мохова, трав'яна, трав'яно-мохова, мохова. Ці шість груп об'єднано в три підтипи - лісовий, лісо-драговинний, трясовинний. А підтипи утворюють 4 типи торфових покладів - низинний, верховий, перехідний і змішаний.

Торфові родовища верхового типу розповсюджені тільки в Західно-Поліському торфовому районі та в Карпатах. Основні запаси верхового торфу виявлено на родовищах Рівненської області [2]. За умовами утворення і накопичення торфу, тобто за типами покладу, торфові родовища і запаси торфу в Україні розподіляються так [9], (табл. 1):

Заторфованість території є одним з найважливіших показників. Вона характеризує не тільки питому вагу покритої торфом площі, а й відносну величину запасів торфу, які зустрічаються і поширюються, а отже - відносне багатство торфом. І якщо заторфованість території України не перевищує 1,7 %, то цей показник для Волинської, Рівненської і Чернігівської областей складає відповідно 8,25; 9,30; та 3,72 %, а в поліських районах цих областей і Житомирщини сягає 15 % [9].

Таблиця 1

Розподіл запасів торфу за типами покладу

Тип покладів	Кількість родовищ	Площа, га	Запаси та прогнозні ресурси, млн. т	Запаси та прогнозні ресурси, %
Низинний	2397	608421	2083.1	96.0
Верховий	57	14221	37.9	1.8
Змішаний	9	4150	13.5	0.6
Перехідний	38	12583	34.5	1.6
По Україні	2501	639375	2169.0	100

Головною задачею даних досліджень є теоретичне й експериментальне обґрунтування та розробка якісно нової технології валкування фрезерного торфу, позбавленої головних недоліків існуючої. Міркування щодо теоретичної обґрунтованості й перспективності двоопераційного пошарового валкування розстилу фрезерного торфу базуються на умоглядному припущенні про подібність процесів тепломасопереносу, що відбуваються в розстил і в валку. Це припущення потребує певної перевірки, яка й стала основною метою лабораторних досліджень.

Моделювання в камері штучного клімату процесів сушіння розстилу торфу і сформованих з нього різними способами валків дозволяє значно впевненіше відповісти на запитання стосовно ефективності пошарового формування валка, дати кількісну оцінку інтенсифікації видалення води з торфу, спрогнозувати найбільш доцільні часові межі виконання операції валкування за запропонованою методикою.

Експериментальні дослідження пошарового валкування в умовах діючого виробництва дозволяють аргументовано підійти до конструктивних рішень механізму (валкувача), що реалізує запропоновану технологію валкування фрезерного торфу, перевірити ефективність запропонованих ідей у реальних умовах, розробити рекомендації щодо використання удосконаленої системи валкування на торфових підприємствах, які видобувають фрезерний торф для брикетування.

Нижче наведено найбільш вагомий результати експериментів, проведених як у лабораторії Національного університету водного господарства та природокористування, так і на сировинній базі дочірнього підприємства «Смигаторф», яке є одним з флагманів торфобрикетного виробництва в Україні.

Лабораторні дослідження процесу видалення вологи з фрезерного торфу здійснювались в камері штучного клімату, устрій якої наведено на рис. 2.

Задавались та фіксувались наступні метеорологічні параметри: температура повітря t ; психрометрична різниця Δt ; швидкість повітряного потоку V ; випаровуваність i_6 ; відносна вологість повітря ϕ .

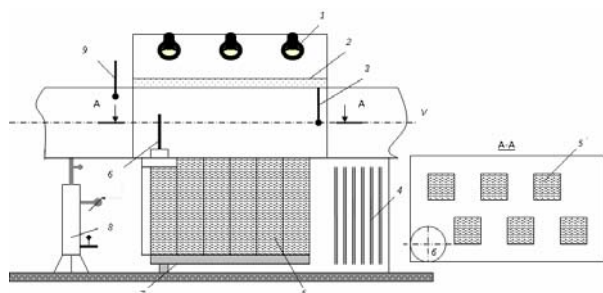


Рис. 2. Схема камери штучного клімату: 1 - лампи інфрачервоного випромінювання; 2 - матовий екран; 3, 9 - термометри; 4 - п'єзометри; 5 - моноліти торфу; 6 - випаровувач; 7 - візок; 8 - парова установка

Конструкція камери штучного клімату передбачає можливість збільшення останнього показника шляхом зволоження повітря водною парою, яку виробляє спеціальна установка з трьома форсунками.

Область варіювання кожного параметру обиралась з урахуванням реальних діапазонів коливань значень температури, швидкості вітру, відносної вологості повітря протягом сезону ви-

добування фрезерного торфу в кліматичних умовах України, конкретно - півдня Рівненщини, де розташована сировинна база підприємства «Смигаторф».

Усі рівняння кінетики видалення води з валка торфу є справедливими для описання процесу сушіння сфрезерованої торфової крихти у двошаровому валку. Різниця полягає у непостійності товщини першого, «сухого» шару, величина якої зростає від краю до центра валка (рис. 3).

Товщина шару сухого торфу h_i зростає від краю валка до його середини з такою закономірністю: $h_i = b_i \cdot \sin \varphi$, де φ - кут відкосу бічної стінки валка сухого торфу. Вважаючи товщину про-шарку сухого торфу по всьому перерізу валка достатньо вираженою для створення своєрідної гідроізоляції поверхневого шару торфу від зволоження знизу, одержуємо додаткові підстави для обґрунтування більш досконалої методики формування валка.

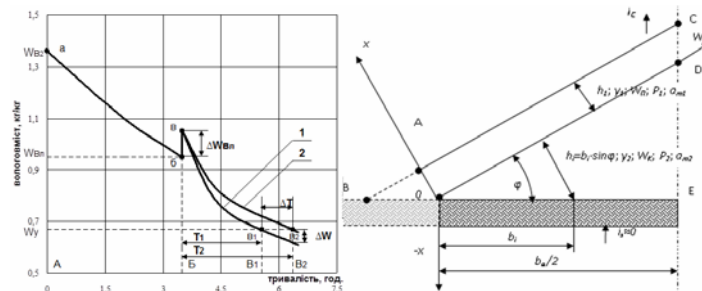


Рис. 3. Залежність вологовмісту фрезерного торфу від тривалості сушіння (ліворуч): 1 - пошаровий валок; 2 - звичайний валок (температура повітря 28°C, швидкість - 1,0 м/с; відносна вологість - 35%, випаровуваність - 0,68 кг/м²·год); Розрахункова схема (праворуч) сушіння торфової крихти у двошаровому валку (W - вологовміст)

тервал часу між другим ворухінням і валкуванням суттєво впливає на тривалість досягнення торфом встановлених значень кінцевої вологості та вологовмісту (відповідно 40 % та 0,67 кг/кг). На рис. 4 показано криві сушіння торфу в валку, сформованому: безпосередньо після другого ворухіння (див. рис. 4а) через 2, 4, 6 годин після другого ворухіння (див. рис. 4б,в,г).

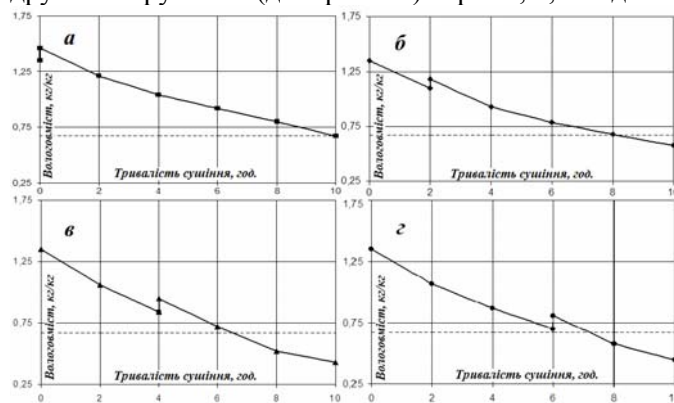


Рис. 4. Криві експериментального сушіння торфу в валку: а - сформованому безпосередньо після другого ворухіння; б,в,г, - в пошаровому валку, сформованому, відповідно, через 2, 4, 6 годин після другого ворухіння

Потрібно наголосити, що в першому досліді (див. рис. 4а) формувати валок шляхом пошарового валкування не мало сенсу, оскільки внаслідок щойно виконаного ворухіння вологість частинок торфу в нижньому і верхньому шарах розстилу практично вирівнювалась. Тому крива сушіння ілюструє процес досушування торфу у звичайному (не пошаровому) валку. Тому не дивно, що встановлений кінцевий вологовміст торфу (показаний пунктирною лінією) досягається через найбільш тривалий час - 10 годин.

Двогодинний інтервал між другим ворухінням і валкуванням виявився достатнім для підсушування торфу в розстилі та утворення помітної різниці між вологовмістом верхнього і нижнього шарів. Це дозволило сформувати повноцінний двошаровий валок, який інтенсифікує видалення води настільки, що встановлене значення кінцевого вологовмісту досягається через вісім годин, тобто на дві години раніше, ніж у першому досліді. На підставі викладеного можна сформулювати принципи формування валка, які дозволяють підвищити ефективність виробництва фрезерного торфу.

1. *Принцип повноти збирання торфокрихти з розстилу у валок* передбачає мінімізацію втрат торфу у виробничому процесі. Більш повне збирання сфрезерованого і висушеного торфу з розстилу у валок може досягатися шляхом повторного валкуючого впливу на ті частинки, які не потрапили до валка в процесі основного валкування і, фактично, є втраченими. Зрозуміло, що ці частинки торфу є більш вологими, ніж ті, що знаходилися у верхньому шарі розстилу. Крім цього, в процесі повторного валкування зростає вірогідність підфрезерування вологої поверхні покладу елементами відвалу валкувача з наступним потраплянням частинок вологого торфу в валок. Як свідчать викладені вище результати досліджень, належних умов для сушіння частинок в валку бути не може через значні його розміри. Для запобігання погіршенню якості фрезерного торфу через зростання середньої вологості торфу в валку необхідно сформулювати такий принцип.

2. *Принцип оптимізації умов для прискореного досихання вологих частинок торфу в валку* може бути реалізований шляхом розміщення вологих частинок у верхній шар валка фрезерного торфу, який найбільшою мірою перебуває під впливом сонячної радіації, руху повітря і має найкращі умови для сушіння.

Гармонійне поєднання обох принципів дозволяє забезпечувати максимально повне збирання частинок торфу з розстилу в валок, не тільки не погіршуючи якість фрезерного торфу, а, навпаки, знижуючи його вологість. В кінцевому підсумку це дає змогу збільшити циклові і сезонні збори торфу при покращенні його якості як палива.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Перебуваючі в розробці геоінформаційні бази даних на сьогодні акумулюють відомості про торф'яні родовища конкретно Рівненської області. Практичне застосування таких ГІС стане доцільним при територіальному плануванні економічного розвитку на рівні регіону, районів та муніципальних утворень. Вони призначені для обліку, оцінки й оперативного інформування користувачів про стан торф'яних ресурсів області, і можуть бути корисними у виробничій діяльності підприємств у сфері надрокористування, торфовидобутку і торфопереробки, для дослідників та інвесторів, при економічній оцінці варіантів використання торф'яних ресурсів та оцінці екологічного збитку.

Стосовно дослідження технологічних чинників, загалом установлено, що у валках, після певного періоду, зневоднений поверхневий шар торфу, в міру висихання, починає усе інтенсивніше проявляти термоізолюючі властивості, перешкоджаючи випаровуванню вологи з підстиляючих шарів, нижній з яких починає сорбувати вологу з поверхні покладу, будучи по суті своїй у цьому сенсі губкою. Тому авторами розгортаються подальші дослідження, засновані на ідеї поточного компресійного огрудкування торфу, суміщеного з процесом формування та ворущіння валків, що, як передбачається, забезпечить часткове видалення вологи з брикетів (пелетів) у процесі їх пресування спеціальним пристроєм, конструкція якого розробляється, й одночасно забезпечить добру вентиляцію огрудкованої маси за рахунок утворених в ній сполучених порожнин, знизить екрануючий ефект з ліквідацією розпушеного торфу верхнього шару, а ущільнені окремість нижнього шару, маючи меншу площу контакту з поверхнею покладу і високу щільність, мінімізують сорбування вологи з останньої.

Список літератури

1. Аналіз стану сировинної бази торфу і сапропелю України в 1991-1995 роках. Торф. Кн.1. Аналіз стану сировинної бази торфу. Пояснювальна записка. Держ. комітет України по геології та використанню надр, Держ. інформаційний геологічний фонд України „Геоінформ” – К.: 1996.
2. Харанжевская Ю.А. Применение инновационных технологий для оценки современного состояния и систематизации данных по торфяным месторождениям Томской области // Достижения науки и техники АПК. Вып. № 5/2012. - М.: Редакция журнала "Достижения науки и техники АПК", 2012. - С. 77-78.
3. <http://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-innovatsionnyh-tehnologiy-dlya-otsenki-sovremennogo-sostoyaniya-i-sistematizatsii-dannyh-po-torfyanyim-mestorozhdeniyam>
4. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / Ковалко М.П., Денисюк С.П.; Відпов. ред. Шидловський А.К. - К.: УЕЗ, 1998. – 506 с.
5. Аналіз стану сировинної бази торфу і сапропелю України в 1991-1995 роках. Торф. Кн.1. Аналіз стану сировинної бази торфу. Пояснювальна записка. Держ. комітет України по геології та використанню надр, Держ. інформаційний геологічний фонд України „Геоінформ” – К., 1996.
6. Торф фрезерный для производства брикетов. Технические условия. ДСТ Украины 2043-92. –К.: Госстандарт Украины, - 3 с.
7. V. Hnyeushev. Peat in the Ukraine: Reflections on the Threshold of a New Millennium / "Peatland international", Finland, 2000, № 1. -С. 54-57.
8. Аналіз стану мінерально-сировинної бази України, облік родовищ і складання Державних балансів запасів торфу і сапропелю станом на 01.01.2003–2005 років/звіт про науково-дослідну роботу. Державне науково-виробниче підприємство Державний інформаційний геологічний фонд України “Геоінформ України”. - К., 2005. - 47 с.
9. Гнеушев В.О. Торфові ресурси України і шляхи їх раціонального використання/Альтернативні та відновлювані джерела енергії. - Рівне, 2002. - С. 22-27.
10. Peat Production Machinery. Bord na Móna Peat Energy Division, 2001.
11. Manufacturer of machinery for peat moss industry. Les Équipements Tardif inc. Quebec, Canada, 2002.
12. A new generation of Ridgers to increase collection yield /Bord na Móna Progress, spring, 1995.
13. Булышко М.Г., Петровський Е.Е. Технология торфобрикетного производства. -М.: Недра, 1968. - 312 с.
14. Афанасьев А.Е. Исследование параметров технологического процесса добычи фрезерного торфа в тонких слоях на толстой аэрированной подложке // Торфяная промышленность, 1978. - № 4. – С. 15-22.
15. Бавтуто А.К. Повышение эффективности сушки торфяной крошки путем формирования расстила. Дис...канд.техн.наук. – Ровно: 1986. – 184 с.
16. Козаринов В.Ф. Методы и аппаратура для определения некоторых технологических показателей при добыче фрезерного торфа/Бюллетень научно-технической информации ВНИИТП. – Л.: 1958. – С.10-17.
17. Гнеушев В.А., Бавтуто А.К., Рыбак И.И., Стриха В.А. Интенсификация процесса производства фрезерного торфа скреперно-бункерным уборочным комплексом. Закл. отчет о научно-исслед. работе, № гос. регистр. - Ровно: УИИВХ, 1990. – 69 с.

Рукопис подано до редакції 14.04.15

ПИТАННЯ ПІСЛЯРЕМОНТНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГЛИБОКОПАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Асинхронний двигун, це найпоширеніша електрична машина у світі. Режим роботи та експлуатації різноманітні, в наших умовах виробництва не завжди сприятливі до довгострокової роботи машини. Також не завжди витримуються рекомендовані заводом виробником навантаження на машину. У зв'язку з цим багато машин виходять з ладу по різним причинам пов'язаних з експлуатацією. Завдяки такій розповсюдженості на наших підприємствах, багато з них мають власні майстерні з ремонту цих машин. Коли надходить асинхронний двигун до ремонту, не завжди машина проходить повну дефектацію, що призводить до того що, асинхронні двигуни з незначними внутрішніми ушкодженнями проходять повний цикл ремонту. Це призводить до значних матеріальних затрат. У даній статті проаналізовані основні види відмов глибокопазних асинхронних двигунів та способи їх виявлення та дефектації в умовах виробництва. Проаналізовано причини фактори, які впливають на надійність роботи, інтенсивність відказів післяремонтної експлуатації глибокопазного асинхронного двигуна. Дано рекомендації щодо ремонту глибокопазних асинхронних двигунів.

Якщо при цьому маємо достатню кількість станків та пристроїв для видалення і демонтажу обмоток із пазів, то це в дозволяє персоналу, з ухваленням інших причин, зберегти параметри згідно паспортних даних. В іншому разі видаляють обмотку методом «випалювання». Це погіршує екологію у цеху, знижується магнітна проникливість електротехнічної сталі і робочі параметри машин. Звичайно величина магнітної індукції для ЕМ у межах $B_0 = 12 \div 2$ Тл. Звідси струм навантаження номінальний по первинному паспорті може бути в два рази менше при зниженні магнітної індукції 30-50%. Тому при виконанні статора і ротора машин глибокопазних АД необхідна перевірка сталі, та її втрат при термічній обробці в процесі випалювання.

Ключові слова: електрична машина, асинхронний двигун, магнітна індукція, статор, ротор.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Сьогодні серед електро-механічних пристроїв особу групу складають асинхронні машини (АМ), які найчастіше виконуються з роздільними магнітопроводами та обмотками. Магнітна взаємодія первинної (статор) і вторинної (ротор) систем в значній мірі визначає відповідний варіант конструктивного виконання магнітопроводу цих систем.

Роторна обмотка у вигляді «біляча клітка» є однією з самих простих, надійних і дешевших. Цим пояснюється найбільше розповсюдження асинхронних двигунів (АД). При цьому, крім звичайної конструкції короткозамкненого (кз) ротора у вигляді «біляча клітка», широко використовуються різні модифікації АД з потужністю більш 100 кВт, які мають різні особливості. За способом виконання ротора вони діляться на багатоклітинні (звичайні двохклітинні), з глибокими пазами (глибокопазні), або з пазами розташованими у нижчій частині ротора. З усіх модифікацій можна виділити особливу групу до якої можна віднести АД великої потужності серії А4 і ДА304, ДА30 1910-12 з номінальною потужністю $P_n = 1700$ кВт, з колбоподібною формою паза ротора, які призначені для приводу механізму, які не потребують регулювання частоти обертання (димососи, насоси, вентилятори та ін.). Номінальна напруга АД основного виконання 6 кВ. Перетин стрижнів глибокопазного ротора може бути прямокутного перетину, колбоподібного, трапецеїдального, причому при трапецеїдальному профілю стрижня, пускові властивості двигуна зберігаються такими ж високими як і при прямокутній формі профіля.

Аналіз досліджень та публікацій. В останні роки, особливо для швидкохідних і потужних двигунів, обмотки з стрижнями колбоподібного і трапецеїдального профілю, рис. 1 [1].

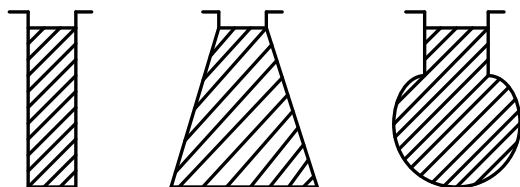


Рис. 1. Пази короткозамкнених АД з поліпшеними пусковими властивостями: а - прямокутного профілю; б - трапецеїдального профілю; в - колбоподібного профілю

При розробці моделей АД за каталожними даними враховували раніш тільки один фактор - «поверхневий ефект», тобто витискання струму в стрижнях обмотки ротора к поверхні. Це привело до похибок, при розрахунках двигунів з неповністю розкритими пазами або з напівзакритими пазами. Крім того, в електромашинах обов'язково треба враховувати вплив повітряного зазору. Магнітне поле всередині сталі ротора є складним, але через високу магнітну проникність сталі, його розподіл можливо дослідити тільки у повітряному зазорі, чи в безпосередній близькості від ньо-

го. Звідси теорія, насамперед, цікавиться процесами, які протікають у зазорі та навколо нього. У реальній машині провідники розташовані не в самому повітряному зазорі, а в пазах осердя ротора, який набирається з листів електротехнічної сталі з присутнім між полюсним простором.

Для теоретичного аналізу дійсні провідники замінюються еквівалентними, які розташовуються на поверхні ротора і припускається, що вони мають найменший перетин.

При цьому для типів АД з поліпшеними пусковими характеристиками, внаслідок використання глибокопазного ротора, необхідно враховувати явище витискання струму до поверхні, а також насичення сталі по шляхам основного потоку і потоку розсіювання (у напрямку до повітряного зазору зменшується ширина паза) [2,3]. Ці потоки розсіювання розташовані в пазах ротора, а не на поверхні. Крім цього ще є потік зубцевого розсіювання, який не проникає в глибоке осердя, щоб створити зчеплення з обмоткою розташованою в другій частині машини. Також слід звернути увагу на те, що обмотка створює гармонічні складові потоку, які перетинають повітряний зазор. Ці потоки створюють зчеплення з другою обмоткою, але не відносяться до головного потоку, який створений основною гармонікою поля. У рівняннях АД ця особливість не враховується в зв'язку з різною частотою в контурах електрорушійної сили. Електрорушійну силу, яка наводиться гармонікою потоку, може бути враховано тільки в обмотці, що створює даний потік. Потік розсіювання, зчеплений з даною обмоткою від дії гармонійної складової, еквівалентно зростає. Таке зростання потоку називають поясове розсіювання. Такі не враховані гармоніки можуть привести к значним неточностям у розрахунках, якщо машина невдалої конструкції. Вплив вищих гармонік на криві ЕРС і магніторушійних сил (МРС) можливо зменшити правильним вибором числа та розмірів пазів, скосу пазів, типу та кроку обмоток, або іншими відомими засобами. Це більш детально викладено в роботі [2].

Постановка задачі. Визначити ефективні та прості способи дефектації глибокопазних асинхронних двигунів в умовах виробництва.

Викладення матеріалу та результати. Зовнішні ознаки наявності обривів стержнів - підвищена вібрація і шум при роботі, що збільшуються із зростанням навантаження. Характерно, що шум і вібрація періодично змінюються з частотою, яка дорівнює подвоєній частоті ковзання.

Стрілки амперметрів, включених в коло живлення електродвигунів з обривами стержнів короткозамкнених обмоток роторів, коливаються через періодичні зміни ефективних значень струмів в фазах. Спосіб вимірювання струмів в обмотках статора, рис. 2.

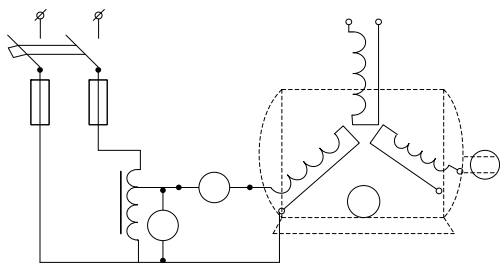


Рис. 2. Схема для визначення обривів стержнів короткозамкнених обмоток роторів електродвигунів

1. При прокрутці ротора вручну вимірювання струмів в обмотках статора дозволяє встановити наявність обривів стержнів у короткозамкнених обмотках асинхронних електродвигунів. Одну або дві фази обмотки статора електродвигуна включають на напругу змінного струму, рівну 10-15 % номінальної, і при повільному обертанні ротора вручну

вимірюють струм в колі живлення. Для визначення зміни струму зручно використати самописний амперметр. Більш чутливий спосіб при подачі напруги на одну фазу обмотки, ніж на дві фази. Якщо при обертанні ротора струм в обмотці статора не змінюється, обриви в стержнях обмотки ротора відсутні. Зміна струму при обертанні ротора вказує на наявність обриву стержнів, залежить від числа пошкоджених стержнів і їх взаємного розташування, але визначити число обірваних стержнів по відхиленню стрілки амперметра важко. Після виявлення факту наявності обриву стержнів електродвигун підлягає розбиранню і точному встановленню числа обірваних стержнів [6].

2. Метод контролю стержнів короткозамкнених обмоток ротора заснований на використанні залежності ковзання електродвигунів від числа обірваних стержнів. Він полягає в тому що, при визначенні числа обірваних стержнів, вимірюють ковзання електродвигуна при заданому навантаженні та температурі і отриману величину порівнюють з контрольною, вимірною на електродвигуні з ротором, що не має обривів. Для використання цього методу необхідно мати еталонні криві залежності ковзання від навантаження для конкретних типів електродвигунів, що обмежує застосування способу на виробництві.

3. Спосіб визначення міри пошкодження короткозамкнених обмоток ротора, доступ до валів яких ускладнений або неможливий, заснований на припущенні, що при нерухомому роторі, який

має пошкодження короткозамкненої обмотки, струм в фазах залежить від положення ротора відносно статора. Для визначення технічного стану стрижнів за допомогою збудження фазової обмотки статора ротор електродвигуна повертають на певні кути (крокове обертання).

Після кожного повороту обмотку статора підключають до стабілізованої напруги змінного струму і самописним амперметром записують струм. Крокове обертання продовжують доти, поки ротор не зробить повний оберт [7].

В електродвигунах ця зміна порівняно велика. Так при обриві чотирьох розташованих поряд стрижнів при повороті ротора на один оберт ефективне значення струму змінюється на 42% середньої величини.

На рис. 3 зображено схему визначення пошкоджень короткозамкнених обмоток роторів електродвигунів.

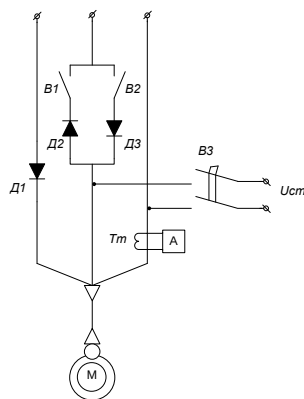


Рис. 3. Схема для визначення ступеню пошкодження короткозамкнених обмоток роторів електродвигунів

Для крокового переміщення ротора статор електродвигуна М включають в мережу змінного струму через діоди Д1, Д2, Д3. Включенням і вимкненням В1 і В2, які з'єднані послідовно з діодами здійснюється крокове переміщення. Для крокового переміщення ротора можна застосовувати і інші схеми, наприклад, з керованими вентилями. Вимірювальна частина схеми складається з самопишучого амперметра А, який реєструє струм через трансформатор струму.

Після кожного переміщення ротора обмотки статора відключають від електричної мережі, на клемах вимикачем В3 подають стабілізовану напругу і амперметром А записують значення струму в обмотках.

При відсутності пошкоджень в короткозамкненій обмотці ротора струм буде однаковим при всіх положеннях ротора.

Якщо короткозамкнена обмотка ротора має обриви стрижнів, струм буде залежати від положення ротора відносно обмоток статора, при цьому зміна струму буде тим більше, чим більше число стрижнів мають пошкодження. По зміні струмів при різних положеннях ротора в межах одного обертання оцінюють технічний стан короткозамкненої обмотки.

Міру пошкодження обмотки ротора при локальному (місцевому) розташуванні дефектів визначають за формулою

$$\gamma = K_k \cdot \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max}} \cdot 100\%$$

де γ - міра пошкодження обмотки, %; K_k - коефіцієнт конструктивних особливостей електродвигуна; $I_{\min}$, $I_{\max}$ - найбільше і найменше значення вимірюваних струмів, А.

Експериментальні дані показують, що для електродвигунів ($K_k=1$), обмотка ротора, яка має 24 стрижні, при обриві двох γ дорівнює 9,8 %, а при обриві чотирьох дорівнює 28 %. Допустиме значення γ для цих електродвигунів становить 10 % [10-13].

4. Спосіб визначення технічного стану короткозамкнених обмоток ротора, що не вимагає зупинки двигуна, доступ до валу якого ускладнений або неможливий, заснований на визначенні зв'язку між частотою модуляції струмів електродвигунів, у яких короткозамкнена обмотка має дефекти, і залежністю ковзання електродвигуна від навантаження і числа пошкоджених стрижнів.

У електродвигунів, що мають пошкодження стрижнів, в зв'язку з періодичною зміною магнітного опору фаз під час обертання ротора, має місце модуляція струмів, споживаних з електричної мережі. Значення модуляції струмів залежить від числа пошкоджених стрижнів і від їх взаємного розташування, а частота модуляції визначається тільки значенням ковзання [9].

Значення ковзання електродвигуна залежить від навантаження і стану короткозамкнених обмоток роторів (числа стрижнів з обривами і послабленнями). Ковзання електродвигунів збільшується із збільшенням числа пошкоджених стрижнів. Так для АД потужністю 8 кВт, при обриві 2,4,6 стрижнів ковзання збільшується відповідно 8,17 і 41 %.

З моменту початку експлуатації електричних машин багато промислових підприємств скаржаються на малий строк служби після ремонту. Це пов'язано зі специфікою ремонтних підприємств.

ємств, їх умов роботи, наявності ремонтного обладнання, складності ремонту, потужності великих електричних машин (ЕМ), а звідси проблеми транспортування, якщо нема спеціалізованих підприємств на місцях. Як показує статистика, ремонтуються ЕМ значно більше, ніж випускається нові заводами виробниками.

Для асинхронних машин вихід з ладу після ремонту в процесі експлуатації впродовж кількох місяців пов'язаний, крім вище вказаних причин, з відсутністю технічного рівня проведення ремонту, технічної діагностики обмоток ЕМ, технічного стану корпусної, міжфазної та міжвіткової ізоляції (її класу), визначення температурного режиму.

На багатьох електроремонтних підприємствах при ушкодженні обмоток великих і потужних АД відбувається повна заміна обмоток. Якщо при цьому маємо достатню кількість станків та пристроїв для видалення і демонтажу обмоток із пазів, то це в дозволяє персоналу, з врахуванням інших причин, зберегти параметри згідно паспортних даних. В іншому разі видаляють обмотку методом «випалювання». Це погіршує екологію у цеху, знижується магнітна проникливість електротехнічної сталі і робочі параметри машин. Звичайно величина магнітної індукції для ЕМ в межах $B_0=12\div 2$ Тл. Звідси струм навантаження номінальний по первинному паспорті може бути в два рази менше при зниженні магнітної індукції 30-50 %. Тому при виконанні статора і ротора машин глибокопазних АД необхідна перевірка сталі та її втрат при термічній обробці в процесі випалювання.

Висновки та напрямки подальших досліджень. При підготовці машини до ремонту необхідно ретельно визначатися з дефекацією АД.

Проводити післяремонтні випробування з врахуванням впливу «поверхневого ефекту», «потоків розсіювання», гармонійних складових потоку від обмоток.

Враховувати зміну типу обмоток, даних обмоток, клас ізоляції, методи її видалення.

При експлуатації проводити профілактику і технічну діагностику.

Список літератури

1. **Иванов-Смоленский А.В.** Электрические машины / **А.В. Иванов-Смоленский** // Москва, «Энергия», 1980.
2. **Адкинс Б.** Общая теория электрических машин / **Б. Адкинс** // Москва, «Госэнергоиздат», 1960.
3. **Воротеляк Э.А.** Прогнозирование рабочих характеристик глубокопазного асинхронного двигателя по каталожным данным / **Э.А. Воротеляк** // Академический вестник, 2007. - №19.
4. **Бергер А.Я., Поклонов С.В.** Приближенное определение параметров схемы замещения двигателя мощностью выше 100 кВт по каталожным данным / **А.Я. Бергер, С.В. Поклонов** // Электромеханика, 1974. - №3
5. **Сивокобыленко В.Ф. Костенко В.И.** Математическое моделирование глубокопазных асинхронных машин. Электричество №4, 1980г.
6. **Н. П. Ермолин, И. П. Жерихин** Надежность злектрических машин / **Ермолин Н. П., Жерихин И. П.** // Издательство «Энергия», Ленинград, 1976.
7. **В.П. Таран** Диагностирование электрооборудования / **Таран В.П.** // Издательство «Техника», Киев ,1983.
8. **Ю.Б. Гук** Теория надежности в электроэнергетике / **Гук Ю.Б.** // Издательство «Энергоатомиздат», Ленинград, 199.
9. **Костенко, Л.М. Пиотровский** Электрические машины / **Костенко, Л.М. Пиотровский** // Л.: «Энергия», 1973.
10. **Г.К. Жерве** «Промышленные испытания электрических машин». М.: «Госэнергоиздат», 1959.
11. **Sazhin B.I., Kaniskin V.A., Kostenko E.M., Levandovskaya Ye. V. and Tadzhibayev A.I.** Arapid Method for Determining the Servise Life of Polimerinsulated Cables // Electrical Technology, Pergamon, Elsevier Science Ltd., 1997.- №-3.P.1 1-17.
12. **Andrade, C. T. C.** Análise de Métodos para Determinação da Eficiência de Motores de Indução Trifásicos / **Andrade, C. T. C.** // Universidade Federal do Ceará, Brasil, 2009.
13. **S. Sakamoto, T. Hirata, T. Kobayashi, and K.Kajiwara,** “Vibration analysis considering higher harmonics of electromagnetic forces for rotating electric machines,” IEEE Transaction on Magnetic, Vol. 35, No. 3, pp. 1662-1665, 1999.

Д.А. АРТАМОНОВА, С.С. ДУБРОВСКИЙ, кандидаты техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

РАСЧЕТ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ, НАГРУЖЕННЫХ УДАРНЫМ ИМПУЛЬСОМ

Проведено комплексное исследование различных факторов влияющих на работу перфораторов. Выведена формула для расчета линейных размерных цепей переносных перфораторов, учитывающая все виды нагружения различных деталей, участвующих в процессе генерации ударного импульса. Определен допуск исходного звена в основной линейной размерной цепи на примере переносного перфоратора ПП50В1, обеспечивающий его долговечность и производительность.

Основой обеспечения этих важнейших эксплуатационных показателей служит определение оптимальных параметров деталей и узлов еще на стадии проектирования. На сегодня доминирующим фактором надежности является обеспечение высокой точности деталей и узлов. Для нормальной работы машин необходимо чтобы детали и их поверхности занимали определенное положение относительно друг друга, соответствующее функциональному назначению. На стадии проектирования и разработке технологических процессов, кроме расчетов деталей на прочность и жесткость, необходимо производить так называемый геометрический, размерный расчет. Расчет угловых и линейных размерных цепей, учитывающих все факторы, действующие в процессе работы машины, обеспечивают высокую производительность и долговечность уже на стадии проектирования, что позволит составить метрическую модель изделия и оптимизировать требования к точности геометрических параметров, с целью обеспечения показателей качества функционирования в заданных пределах при установленных затратах на производство.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Проблема обеспечения долговечности и производительности машин стоит очень остро перед машиностроителями.

Именно от надежности работы деталей машин зависит экономическая эффективность предприятий. Поэтому решение вопроса обеспечения надежности и долговечности на протяжении многого времени является актуальным.

Основой обеспечения этих важнейших эксплуатационных показателей служит определение оптимальных параметров деталей и узлов еще на стадии проектирования. На сегодняшний день доминирующим фактором надежности является обеспечение высокой точности деталей и узлов. Для нормальной работы машин необходимо чтобы детали и их поверхности занимали относительно друг друга определенное положение, соответствующее функциональному назначению. Поэтому еще на стадии проектирования и разработке технологических процессов, кроме расчетов деталей на прочность и жесткость, необходимо производить так называемый геометрический, размерный расчет.

Расчет угловых и линейных размерных цепей, учитывающих все факторы, действующие в процессе работы машины, обеспечивают высокую производительность и долговечность уже на стадии проектирования. Это позволит составить метрическую модель изделия и оптимизировать требования к точности геометрических параметров, с целью обеспечения показателей качества функционирования в заданных пределах при установленных затратах на производство.

Использование методов расчета размерных цепей позволяет существенно сократить время технологической подготовки производства, а также обеспечить наивысшее качество сборки и эксплуатации изделий.

Анализ исследований и публикаций. В данном направлении проведено значительное количество исследований [1-4], детально рассмотрен процесс работы перфоратора, определены степень нагрузки и деформирования деталей. Разработано большое количество различных технологических методов повышения эксплуатационных показателей перфораторов. Что позволяет значительно повысить ресурс перфораторов и является надежной платформой для проведения дальнейших исследований по повышению надежности и производительности их деталей.

Постановка задания. Несмотря на проведенные исследования, вопросы технологического обеспечения высокого уровня эксплуатационных показателей перфораторов остается достаточно актуальными [6]. Поэтому целью работы является исследование влияния точности изготовления деталей и качества сборки на эксплуатационные показатели на примере перфораторов, которые собираются без компенсаторов и не имеют возможности под настраиваться в процессе эксплуатации.

Изложение материалов и результаты. Эксплуатационные показатели изделий напрямую зависят от точности изготовления деталей и качества сборки. Особенно это касается перфораторов,

которые собираются без компенсаторов и не имеют возможности под настраиваться в процессе эксплуатации. Перфораторы передают генерированный ими ударный импульс породе, которую они разрушают. Поэтому все детали перфоратора испытывают знакопеременные нагрузки - вибрацию. За счет вибрации детали имеют не постоянные размеры, а размеры, величина которых колеблется в некоторых пределах. Причем это относится как к диаметральным величинам, так и к линейным. [1].

На рис. 1 изображен переносной перфоратор ПП50В1 основными деталями которого является цилиндр 1, в который вставляются поршень-ударник 2 и втулка направляющая 3. На втулку направляющую крепится патрон 4, с поворотной буксой 5 и гранбуксой 6, удерживающей штангу 7. Эти детали образуют линейную размерную цепь A , приведенную на рисунке. Они в процессе работы должны обеспечить плоский удар (за счет расчета угловых размерных цепей) и нужную величину открытия выхлопного окна (звено A_7) за счет расчета линейной размерной цепи A [3].

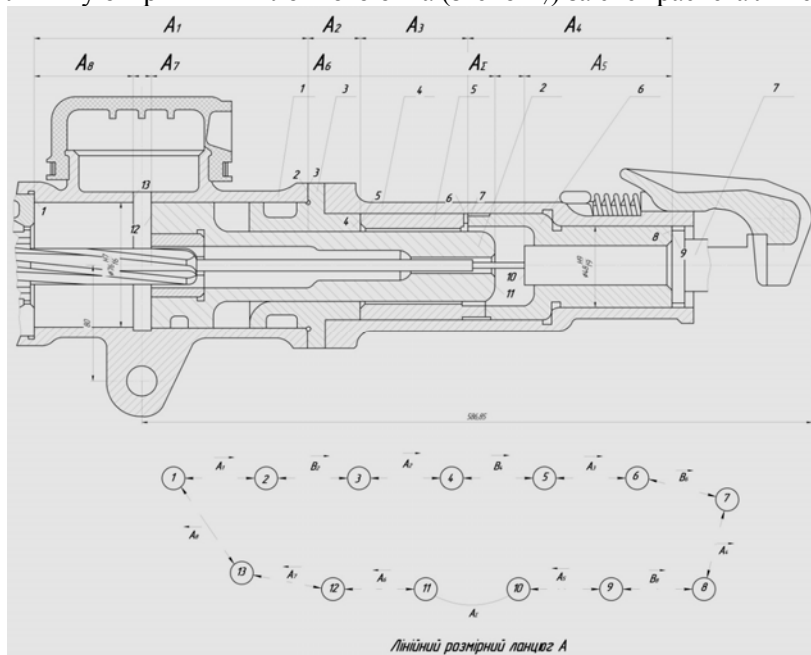


Рис. 1. Переносной перфоратор ПП50В1

Как показали проведенные экспериментальные исследования, в рассматриваемом перфораторе величина открытия выхлопного окна в момент удара должна колебаться от 3 до 6 мм, т.е. равна $A_7=4,5\pm 1,5$ мм, допуск равен $TA_7=3$ мм. [3]. Открытие выхлопного окна в этих пределах обеспечит максимальную энергию удара.

Поэтому необходимо учесть все виды погрешностей, образующиеся при изготовлении, сборке и эксплуатации.

Точность деталей зависит от точности изготовления линейных и диаметальных размеров, точности формы и точности относительного распо-

ложения поверхностей. Точность сборки зависит от величины перекосов деталей в пределах зазоров и упругой деформации стыков, которая определяется только в ходе экспериментов, т.е. в собранном виде. Поэтому очень важно учесть максимальное количество действующих факторов уже на стадии проектирования. Это позволяет сделать теория размерных цепей, в которой рассеивание конечного размера определяется как сумма погрешностей, вызванных различными факторами [2]. Такая погрешность в общем виде определяется по выражению (1)

$$E_{\Sigma} = \frac{\sqrt{K_{\Sigma}^2 \cdot T_{\Sigma}^2 + K_v^2 \cdot T_v^2 + K_{\Sigma s}^2 \cdot T_{\Sigma s}^2 + 2 \Sigma C_i \cdot C_j \cdot r_{ij} \cdot K_i \cdot K_j \cdot T_i \cdot T_j}}{K_{\Sigma}}, \quad (1)$$

где K_{Σ} - коэффициенты относительного рассеивания замыкающего и, соответственно, составляющих звеньев, при количестве звеньев в цепи $n > 5$, $K_{\Sigma} = 1$; T_{Σ} - допуск замыкающего звена и, соответственно других составляющих; r_{ij} - коэффициент корреляции.

В выражении (1) четвертым слагаемым можно пренебречь ввиду малости значений.

Для вывода конкретных выражений для расчета размерных цепей необходим индивидуальный подход с анализом причин, влияющих на работу машины.

Так в перфораторах на величину открытия выхлопного окна будут влиять номинальные размеры длин деталей цепи A , допуски на их изготовление, износ в процессе эксплуатации, торцевые биения и пределы изменения длин под действием ударных импульсов. Тогда выражение (1) примет вид (2)

$$T_{\Sigma} = \sqrt{\Sigma T_i^2 + \Sigma \beta_j^2 + \Sigma \Delta L_i^2 + \Sigma T_{изн}^2}, \quad (2)$$

где T_{Σ} - допуск исходного звена; ΣT_i - сумма допусков линейных размеров; $\Sigma \beta_i$ - сумма торцевых биений; $\Sigma \Delta L_i$ - сумма линейных деформаций деталей, входящих в размерную цепь; $\Sigma T_{изн}$ - величина износа торцов деталей.

Величина линейных деформаций деталей нагруженных и не нагруженных ударным импульсом не одинакова и определяется по различным выражениям. Так величина максимальной линейной деформации для поршня-ударника и штанги, нагруженных ударным импульсом определится по формуле [1]

$$\Delta L = V_0 l \alpha \mu \varepsilon / 2a, \quad (3)$$

где V_0 - скорость поршня-ударника в момент удара, м/мин; a - скорость распространения волн в металле, м/мин; l - длина детали, мм; μ - коэффициент Пуассона; ε - коэффициент, зависящий от генерируемого импульса.

Расчет максимальных линейных деформаций деталей, не нагруженных непосредственно ударом (втулка направляющая, букса и гранбукса), производится по выражению

$$\Delta L = \frac{l_i \cdot \mu \cdot \chi_i}{E} \quad (4)$$

где μ и E - коэффициент Пуассона и модуль упругости материала детали, мм; χ_i - коэффициент, зависящий от количества передаваемой энергии.

Значения линейных деформаций деталей перфоратора ПП50В1 определены по выражениям (3) и (4) и представлены в табл. 1.

Таблица 1

Величины линейных деформаций деталей перфоратора ПП50В1

Наименование детали	Звено размерной цепи	Длина детали, L	Мах. деформация детали ΔL
1. Цилиндр, мм	A1	124	0,028
2. Поршень, мм	A6	188	0,067
3. Втулка направляющая, букса поворотная, мм	A2, A3	30	0,003
4. Гранбукса, мм	A4	109	0,031
5. Штанга, мм	A5	108	0,036
	Σ		0,086

В табл. 1 не включено значение звена A8 в виду отсутствия значительной деформации и износа. Суммарная величина деформаций определялась по вероятностному методу.

Как видно из табл. 1, линейные деформации деталей, входящих в размерную цепь A, достигают значительных величин, соизмеримых с допуском на размер. Поэтому величина линейных деформаций деталей должна быть учтена при расчете замыкающих звеньев в линейных размерных цепях изделий, нагруженных ударным импульсом.

Для расчетов конструкторского допуска исходного звена в линейной размерной цепи $T_{\Sigma k}$ используется только часть исходного допуска на замыкающий размер $T_{\Sigma нач}$, которая зависит от условий производства и проектируемого запаса точности. Как правило торцевые биения; $\Sigma \Delta L_i$ - суммарная деформация деталей в размерной цепи; $\Sigma T_{изн}$ - суммарный износ торцов деталей, входящих в размерную цепь.

По найденным значениям допуска на исходное звено производится расчет допусков размеров, входящих в размерную цепь. Так для перфоратора ПП50В1 были найдены значения величин, входящих в выражение (5), которые приведены в табл. 2 [3].

Таблица 2

Расчетные значения допуска исходного звена в линейной размерной цепи A

$T_{\Sigma нач}$	$\Sigma T_{изн}$	$\Sigma \Delta L_i$	ΣT_t	$\Sigma \beta_i$	$T_{\Sigma k}$	Исходное звено	Исходный размер
3,0	0,4	0,086	1,72	0,266	2,4	A7	4,5+ 1,2

Суммарный допуск на износ деталей, входящих в размерную цепь A определен исходя из износа конкретных сопряжений при долговечности в 300 часов. Такую долговечность имеют наиболее ответственные детали перфоратора - поршень-ударник и гранбукса [1]. Номинальные размеры и допуски были взяты из заводских чертежей деталей.

Как видно из табл. 2 учет факторов, действующих на детали, входящие в размерную цепь A привел к уменьшению допуска на исходное звено на 0.8 мм, что обеспечит ужесточение допусков

на составляющие звенья и, в конечном счете, повысит долговечность всего перфоратора. Расчет суммарных допусков размеров и торцевых биений производился вероятностным методом.

Выводы. Таким образом, учет наиболее значимых величин, износа, торцевых биений и деформаций, влияющих на размеры в линейных размерных цепях изделий, нагруженных ударным импульсом, позволит уже на стадии проектирования обеспечить более высокую долговечность изделий.

Список литературы

1. Бегагоен И.А., Бойко А.И. Повышение точности и долговечности бурильных машин. – М.: Недра, 1986. -213 с.
 2. Дунаев П.Ф., Леликов А.П. Расчет допусков размеров. – М.: Машиностроение, 1981. – 189 с.
 3. Артамонова Д.А. Исследование точности сопряжений переносных перфораторов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Кривой Рог, 1995.
 4. Артамонова Д.А. Расчет отклонений от расположения поверхностей. Сб. материалов Всероссийской конференции-семинаре. Сызрань, СГТУ. – 2011.
 5. Артамонова Д.А., Котляр Д.А. Определение точности сопряжений телескопного перфоратора. Вісник КТУ. 36. Наукових праць. Вип.22. 2008р. с.126-129.
 6. Артамонова Д.А., Нечаев В.П., Кассир С.Г., Кисильов В.В. Некоторые направления повышения долговечности переносных перфораторов. Вісник КТУ. 36. Наукових праць. Вип.30. 2012-с.139-141.
 7. Laura Wakeford. How Your Design Can Affect The Cost, Quality And Time Required To Manufacture Parts. MCADVision Magazine - July 2001 - Part1.
 8. О.Н. Калачев, Н.В. Богоявленский, С.А. Погорелов Графическое моделирование размерной структуры технологического процесса на электронном чертеже в среде AutoCAD// Вестник компьютерных и информационных технологий. М.: - 2012. - №5.– С.13-19
- Рукопись поступила в редакцию 14.04.15

УДК 621.316.765:621.314.632

В.Г. ФАЙНШТЕЙН, канд. техн. наук, доц., А.В. ПИРОЖЕНКО, канд. техн. наук,
КМИ ДВНЗ Криворожский национальный университет

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ НАВЫКОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Существующая практическая подготовка специалистов в области электропривода признана как недостаточная, не позволяющая им самостоятельно проводить комплекс наладочных работ или работ по устранению отказов. Все известные виртуальные методы исследования электроприводов масштабируются во времени, поэтому у обучающихся не развиваются навыки по использованию измерительных и регистрирующих приборов при работе на реальной установке, а также навыки по работе с реальными узлами систем управления для настройки заданных режимов привода. Предложен стенд, состоящий из реальной системы регулирования и модели силовой части привода, работающей без масштаба времени, что позволило значительно приблизить лабораторную установку к реальному приводу. Детально рассмотрена структура лабораторного стенда на базе двигателя постоянного тока независимого возбуждения с реверсивным тиристорным преобразователем. Доказано, что оптимальным алгоритмом моделирования трехфазного мостового преобразователя, работающего на якорную цепь, является алгоритм, который по номеру включаемого тиристора и состоянию остальных тиристоров позволяет выбрать расчетную схему и выполнить интегрирование уравнений, описывающих электрические процессы в схеме, определить момент изменения состояния тиристоров и переход к другой расчетной схеме. Приведены дискретные модели и рассмотрены расчетные схемы трехфазного мостового преобразователя в нормальном режиме коммутации тиристоров и аварийном режиме при ложном включении тиристора во время коммутации. Математический аппарат модели - решение дифференциальных уравнений методом численного интегрирования Рунге-Кутты. Предложено аппаратное обеспечение математической модели на базе микро-ЭВМ семейства ARM Cortex™ четвертого поколения.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Подготовка специалистов в области электропривода в высших учебных заведениях последние годы в основном сводилась к теоретической части. Практическая подготовка ограничивалась выполнением типовых лабораторных работ, при этом в силу известных обстоятельств (дороговизна стендов, ограничения, связанные с техникой безопасности, ограничения по мощности привода и т.д.) студенты самостоятельно не могут провести комплекс наладочных работ или работ по устранению отказов. Кроме того, практическая подготовка специалистов должна обеспечить многообразие задач, например, умение проводить наладку систем управления для приводов с двигателями различной мощности, различного характера нагрузки и т.п. При этом необходимо обеспечить минимальные капитальные и эксплуатационные затраты, связанные с созданием лабораторного стенда.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время широко используются виртуальные методы исследования электроприводов, которые обеспечивают многообразие задач, относительно низкие капитальные затраты и не требуют специальных мероприятий для обеспечения безопасности выполнения лабораторных работ [1-6]. Но, так как известные методы исследования электроприводов масштабируются во времени, то у обучающихся не развиваются навыки по использованию измерительных и регистрирующих приборов при работе на реальной установке, а также навыки по работе с реальными узлами систем управления для настройки заданных режимов работы привода. Таким образом, существующие подходы в создании лабораторного стенда для подготовки специалистов в области электропривода, использующие моделирующие установки, работающие в масштабе времени, не позволяют решать поставленные задачи.

Постановка задачи. Создание лабораторного стенда для обучения методам наладки и устранения отказов систем управления электроприводом, состоящего из реальной системы регулирования и модели силовой части привода, работающего без масштаба времени.

Изложение материала и результаты. Если рассмотреть лабораторную установку, состоящую из реальной системы управления и модели силовой части (преобразовательной установки и электродвигателя), работающей без масштаба времени, то получим значительное приближение лабораторной установки к реальному приводу. Структурная схема такой установки приведена на рис. 1.

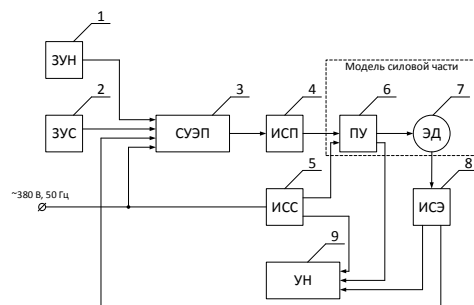


Рис. 1. Лабораторная установка, состоящая из реальной системы управления и модели силовой части: 1 - задающее устройство нагрузки на валу двигателя (ЗУН); 2 - задающее устройство скорости вращения вала двигателя (положения вала) (ЗУС); 3 - система управления электроприводом (СУЭП); 4 - интерфейс преобразования сигналов выхода СУЭП в дискретные входные сигналы микроконтроллера (ИСП); 5 - интерфейс преобразования трехфазного напряжения питающей сети в аналоговые входные сигналы микроконтроллера (ИСС); 6 - модель преобразовательной установки (ПУ); 7 - модель электродвигателя (ЭД); 8 - преобразователь цифровых сигналов

лов ЭД в соответствующие напряжения и токи для организации обратных связей СУЭП и подключения измерительных приборов (ИСЭ); 9 - УН - приборы для измерения тока (амперметры), напряжения (вольтметры) или клеммы для подключения устройств наблюдения

Из-за ограниченного объема статьи рассмотрены только вопросы создания лабораторного стенда для обучения методам настройки и ремонта систем управления электроприводом на базе двигателя постоянного тока независимого возбуждения с реверсивным тиристорным преобразователем. В этом случае ЗУН и ЗУС - потенциометрические, сельсинные и т.п. датчики установившегося значения скорости (момента нагрузки) или программируемые устройства для задания диаграмм скорости, положения и нагрузки. СУЭП - например, аналоговая система управления ЭТАЛ ЭТУ 200 или цифровая система «DC MASTER» фирмы Сименс, выходом этих и других систем управления являются импульсные сигналы включения тириستоров. Поэтому ИСП содержит элементы преобразования уровня сигналов и их гальваническую развязку. ПУ - модель реверсивного тиристорного преобразователя для питания якоря двигателя и нереверсивного преобразователя для питания обмотки возбуждения. ЭД - модель электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения. Все модели должны работать в реальном масштабе времени. ИСЭ - совокупность цифро-аналоговых преобразователей цифровых значений токов и напряжений тиристоров, обмоток электродвигателей и скорости, положения вала двигателя, вычисленных моделями, а также преобразователь цифрового значения положения вала двигателя в последовательность импульсов, аналогичную сигналам инкрементного датчика положения. ИСС - это гальваническая развязка с делителем напряжения и быстродействующие аналого-цифровые преобразователи.

Модель механической части электропривода целесообразно выполнить на отдельном микроконтроллере, где по скорости (положению вала электродвигателя) и известным механическим характеристикам элементов кинематической схемы, определяется момент нагрузки на валу двигателя, а его момент - по току якоря и потоку возбуждения. Момент электродвигателя является управляющим воздействием модели механической части привода, а момент нагрузки - возмущающим воздействием модели электрической части. Этот вопрос достаточно изучен и его реализация не содержит проблем.

Электрическая часть модели электродвигателя стандартная, без учета реакции якоря и при предположении, что число пазов бесконечно большое, т.е. якорная цепь двигателя и цепь возбуждения описываются линейным дифференциальным уравнением первого порядка, с учетом нелинейной зависимости противо-ЭДС двигателя от тока возбуждения. Модель якорной цепи двигателя, как правило, совмещена с моделью преобразователя.

Основная проблема, возникающая при создании подобных стендов, это ограниченное быстродействие микроконтроллера для реализации модели, работающей в реальном времени. Для оценки необходимого быстродействия микроконтроллера рассмотрим алгоритм работы моделей преобразователей и двигателей постоянного тока, который целесообразен для создания указанного стенда. Модели электропривода постоянного тока с реверсивным тиристорным преобразователем известны и широко используются для проектирования тиристорных преобразователей [7,8] и для виртуальных моделей электроприводов постоянного тока. В первом случае они объёмные, так как содержат модели полупроводниковых приборов, во втором случае обычно модели упрощенные, поскольку пренебрегают процессами коммутации и не проверяются условия выключения тиристоров. В нашем случае нет необходимости рассматривать переходные процессы в тиристорах, достаточно считать, что:

включение тиристора происходит мгновенно при наличии условий его включения (положительный фронт импульса на управляющем электроде тиристора и положительное значение напряжения анод-катод тиристора);

выключение тиристора происходит при заданном, для данной модели тиристора, обратном токе через него.

Для получения аварийных режимов работы преобразователя необходимо, чтобы модель преобразователя учитывала коммутационные процессы при включении (выключении) тиристора, и содержала контроль напряжения на тиристорах. Используются два подхода при разработке алгоритмов моделирования трехфазных мостовых преобразователей, работающих на якорную цепь двигателя:

по номеру тиристора, на который подается импульс включения и состоянию остальных тиристоров (включен/выключен) выбирается расчетная схема и выполняется интегрирование уравнений, описывающих электрические процессы в схеме, далее определяется момент изменения состояния тиристоров и переход к другой расчетной схеме, причем во включенном состоянии сопротивление тиристора равно нулю, в выключенном – бесконечность;

ведется расчет токов и напряжений во всех ветвях схемы, при этом тиристор заменяется двухполюсником, параметры которого изменяются в зависимости от состояния тиристора.

Например, если рассматривать режимы преобразователя: а) нормальный режим выпрямления, б) коммутация тиристоров и в) аварийный режим при ложном включении тиристора во время коммутации, то получим три расчетные схемы, приведенные на рис. 2.

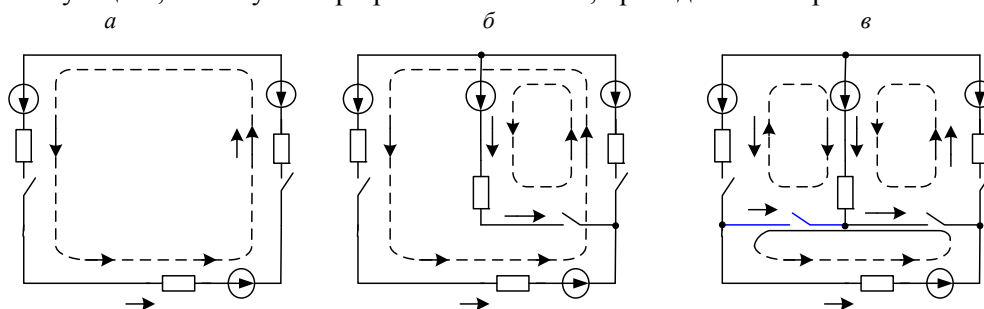


Рис. 2. Расчетные схемы трехфазного мостового преобразователя

Источники ЭДС в расчетных схемах, номер контролируемого тока для определения момента отключения тиристоров, знак противо-ЭДС двигателя (z_{ne}), зависят от номеров работающих и включаемых тиристоров, как показано в табл. 1. Нумерация тиристоров в таблице $k=1-6$ соответствует очередности их включения во времени, тиристор с номером 1 установлен в катодной группе фазы А. В расчетных схемах

$$i = \begin{cases} i = k & \text{если } (1 \leq i) \cap (i \leq 6) \\ i = k - 6 & \text{если } i > 6 \end{cases},$$

где $i+2$ - включаемый тиристор; $i+3,4,5$ - ложно включаемые тиристоры.

Таблица 1

Характеристики работы тиристоров 3-х фазного мостового преобразователя

Коммутация в группе	Работающие тиристоры	Включенные тиристоры	Источники			i	i+1	i+2	Знак E_d zne
			E1	E2	E3				
Катодной	1,2	3	Ua	Ub	Uc	1	2	3	+
	3,4	5	Ub	Uc	Ua	3	4	5	+
	5,6	1	Uc	Ua	Ub	5	6	1	+
Анодной	6,1	2	Ub	Uc	Ua	6	1	2	-
	2,3	4	Uc	Ua	Ub	4	3	4	-
	4,5	6	Ua	Ub	Uc	2	5	6	-

Очередность включения тиристоров определяется аппаратно реализованной системой управления тиристорным преобразователем и электропривода в нормальном режиме. Аварийный режим тиристоров может принудительно задаваться программой управления моделью в зависимости от задачи исследований электропривода. Программа модели определяет номер расчетной схемы, после чего включается подпрограмма решения соответствующих этой схеме дифференциальных уравнений.

Точность решения определяется шагом интегрирования уравнений Δt . Таким образом, основное влияние на погрешности метода моделирования окажет время решения разностных уравнений.

Упрощенная схема алгоритма работы модели показана на рис. 3.

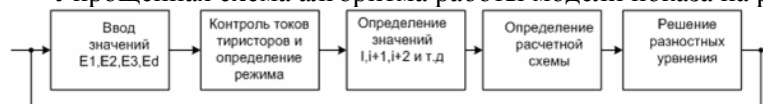


Рис. 3. Упрощенная схема цикла алгоритма в течение шага интегрирования

Основное время расчеты ведутся по схеме рис. 2а, в период коммутации расчеты ведутся по схеме рис. 2б, причем время коммутации для трехфазного мостового преобразователя составляет примерно 3-4 % от длительности интервала преобразования. Несмотря на последнее обстоятельство, следует выбирать шаг интегрирования исходя из необходимости решения двух дифференциальных уравнений, составленных по методу контурных токов для электрической части привода, дифференциального уравнения для механической части привода и определения по заранее заданному логическому уравнению значений ЭДС в уравнениях для якорной цепи двигателя.

Коэффициенты уравнений - положительные числа, постоянные для привода, их определяют в части программы подготовки к решению. При использовании микро-ЭВМ, вычисляющих в формате с фиксированной запятой, рассчитываются с учетом масштабов токов и напряжения. Для моделирования преобразователя с двигателем по второму способу воспользуемся методами расчета электрических цепей на ПК, рассмотренными в [9]. Для расчета методом узловых потенциалов дискретная модель цепи $ra-La$ дана на рис.4а, а цепи $rd-Ld$ на рис. 4б, дискретная модель схемы нереверсивный преобразователь-двигатель показана на рис. 4в. На рисунке ga - анодная цепь тиристоров, gd - якорная цепь двигателя, gt - двухполюсник замещения тиристора (в нашем случае проводимость).

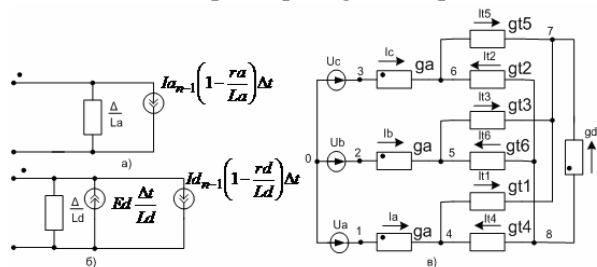


Рис. 4. Дискретные модели двухполюсников $R-L$ и расчетная схема

Величина проводимостей $gt1-gt6$ изменяется скачком по сигналам управления тиристорами, поступающими из системы управления. В этом случае необходимо решить пять уравнений, составленных по методу узловых потенциалов для электрической части и одно

уравнение для механической части. Если сравнить два варианта, то второй способ требует увеличенных затрат на время вычислений, и соответственно увеличения шага интегрирования.

С точки зрения исследования систем управления электроприводом рассмотренные упрощенные способы моделирования якорной цепи равнозначны. Затраты времени на определение токов тиристоров и якорного тока при расчетах по первому способу значительно меньше.

Поэтому далее остановимся на первом способе моделирования для оценки уровня дискретизации процесса по времени.

Математический аппарат модели: решение дифференциальных уравнений методом численного интегрирования Рунге-Кутты, обеспечивающий достаточную точность вычисления. Вычисления производятся над 64-х битными числами в формате плавающей запятой. Напряжения питающей сети вводится с помощью встроенных в микро-ЭВМ АЦП, причем для обеспечения безопасности напряжение подается через понижающие трансформаторы. В аналоговом виде выдаются токи тиристоров, якорный ток двигателя и скорость вращения вала двигателя.

Аппаратное обеспечение математической модели представляет собой микро-ЭВМ семейства ARM Cortex™ 4 поколения [10], как технология, получившая наибольшее распространение в последнее время. Фирма производитель микро-ЭВМ выбрана из расчетов наиболее быстродействующего кристалла, представленного в линейке указанной технологии - ST Microelectronics. Данная микро-ЭВМ содержит в составе периферийных средств аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с разрешающей способностью 12 бит, а так же цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) такого же разрешения. Быстродействие АЦП микро-ЭВМ при заданной точности вычисления составляет 5 мкс. Реализованный алгоритм вычисления параметров электрической машины по методу Рунге-Кутты, при выдаче синхроимпульсов, показал частоту 19,6 КГц, что соответствует 50 мкс на такт вычисления (интервал повторений вычислений). Указанный результат не является конечным, в виду того, что частота генератора ядра микро-ЭВМ соответствовала 48 МГц при 168 МГц возможных для данной серии. Таким образом, частота дискретизации процессов при управлении в реальном масштабе времени близка к частоте дискретизации процессов при использовании стандартных виртуальных моделей двигателей.

Моделирование цепи возбуждения не вызывает вопросов в связи с большими постоянными времени и выполняется по первому способу без учета процессов коммутации тиристоров. С целью экономии времени модель цепи возбуждения выполняется на отдельной микро-ЭВМ, работающей с фиксированной запятой.

В систему стенда целесообразно включить также узел нагрузки и задавать различные варианты нагрузки, зависящие от скорости вращения и положения вала двигателя, моделировать упругость соединительных валов, погрешности зубчатых передач и т.п. [11]. Для этой цели необходима дополнительная микро-ЭВМ, в связи с достаточно большим объемом вычислительных задач. Все микро-ЭВМ связаны между собой синхронной системой передачи данных, что не вызовет увеличение длительности интервала дискретизации.

Выводы и направление дальнейших исследований. Использование предлагаемого принципа организации лабораторных работ позволяет студенту при малых капитальных затратах:

учиться работать с реальными системами управления, осваивать приемы наладки и определения отказов;

исследовать широкий спектр задач для различной мощности привода, различного характера нагрузок;

исследовать системы взаимосвязанного электропривода.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на приближение модели механической части электропривода к реальным условиям, в частности учета наличия в ней зазоров, нелинейных передающих устройств и т.п. Моделирование зазоров и нелинейных передаточных устройств значительно увеличивают объем вычислений, что потребует создания многоконтроллерных систем и разработки для них методов моделирования в реальном масштабе времени.

Список литературы

1. Чорний О.П., Луговой А.В., Родькин Д.И., Сисюк В.Ю., Садовой А.В. Моделирование электромеханических систем, підручник для вузів, Кременчук, 2001, 374с.
2. Ещин Е.К. Моделирование электромеханических процессов многодвигательных электроприводов горных машин. – Кемерово: Кузбасский гос.техн.ун-т, 1999. –115 с.
3. Терехин В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (MatLab 7.0.1).Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. - 320 с.
4. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты DJVU DOC. Екатеринбург: УРО РАН, 2000 , 654 с.
5. Патент РФ № 2442995 G 01 R 31/34. Стенд с электромагнитным нагрузочным модулем для исследования и испытания электроприводов. /А.И. Некрасов, А.В. Ефимов, А.А. Некрасов, Н.Н. Серых, В.З. Трубников, опубли. 12.10.2012.

6. Патент РФ № 24473921, G 01 R 31/34. Учебно-лабораторный стенд для изучения электрических машин и электроприводов. / Ю.С. Ройтбург, А.А. Сесин, Ю.П. Долгов, А.А. Прентсель, опубл. 27.01.2013.
7. Д. Н. Аминова, В. С. Мухамеджанов, В. П. Смирнов, М. Р. Халилова. Метод моделирования и библиотека моделей элементов схем вентильных преобразователей для АЦВК. Сборник Автоматизированный электропривод, Москва, Энергоатомиздат, 1983, 351с.
8. Кузьмин В.А., Мустафа Г.М., Миносян В.Л. Моделирование переходного процесса включения тиристора на АВМ. Электротехническая промышленность. Преобразовательная техника. 1978, вып. 3. - С. 6-13.
9. Нерретер В. Расчет электрических цепей на персональной ЭВМ, Москва, Энергоатомиздат, 1991. - 230 с.
10. Ю. Джозеф. Ядро Cortex-M3 компании ARM. Полное руководство. Серия «Мировая электроника». Издательский дом «Додека - XXI», Москва, 2012. - 552 с.
11. Иванушкин В.А. и др., Структурное моделирование электромеханических систем и их элементов / В.А. Иванушкин, В. Н. Сарапулов, П. Шымчак: Щецин, 2000. - 310 с.

Рукопись поступила в редакцию 14.04.15

УДК 622.788: 005.591.6

Ю.С. РУДЬ, д-р техн. наук, проф., В.Г. КУЧЕР, канд. техн. наук,
В.Ю. БЕЛОНОЖКО, ст. преподаватель, Криворожский национальный университет

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ВЛАЖНОСТИ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ШИХТЫ

Цель работы - исследование возмущающих факторов, снижающих эффективность работы системы автоматической стабилизации влажности шихты (CAOW), и разработка рекомендаций, направленных на уменьшение их вредного воздействия.

По мнению авторов работы наиболее перспективной CAOW шихты является система, предложенная коллективом Ново-Криворожского ГОКа. Рассматриваемая система реализует способ спекания шихты, особенность которого состоит в том, что при автоматическом регулировании законченности процесса спекания шихты одновременно регулируется ее влажность. При этом в качестве задающего импульса принимается скорость движения тележек агломерационной машины. Агломератчик вручную выбирает подачу необходимого количества воды для увлажнения шихты, которое связано с текущим содержанием в ней возврата, и включает в работу системы автоматической стабилизации высоты слоя шихты и температурно-тепловой режим зажигания. После выхода на установившийся режим работы, когда текущие фактические параметры заданных величин соответствуют заданным значениям, включается работу система автоматической оптимизации влажности шихты CAOW.

В развитие этой системы предложена новая система автоматической оптимизации влажности агломерационной шихты (CAOW), в которой осуществляется коррекция задания регулятору по содержанию в шихте возврата. При этом достигается минимизация продолжительности процесса спекания шихты за счет изменения скорости движения агломерационной ленты, осуществляемой после стабилизации места окончания процесса спекания.

Использование предлагаемой авторами системы автоматической оптимизации влажности шихты CAOW позволяет обеспечить оптимальные условия для процесса спекания агломерата и за счет этого увеличить производительность агломерационных машин.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Получение агломерата высокого качества и обеспечение максимальной производительности агломерационной машины возможно лишь при использовании в производстве систем автоматического регулирования процесса спекания. Одним из перспективных направлений автоматизации процесса спекания шихты является использование систем оптимизации ее влажности (COAW).

Для увеличения газопроницаемости шихты, непосредственно влияющей на скорость спекания и производительность агломерационной машины, шихту увлажняют и подвергают обработке в смесителях и окомкователях. Зависимость газопроницаемости шихты от ее влажности имеет экстремальный характер, поэтому как недостаточная влажность шихты, так и избыток влаги в ней не желательны.

Для контроля влажности шихты используют разные методы: кондуктометрический, основанный на измерении электрической проводимости увлажненной шихты; тепловой, основанный на измерении теплопроводности шихты; нейтронный, основанный на контроле замедления быстрых нейтронов атомами водорода и др.

Если известна исходная влажность шихты и ее заданное значение, то количество воды, необходимое для доувлажнения шихты до заданного уровня, изменяется пропорционально расходу шихты и разности между заданным и исходным значениями ее влажности. Заданное значе-

ние дополнительного количества воды для каждого типа шихты различно и обусловлено физическими и химическими свойствами шихты.

Эффективными системами автоматического регулирования и оптимизации влажности (CAOW) агломерационной шихты являются системы, в которых первоначально заданная влажность корректируется в зависимости от изменения производительности агломерационной машины. Недостатками таких CAOW является значительное время выхода процесса регулирования на оптимальное значение влажности, так как при этом не учитывается ряд факторов, влияющих на процесс.

Постановка задачи. Цель работы - исследование возмущающих факторов, снижающих эффективность работы CAOW шихты, и разработка рекомендаций, направленных на уменьшение их вредного воздействия.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросам изучения влияния возмущающих воздействий на работу CAOW шихты посвящены работы В.С. Абрамова, А.Д. Ищенко, А.П. Копеловича, В.И. Коротича, А.Е. Мостового, Г.С. Нестерова, Н.В. Федоровского и др. Так А.Д. Ищенко считает, что основной задачей системы автоматического регулирования (САР) является изменение расхода воды, пропорционально расходу шихты и разности между заданным и исходным значениями ее влажности [1]. По его мнению, исходная влажность шихты в большинстве случаев оказывается недостаточной для ее качественного окомкования. Вода, поступающая в барабанный окомкователь, обеспечивает добавочное увлажнение шихты на величину, которая определяется из уравнения

$$\Delta Q_{B=} \varphi_3 - \varphi_0,$$

где φ_0 - исходная влажность шихты, определяемая из выражения $\varphi_0 = Q_{BIII}/Q_{III}$ (Q_{III} - расход шихты, Q_{BIII} - расход содержащейся в ней влаги). При этом автор исходит из предположения, что при работе системы автоматического регулирования влажности шихты (CAOW) ее конечная влажность равна заданной. Однако, как показали исследования, максимальная газопроницаемость шихты и соответствующая ей влажность не являются оптимальными с точки зрения обеспечения максимальной производительности агломерационной машины. Основным недостатком таких систем заключается в том, что заданное значение влажности выбирается обслуживающим персоналом машины субъективно на основании своего опыта работы.

А.П. Копелович и А.Е. Мостовой предлагают для эффективного ведения процесса агломерации контролировать и регулировать содержание влаги в шихте путем поддержания ее заданного значения с использованием нейтронных влагомеров [2,3]. Недостаток таких систем регулирования такой же, какой отмечен выше - заданное значение регулируемого параметра выбирается обслуживающим персоналом машины.

На ряде зарубежных и отечественных агломерационных фабрик используются CAOW шихты, в основу которых положен принцип оптимального регулирования заданной газопроницаемости шихты [4,5]. Установлено, что для шихты с различным составом компонентов разница в газопроницаемости не зажженной шихты и оптимальной влажностью величина переменная. Это говорит о нецелесообразности использования этого параметра для достижения максимальной производительности агломерационной машины.

В ФРГ для регулирования влажности шихты используют замер газопроницаемости шихты для минимизации продолжительности процесса спекания, который основан на определении момента окончания процесса спекания и скорости движения тележек агломерационной машины [6]. Приведенная схема является наиболее эффективной по сравнению с системами, рассмотренными выше, в которых регулирование влажности шихты ведется по косвенным параметрам. Схема требует доработки для привязки к конкретной технологии и элементной базе средств автоматики.

По мнению авторов данной работы наиболее перспективной CAOW шихты является система, предложенная коллективом Ново-Криворожского ГОКа. Рассматриваемая реализует способ спекания шихты, особенность которого состоит в том, что при автоматическом регулировании законченности процесса спекания шихты одновременно регулируется ее влажность. При этом в качестве задающего импульса системы выбирается скорость движения тележек агломерационной машины [7]. Блок-схема алгоритма работы данной CAOW шихты приведена на рис. 1.

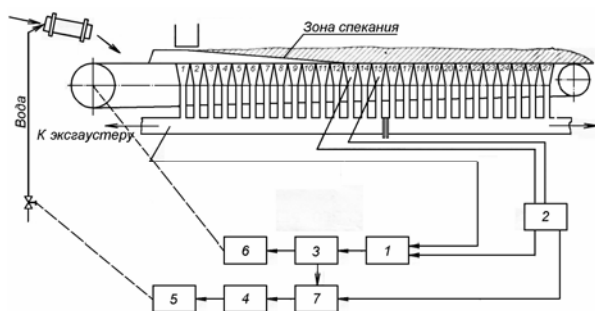


Рис. 1. Блок-схема алгоритма работы САОВ шихты Ново-Криворожского ГОКа по а.с. №196907

К недостаткам рассматриваемой САОВ шихты следует отнести то, что изменение места окончания процесса спекания зависит не только от влажности шихты, но и от ее состава, высоты слоя шихты на колосниковой решетке, от температурно-теплового режима процесса, температуры зажигания шихты.

Следует отметить, что необходимым условием эффективной работы шихты САОВ является наличие системы автоматической стабилизации (САС) основных параметров процесса спекания. При наличии указанных систем неучтенными возмущающими факторами этой системы являются только изменения состава шихты. Поэтому, определение и учет конкретных параметров шихты, оказывающих максимальное воздействие на работу САОВ, а соответственно и на производительность агломерационной машины, является важной задачей, не решенной до настоящего времени.

Изложение материала и результаты. Для определения степени влияния отдельных компонент (параметров) шихты на производительность агломерационной машины авторами данной работы проведен пассивный эксперимент, включающий обработку технологических карт производственной деятельности цеха №2 агломерационной фабрики НКГОКа за полугодие, в течение которого проходили опытно-промышленные испытания САОВ шихты, которая реализует способ спекания по авторскому свидетельству №196907 [7]. В результате обработки технологических карт с помощью теории корреляционного анализа получено линейное уравнение множественной регрессии в стандартизированном масштабе. Уравнение связывает производительность агломерационной машины Q с содержанием железа $Fe_{ж.ч}$ и руды P в железорудной части шихты, содержанием активной извести CaO углерода C и возврата B в шихте, а также с влажностью W шихты [8]. В первом приближении зависимости между технологическими параметрами в рабочем диапазоне можно считать линейными. Для влаги W и возврата B рабочими считались участки до их максимального значения, соответственно 6,4-7,0 % и 13,0-30,0 %.

Приблизительно линейный характер парных зависимостей определил линейную форму совокупной зависимости

$$Q = 0,461 Fe_{ж.ч} + 0,655 P + 0,157 CaO - 0,130 C + 0,627 B + 0,626 W.$$

Совокупный коэффициент корреляции $R = 0,68$.

Коэффициенты при входных величинах в уравнении показывают то, на какую часть среднеквадратического отклонения возросло бы значение параметра Q при увеличении определенной входной величины на среднеквадратическое отклонение при неизменном значении остальных. Анализ полученной зависимости показал, что решающее влияние на производительность агломерационной машины оказывают содержание возврата B в шихте и ее влажность W . В производственных условиях влажность шихты постоянно контролируется и корректируется вручную технологическим персоналом. В то же время, проведенные авторами в условиях агломерационной фабрики НКГОКа исследования основных возмущающих воздействий САОВ шихты, показали, что 48,4 % отказов в работе системы вызваны изменениями содержания в шихте возврата B [9]. Исследования, проведенные Н.В. Федоровским и Е.М. Дементьевой, показали, что «в промышленном агломерационном производстве природа возмущающих воздействий такова, что поддерживать длительное время содержание возврата в шихте на вычисленном оптимальном уровне не представляется возможным из-за ограниченных размеров бункеров возврата [10]. Работниками Южного ГОКа (г. Кривой Рог) установлено, что изменения количества возврата в шихте требует корректировки большинства входных параметров высоты слоя шихты, температуры зажигания, скорости движения спекательных тележек и влажности шихты [11].

Поскольку в предлагаемой САОВ шихты высота слоя и температурно-тепловой режим зажигания стабилизируется локальными подсистемами, а скорость движения спекательных тележек является обратной связью в САОВ шихты, то неучтенным фактором является лишь фактор изменения возврата в шихте. Указанный фактор предлагается использовать для коррекции заданного значения влажности шихты.

[illegible]

Агломератчик вручную выбирает подачу необходимого количества воды для увлажнения шихты W_3 , которое связано с текущим содержанием в ней влаги, и включает в работу системы автоматической стабилизации высоты слоя шихты $CACH_{ш}$ и температурно-теплового режима зажигания $CACT_2^0$. (T_2^0 - температуры в горне). После выхода на установившийся режим работы $CACH_{ш}$ и $CACT_2^0$, когда текущие фактические параметры заданных величин соответствуют заданным значениям $H_{шф} = H_{шз}$ и $T_{эф}^0 = T_{эз}^0$, включается работу система автоматической оптимизации влажности шихты CAOW. Первым этапом работы этой системы является стабилизация заданного места окончания процесса спекания с помощью подсистемы ПСАС ОС по сумме температуры коллектора $T_{кз}^0$ и разности температур в вакуум-камерах, рас-

Выводы. Использование предлагаемой авторами системы автоматической оптимизации влажности шихты *CAOW* с коррекцией заданного значения влажности в зависимости от изменения количества возврата позволяет обеспечить оптимальные условия для процесса спекания агломерата и за счет этого увеличить производительность агломерационных машин.

Список литературы

1. Ищенко А.Д. Статические и динамические свойства агломерационного процесса. – М.: Metallurgiya, 1972. – 320 с.
2. Копелович А.П. Комплексная автоматизация процесса производства агломерата / Бюллетень ЦНИИЧМ. Серия 3. 1961.
3. Копылов В.Г., Мостовой Л.Е. Измерение влажности аглошихты нейтронным влагомером. – Metallurg, 1974. – №7.
4. Клиновик М.Д., Копелович А.П. Автоматический контроль и регулирование в черной металлургии. Справочник. – М.: Metallurgiya, 1967. – 250 с.
5. Крижевский А.З., Кучер В.Г. Газопроницаемость как параметр регулирования производительности агломерационной установки / Автоматизация агломерационного и доменного производства. – К.: Техніка, 1969. – 206 с.
6. Савицкая Л.И. Развитие агломерационного производства в странах Западной Европы / Ин-т Черметинформация. Серия «Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу». – М.: 1982.
7. Мигуцкий Л.Р., Рудь Ю.С., Кучер В.Г. и др. Способ спекания шихты. А.С. СССР, №196907.
8. Федоровский Н.В., Рудь Ю.С., Кучер В.Г. и др. Исследование основных параметров регулирования процесса спекания агломерата. В ст. «Теория и практика автоматизации агломерационного процесса», Киев, 1971, с. 126-133 (256 с.).
9. Кучер В.Г. Исследование основных возмущающих воздействий систем автоматического регулирования процесса спекания агломерата. – Проблемы автоматизации агломерационного производства. – Материалы Всесоюзной конференции. – К., 1973. – 376 с.
10. Федоровский Н.В., Дементьева Е.М. К вопросу создания структурно-алгоритмической части АСУТП в агломерационном производстве. – Проблемы автоматизации агломерационного производства. – Материалы Всесоюзной конференции. – К., 1973. – 376 с.
11. Новак С.Б. и др. Теория и практика управления агломерационным процессом. ЮГОК / Под редакцией В.А. Мартыненко. – Кривой Рог, 2006. – 121 с.

Рукопись поступила в редакцию 14.04.15

УДК 622.647.2: 681.518.54

М.М. КОНДРАТЕНКО, ст. викладач, Криворізький національний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПУСКОВИХ РЕЖИМІВ СТІЧКОВОГО КОНВЕЄРА ДЛЯ АНАЛІЗУ СТАНУ РОЛИКОПОР І БАРАБАНІВ

З метою зменшення витрат на ремонти, міжремонтне обслуговування конвеєрів, а також для своєчасного виявлення і заміни зношених роликпопор запропонований метод діагностики стану роликів і барабанів. Він ґрунтований на експрес-аналізі динамічних навантажень, що виникають в електроприводі в пусковому режимі, оцінці енерговитрат на ці процеси. Дослідження витрат електроенергії на динамічні процеси, що виникають при несправності роликів або барабанів, можливо на основі математичної моделі для процесів пуску з урахуванням мас роликів і їх стану. Оцінка динамічних характеристик конвеєра виконується шляхом моделювання залежностей, що зв'язують швидкості, шлях переміщення стрічки на головних і допоміжних барабанах, роликах, динамічне зусилля в стрічці з величиною і характером зміни рушійного зусилля, що розвивається електроприводом під час діагностики і при еталонних випробуваннях. Діагностика по запропонованому методу виконується в період часу, коли по черзі залучаються до обертання ролик вантажної гілки конвеєра. У момент початку обертання стрічкою хвостового барабана буде отримана повна інформаційна картина стану елементів вантажної гілки, що обертаються, а можливість діагностики за цим методом припиниться.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Відомо, що витрати на ремонт і міжремонтне обслуговування машин в середньому за рік складають від 10-15 до 25% вартості устаткування [1]. Для машин, працюючих в особливо важких умовах, таких як в гірській, вугільній, будівельній промисловості, витрати тільки на капітальні ремонти сягають 50 % їх вартості.

Більша частина деталей машин (80-85%) виходить з ладу внаслідок інтенсивного зношування. Це вказує на те, що при проектуванні і експлуатації машин і механізмів далеко не завжди використовують найбільш ефективні засоби зменшення тертя і зношування [2]. Крім того, значний вплив на процес тертя справляє характер матеріалу, що транспортується.

Аналіз досліджень та публікацій. Особливості транспортування крупнокускових матеріалів, вплив їх вантажопотока на довговічність елементів описувалися в роботах [3-5].

Для своєчасного виявлення і заміни зношених роликів потрібна постійна їх діагностика [6,7].

При експлуатації стрічкових конвеєрів існує можливість експрес-аналізу стану роликів і барабанів на підставі аналізу динамічних навантажень, що виникають в електроприводі в пусковому режимі, і оцінки енерговитрат на ці процеси [8].

Постановка завдання. Дослідження витрат електроенергії на динамічні процеси, що виникають при несправності роликів або барабанів, стає практично можливим тільки на основі математичних моделей. Це підтверджує ряд авторів відомих робіт [9-11]. Відтворити експериментальним шляхом випадкову дію різних поєднань поломок роликів і барабанів майже неможливо. Пояснюється це великим числом складових балансу потужності електроприводу і елементів ставу конвеєра.

Тому, скориставшись відомими методами моделювання пуску конвеєра [9-11], дещо змінивши основні допущення і підходи, можна скласти модель для процесів пуску з урахуванням мас роликів і їх стану (обертаються вони або нерухомі).

В цьому випадку завданням моделювання буде дослідження витрат енергії на зміну швидкості стрічки без вантажу і на подолання сил внутрішнього тертя, розтягування стрічки, обертання роликів і барабанів [9,10]. Необхідність в подібного роду дослідженнях полягає не лише в можливості розуміння і визначення витратних процесів [12,13], але і в можливості визначення кількості несправних роликів, барабанів, а також оцінки характеру їх несправності і стану стрічки.

Викладення матеріалу та результати. Електропривод стрічкових конвеєрів великої довжини і продуктивності в основному виконується на базі асинхронних електродвигунів з фазним ротором, пуск яких здійснюється за допомогою ступінчастого введення додаткових опорів в роторний ланцюг. Останнім часом отримали поширення електроприводи з пристроями, що здійснюють плавний пуск з квазіпостійним моментом.

Оцінювати динамічні характеристики конвеєра можна шляхом моделювання залежностей, що зв'язують швидкості, шлях переміщення стрічки на головних і допоміжних барабанах, роликів, динамічне зусилля в стрічці з величиною і характером зміни рушійного зусилля, що розвивається електроприводом під час діагностики і при еталонних випробуваннях.

Для обліку зосереджених мас приводних барабанів і розподілених по довжині конвеєра мас стрічки і роликів використовуємо метод кусочно-лінійної апроксимації і допущення, прийняті в роботі [14]. Крім того, з метою пониження порядку диференціальних рівнянь припустимо, що натягач встановлений в точці збігання стрічки з другого по ходу руху стрічки приводного барабана. Також приймемо, що в цій точці підтримується постійне натягнення.

На рис. 1 представлено розрахункову схему на прикладі багатобарабанного стрічкового конвеєра.

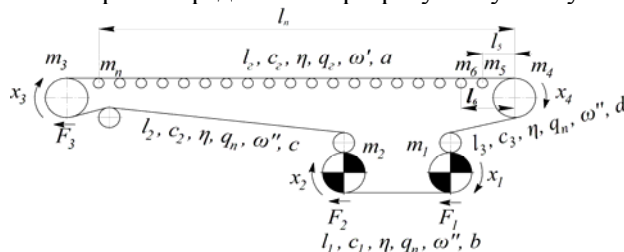


Рис. 1. Розрахункова схема багатобарабанного стрічкового конвеєра

Тут $m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, \dots, m_n$ - маси обертових частин приводних, головного і хвостового барабанів, приведені до кола приводних барабанів (з урахуванням сполучних муфт, редукторів і електродвигунів), кг; F_1, F_2 - рушійні зусилля, що розвиваються

приводними електродвигунами на відповідних приводних барабанах, Н; x_1, x_2, x_3, x_4 - переміщення стрічки на відповідних барабанах, м; $l_2, l_1, l_2, l_3, l_5, \dots, l_n$ - довжини відповідних ділянок стрічки між барабанами і роликів, м; ω', ω'' - коефіцієнти опору руху стрічки на верхній і нижній гілках конвеєра; c_1, c_2, c_3, c_n - коефіцієнти жорсткості відповідних ділянок стрічки, Н/м; η - коефіцієнт загасання коливань в конвеєрній стрічці, кг/с; q_2, q_n - розподілені лінійні навантаження верхньої (вантажної) і нижньої (порожнякової) гілок конвеєра, кг/м.

Знайдемо $m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, \dots, m_n$:

$$m_{1,2} = GD_{1,2}^2 \cdot \frac{i^2}{D_6^2}; \quad m_{3,4} = GD_6^2 \cdot \frac{i^2}{D_6^2}; \quad m_5 = m_6 = \dots = m_n = Gd_p^2 \cdot \frac{i^2}{D_6^2},$$

де $GD_1^2, GD_2^2, GD_6^2, GD_p^2$ - крутєвє моменти приводів N_1, N_2 , головного і хвостового барабанів і роликів, приведені до валу двигуна, кг·м²; i - передатне число редуктора; $D_{1,2}, D_6, d_p$ - діаметр, відповідно, приводних, головного, хвостового барабанів і роликів, м.

Знайдемо коефіцієнти жорсткості відповідних ділянок стрічки за формулою

$$c = E_0 / l_i,$$

де E_0 - динамічна жорсткість стрічки, Н; l_i - довжина відповідної ділянки конвеєра ($l_2, l_1, l_2, l_3, l_5, \dots, l_n$).

$$E_0 = z_T \cdot F_T \cdot E,$$

де z_T - число тросів у стрічці; F_T - марна площа поперечного перерізу дротів троса, мм²; E - модуль пружності, віднесений до одиниці перерізу дротів.

$$z_T = B/h + 1,$$

де B - ширина стрічки; h - крок троса.

Розподілені лінійні навантаження верхньої і нижньої гілок конвеєра визначаємо за формулами

$$q_z = q_{\mathcal{L}} + q'_p; \quad q_n = q_{\mathcal{L}} + q''_p,$$

де $q_{\mathcal{L}}, q'_p, q''_p$ - відповідно розподілені лінійні навантаження від стрічки, частин роликоопор, що обертаються, верхньої (вантажної) і нижньої (порожнякової) гілок конвеєра, кг/м

$$q'_p = m'_p / h'_p; \quad q''_p = m''_p / h''_p,$$

де m'_p, m''_p - маса обертових частин роликоопор відповідно верхньої і нижньої гілок конвеєра, кг; h'_p, h''_p - крок роликоопор відповідно верхньої і нижньої гілок конвеєра, м.

Позначимо

$$\begin{aligned} a &= q_z \cdot l_z / 6; \quad b = q_n \cdot l_1 / 6; \quad c = q_n \cdot l_2 / 6; \quad d = q_n \cdot l_3 / 6; \\ \begin{cases} A_1 = 2 \cdot (b + d) + m_1; \\ A_2 = 2 \cdot (b + c) + m_2; \\ A_3 = 2 \cdot (a + c) + m_3; \\ A_4 = 2 \cdot (a + d) + m_4; \\ M_{\Sigma} = 2 \cdot (a + b + c + d) + A_1 + A_2 + A_3 + A_4, \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

де M_{Σ} - сумарна маса обертових частин конвеєра, кг; a, b, c, d - умовно прийняті конструктивні коефіцієнти конвеєра, кг.

Діагностика за запропонованим методом можлива лише в проміжок часу, коли 1-й, 2-й і 4-й барабани почали обертатися, а 3-й (хвостовий) барабан ще не обертається. Частина стрічки, що збігає з 2-го барабана, «вибирається» натягувачем. Частина стрічки, що збігає з 4-го барабана, тільки починає рух, поступово залучаючи до нього вантажну гілку, що набігає на цей барабан. Так в рух обертання залучаються спочатку ролик №5, потім №6 і так далі № n , поки частина вантажної гілки стрічки, що рухається, не почне обертати 3-й (хвостовий) барабан. При цьому буде отримана повна інформаційна картина стану обертових елементів вантажної гілки, а можливість діагностики за цим методом припиниться.

Система рівнянь (1) для m_5 запишеться по-іншому

$$\begin{aligned} a &= q_z \cdot l_z / 6; \quad b = q_n \cdot l_1 / 6; \quad d = q_n \cdot l_3 / 6; \\ \begin{cases} A_1 = 2 \cdot (b + d) + m_1; \\ A_2 = 2 \cdot b + m_2; \\ A_3 = 2 \cdot a + m_5; \\ A_4 = 2 \cdot (a + d) + m_4; \\ M_{\Sigma} = 2 \cdot (a + b + d) + A_1 + A_2 + A_4. \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

Складемо диференціальні рівняння руху конвеєра в операторній формі з урахуванням прийнятих допущень. Вони зв'язують переміщення стрічки x_1, x_2, x_4 на відповідних приводних барабанах з рушійними зусиллями F_1, F_2 , що розвиваються приводними електродвигунами, на відповідних приводних барабанах

$$a_{11}(p) \cdot x_1(p) + a_{12}(p) \cdot x_2(p) + a_{14}(p) \cdot x_4(p) = F_1 - a_{1F}; \quad (3)$$

$$a_{21}(p) \cdot x_1(p) + a_{22}(p) \cdot x_2(p) + a_{24}(p) \cdot x_4(p) = F_2; \quad (4)$$

$$a_{31}(p) \cdot x_1(p) + a_{32}(p) \cdot x_2(p) + a_{34}(p) \cdot x_4(p) = -a_{3F}; \quad (5)$$

$$a_{41}(p) \cdot x_1(p) + a_{42}(p) \cdot x_2(p) + a_{44}(p) \cdot x_4(p) = -a_{4F}, \quad (6)$$

де $a_{11} = A_1 p^2 + 4\eta p + (c_1 + c_3)$; $a_{22} = A_2 p^2 + 4\eta p + (c_1 + c_2)$;
 $a_{44} = A_4 p^2 + 4\eta p + (c_3 + c_e)$; $a_{12} = a_{21} = b p^2 - 2\eta p - c_1$; $a_{14} = a_{41} = d p^2 - 2\eta p - c_3$;
 $a_{23} = a_{32} = c p^2 - 2\eta p - c_2$; $a_{34} = a_{43} = a p^2 - 2\eta p - c_e$; $a_{24} = a_{31} = a_{42} = a$;

$$\begin{cases} a_{1F} = 0,5 \cdot q_n \cdot l_3 \cdot g \cdot \omega''; \\ a_{3F} = 0,5 \cdot q_e \cdot l_5 \cdot \omega' \cdot g; \\ a_{4F} = 0,5 \cdot (q_e \cdot l_5 \cdot \omega' + q_n \cdot l_3 \cdot \omega'') \cdot g. \end{cases} \quad (7)$$

де g - прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Тобто, матриця коефіцієнтів

a_{11}	a_{12}	a_{14}
a_{21}	a_{22}	a_{24}
a_{31}	a_{32}	a_{34}
a_{41}	a_{42}	a_{44}

перетворилася на матрицю

$A_1 p^2 + 4\eta p + (c_1 + c_3)$	$b p^2 - 2\eta p - c_1$	$d p^2 - 2\eta p - c_3$
$b p^2 - 2\eta p - c_1$	$A_2 p^2 + 4\eta p + (c_1 + c_2)$	a
a	$c p^2 - 2\eta p - c_2$	$a p^2 - 2\eta p - c_e$
$d p^2 - 2\eta p - c_3$	a	$A_4 p^2 + 4\eta p + (c_3 + c_e)$

Висновки та напрямки подальших досліджень. Вимірюючи струм I_d у ланці постійного струму перетворювача частоти і, знаючи, що він пропорційний зусиллю приводів можна за його величиною судити про опір руху стрічки ω' . Залежно від збільшення струму можна визначати стан ролика, вирішивши систему рівнянь (2-7) відносно ω' і F . Номер ролика (тобто відстань l_i) можна обчислювати за допомогою датчика шляху.

Щоб розробити методику аналізу стану барабанів і роликів вантажної гілки, яка найбільш схильна до деформацій, необхідно привести 1-й, 2-й і 4-й барабани до одного і по черзі розглядати взаємодію цього приведенного барабана і кожного ролика вантажної гілки. Подальші дослідження будуть проведені на цій моделі із застосуванням якого-небудь дослідницького пакету, наприклад, MatLab.

Окрім вказаних вимог до приводу під час випробувань, потрібне оптимальне поєднання формування законів управління параметрами системи: потокозчепленням і швидкістю [15] з метою зменшення втрат в асинхронному двигуні і точнішої діагностики роликів і барабанів.

Для прийнятих умов (статичний момент M_c дорівнює моменту холостого ходу $M_{x.x}$: $M_c = M_{x.x} = \text{const}$) найбільш прийнятними законами управління потокозчепленням є підтримка $\psi_f = \text{const}$, що і забезпечується, при $M_c = \text{const}$. При цьому розвиток швидкості має бути лінійним [15]. Підтримка максимальної величини потокозчеплення призводить до гасіння кидків струму, а значить до зменшення похибок при аналізі несправностей роликів і барабанів.

Для перевірки збіжності результатів криві, отримані в результаті математичного моделювання необхідно порівняти з реальними кривими зміни параметрів руху стрічки конвеєра, отриманими експериментальним шляхом. Розбіжність результатів може бути пояснена наступними чинниками: неоднорідністю конвеєрної стрічки; похибкою методу кусочно-лінійної апроксимації передатних функцій високого порядку передатними функціями другого порядку.

Список літератури

1. Шендеров А.И., Емельянов О.А., Один И.М. Надежность и производительность комплексов горнотранспортного оборудования. – М.: Недра, 1976. – 247с.
2. Н. Lauhoff, Speed Control on Belt Conveyors - Does it Really Save Energy? Bulk solids handling • Vol. 25 (2005) No. 6, p.368-377 http://www.synergy-eng.com/pdf/BSH-2005_Beltspeed_Lauhoff.pdf
3. Смирнов В.К., Монастырский В.Ф., Демин Г.К. и др. Экспериментальные исследования эффективности работы ленточного конвейера при транспортировании крупнокузовых грузов: Сб. Шахтный и карьерный транспорт. – М., 1980. – С. 78-84.
4. Эрлих Г.Л. Теоретическое исследование крупнокузового грузопотока, поступающего на конвейер: Сб. Шахтный и карьерный транспорт. – М., 1977. – С. 57-62.
5. Новиков Е.Е., Смирнов В.К. Теория ленточных конвейеров для крупнокузовых горных пород. – К.: Наук. Думка, 1983. – 184 с.
6. Кондратенко М.Н. Оценка технического состояния тяговых роликів ленточных конвейеров // Сборник научных трудов национальной горной академии Украины. – Дн-ск, 2001. – №11. т. 2. – с.99-102

7. Назаренко В.М, Кондратенко М.М. Система діагностування стану роликів конвеєрів: шляхи вирішення // Вісник КТУ. – 2004. – №4. – с. 77-79.
8. Кондратенко М.М, Савицький О.І. Система автоматизованого контролю стану роликів конвеєра // Криворізький техн. ун-т.: Вісник КТУ: 36. наук. праць. – Кривий Ріг, 2006. – Вип.15. – С. 147-150.
9. Сокотнюк Ю.А. Система автоматического управления наклонным ленточным конвейером: Автореферат диссертации кандидата технических наук: 05.13.07/ДГИ – Дн-ск, 1987. – 16 с.
10. Запенин И.В., Бельфер В.Е., Селищев Ю.А. Моделирование переходных процессов ленточных конвейеров. – М.: Недра, 1969. – 56 с.
11. Назаренко В.М. Режимы работы автоматизированных ленточных конвейеров рудоподготовительного производства: Диссертация доктора технических наук: 05.13.07, 05.05.06/ИГТМ. – Дн-ск, 1990. – 455 с.
12. Мелкозеров П.С. Энергетический расчет систем автоматического управления и следящих приводов. – М.: Энергия, 1968. – 304 с.
13. Савицкий А.И. «Автоматизация конвейерного транспорта с изменяющейся производительностью» Автореферат диссертации канд. техн. наук: 05.13.07/КГРИ – Кривой Рог, 2000. – 16 с.
14. Назаренко В.М., Сокотнюк Ю.А. Передаточные функции ленточного конвейера как объекта регулирования // Известия ВУЗов. Электромеханика. – 1986. – №1. – с. 110-114.
15. Economic evaluation of efficiency of investments into energy-saving controlled electric drives of conveyers of mining and processing works. Krutov G., Savitskyi A.I. 2014, Metallurgical and Mining Industry, No.6, p.78-81.

Рукопис подано до редакції 21.03.15

УДК 519.237.7: 621.771.065

К.В. ГЕРАСИМОВА, Г.І. ТКАЧЕНКО, кандидати техн. наук, доц.
А.А. ШЕПЕЛЬ, аспірантка, Криворізький національний університет
О.А. САМОЙЛЮК, ПАТ «ПівдГЗК»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОПОРУ ДЕФОРМАЦІЇ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ ШИРОКИХ СМУГ

Для дослідження впливу опору деформації на технологічні параметри процесу гарячої прокатки широких смуг з використанням комплексу прикладних програм була побудована математична модель і здійснений планований чисельний експеримент. Виконано розрахунок енергосилових параметрів гарячої прокатки. Встановлені залежності опору деформації від температури прокатки для найбільш використовуваних марок сталі, що дозволило скорегувати їх оптимальний хімічний склад з урахуванням температурного режиму прокатки.

Температурний режим прокатки в безперервних станах виявляє суттєвий вплив на механічні властивості, опір деформації, структуру і якість прокату. Одночасно температурний режим впливає на напружений стан, стійкість і профіль валків, визначаючи точність прокату. Аналіз технічної літератури та патентної документації дозволяє стверджувати, що до 80 % патентів і публікацій присвячені техніці та технології управління температурним режимом прокатки примусовим охолодженням заготовки водою, повітрям і водо-повітряними сумішами. В інших джерелах представлені матеріали по техніці і технології управління температурним режимом прокатки зниженням температури нагріву металу перед прокаткою або зміною кількості використовуваних робочих клітей (безперервної листової прокатки).

Ключові слова: прокатка, температурний режим, технологічні параметри, математична модель.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Жорсткі економічні відносини на внутрішньому і зовнішньому ринках, обумовлюють новий рівень вимог до готової продукції чорної металургії. Це повною мірою стосується прокатного переділу, в тому числі - виробництва гарячекатаних смуг на широкоштабових станах.

Зниження енергоємності виробництва і собівартості продукції вимагає підвищення ступеня наукової обґрунтованості прийнятих в кожному конкретному випадку технічних рішень. Враховуючи специфіку металургійного виробництва, треба зазначити, що при проведенні наукових досліджень пріоритетними остаються методи автоматизованого регулювання та керування технологічними режимами роботи прокатних станів гарячої прокатки, практична реалізація теоретичних підходів.

В реальних умовах технологічного процесу неможливо абсолютно точно і адекватно врахувати всю доступну вихідну інформацію. Підвищення ефективності виробничих процесів неможливо без удосконалення і розроблення нових методів моделювання.

Використання в теорії прокатки математичних моделей дозволяє передбачувати результати внесення тих або інших змін в технологію процесу або конструкцію прокатного стану. Це

дозволяє обрати оптимальний варіант рішення поставленого завдання, у даному випадку зниження енергетичних витрат, і свідчить об актуальності роботи.

Аналіз досліджень і публікацій. Суттєвий вплив на витрати енергії і якість прокату має температурний режим прокатки. Правильно вибраний тепловий режим залежить від вихідної температури, розподілу обтиснень по клітям, швидкості прокатки, пластичних властивостей прокату і застосування охолоджуючих засобів [1,2].

Температурний режим прокатки в безперервних станах виявляє суттєвий вплив на механічні властивості, опір деформації, структуру і якість прокату. Одночасно температурний режим впливає на напружений стан, стійкість і профіль валків, визначаючи точність прокату. Аналіз технічної літератури та патентної документації дозволяє стверджувати, що до 80 % патентів і публікацій присвячені техніці та технології управління температурним режимом прокатки примусовим охолодженням заготовки водою, повітрям і водо-повітряними сумішами. В інших джерелах представлені матеріали по техніці і технології управління температурним режимом прокатки зниженням температури нагріву металу перед прокаткою або зміною кількості використовуваних робочих клітей (у випадку безперервної листової прокатки) [3-5].

Опір деформації є найважливішою характеристикою деформованої сталі, яка визначає енергосилові та кінематичні параметри процесу прокатки. Величина опору деформації визначається хімічним складом і структурою металу, температурно - швидкісними умовами деформації [6].

Виконаний огляд і критичний аналіз наукової літератури з досліджувального питання показав, що для розрахунку опору деформації найбільш широко використовуються методики авторів, представлених в табл. 1.

Таблиця 1

Автори методик розрахунку опору деформації

1	Зюзін В.І., Бровман М.Я.	9	Салганік В.М. та ін.
2	Андреюк Л.В., Тюленев Г.Г., Прицкер Б.С.	10	Ніколаєв В.А.
3	Андреюк Л.В., Тюленев Г.Г.	11	Шиндлер І. та ін.
4	Хензель Х., Шпиттель Г.	12	Бояршинов М.І., Полушкин В.П.
5	Гайдук М., Конвічний Й.	13	Музалевський О.Г. та ін.
6	Шевцов В.К., Руденко Є.А.	14	Руденко Є.А.
7	Мазур В.Л., Хижняк Д.Д.	15	ДонНДІчермет
8	Крайнов В.І., Кропачев В.Є.	16	Погоржельський В.І.
		17	Солод В.С., Бейгельзімер Я.Є., Кулагін Р.Ю.

Проте обмеженість досліджень окремими експериментами в певних технологічних умовах, необхідність і трудомісткість визначення великої кількості емпіричних коефіцієнтів і залежностей роблять ці методи і методики обмеженими для загального практичного використання. Разом з тим слід відзначити, що ці роботи в наш час перевіряються практикою і, певною мірою, ще вимагають доопрацювання і вдосконалення. До основних недоліків цих методів слід віднести ту обставину, що вони вимагають наявності важкоодежованої і (або) невизначеної інформації (наприклад, про фізико-механічні властивості металу, критерії руйнування, різні коефіцієнти та ін.). Стандартні програмні комплекси дозволяють вирішувати завдання лише в загальному вигляді; урахування специфіки конкретного технологічного, або фізико-механічного процесу потребує значних доробок програмного забезпечення.

Використання ймовірнісних та статистичних методів дозволяє отримати більш достовірну оцінку відповідних процесів ОМТ, що досягається відповідною обробкою вихідної інформації. Головна перевага числових комп'ютерних методів у їх гнучкості до варіацій вихідної інформації і можливості швидкого виконання аналізу впливу різноманітних визначальних змінних параметрів на механічні властивості та геометрію металу при його обробці.

Постановка завдання. Метою роботи є: - розроблення математичні моделі з автоматизованого розрахунку параметрів процесу гарячої прокатки, що враховує реальний характер зміни вихідних технологічних параметрів; - встановлення залежності опору деформації від температури прокатки для найбільш використовуваних марок сталі, що дозволило скоригувати їх оптимальний хімічний склад з урахуванням температурного режиму прокатки.

Викладення матеріалу та результати. Розрахунок опору деформації σ_s виконувався за емпіричною формулою (2) [7], яка дозволяє отримати миттєве значення опору деформації у широкому діапазоні хімічного складу сталей (табл. 2).

Таблиця 2

Хімічний склад марок сталей

Марка сталі	Хімічний склад, %								
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
Ст 45	0,460	0,270	0,650	0,125	0,020	0,018	0,125	0,125	0,040
Ст3сп	0,180	0,225	0,525	0,150	0,025	0,020	0,150	0,150	0,040
09Г2С(Д)	0,060	0,650	1,500	0,150	0,020	0,018	0,150	0,225	0,040

Дана методика дозволяє розрахувати опір деформації в будь-якій точці осередку деформації залежної від температури, швидкості та накопиченої швидкості деформації в даній точці. При цьому забезпечується можливість розрахунку тиску металу на валки і моменту прокатки з використанням диференціальних рівнянь контактних напружень, не виконуючи їх аналітичні перетворення з достатньо грубими припущеннями.

$$\sigma_s = \sigma_y + (\sigma_p - \sigma_y) \left\{ \frac{2\varepsilon_x - \varepsilon_p}{\varepsilon} \exp\left(\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_x}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{\varepsilon}{\varepsilon_x}\right) \right] - \exp\left(\frac{\varepsilon_p - \varepsilon}{\varepsilon_x}\right) \right\}, \quad (2)$$

де $\sigma_y = 51,23(Z/A)^{0,133}$ - напруження, при якому встановилась рівновага зміцнення і динамічної рекристалізації; $\sigma_p = 72,22(Z/A)^{0,133}$ - максимальний опір деформації; $\varepsilon_p = 0,236(Z/A)^{0,109}$ - логарифмічна деформація максимуму деформаційного зміцнення; $\varepsilon_x = 0,194(Z/A)^{0,109}$ - відносна деформація, яка відповідає початку динамічної рекристалізації; $Z = u \cdot \exp(Q/8,318T)$ - комплексний температурно-швидкісний параметр ($8,318 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \text{ К}^{-1}$ - універсальна газова стала); T - температура деформації, К; u - швидкість деформації, с^{-1} ; Q - енергія активації деформації.

Для розрахунку змінної температури металу, що проходить через і-ю кліть використовувалась наступна формула [9]

$$T_i = T_0 - \left[T_0 + 273 - \left(1000 / \sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{t+273}{100} \right)^3} + 0.055 \frac{\tau}{H_i}} \right) \right],$$

де τ - час прокатки, с; H_i - товщина смуги перед кліттю, мм.

Зміна температури штаби в процесі прокатування впливає на опір деформації матеріалу штаби і на коефіцієнт тертя, а через них на всі параметри процесу. Це означає що теплова взаємодія штаби з валками є одним з основних факторів, що впливають на пластичну деформацію металу при прокатці. [10,14]

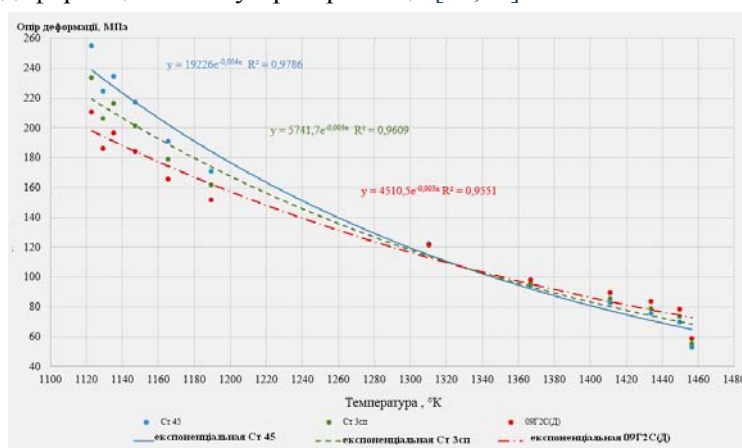


Рис. 1. Вплив температури на зміну опору деформації при гарячій прокатці для трьох марок сталі

На рис. 1 представлено залежність опору деформації від температури для трьох марок сталі, а саме : Ст45, Ст 3 сп, 09Г2С(Д), які є основним сортаментом при гарячій прокатки широких смуг на стані 1700 ММК ім. Ілліча. На представлених графіках (рис. 1) видно, що хімічний склад металу безпосередньо впливає на опір деформації

Підвищення температури впливає на опір деформації так, що при найменшому значенні температури величина опору деформації найбільша. Криві при температу-

рах від 1123К до 1190К розташовані практично паралельно одна одній. В точці з температурою 1310 К криві пересікаються.

На рис 2,3 представлено встановлені залежності опору деформації від довжини осередку деформації та від швидкості прокатки

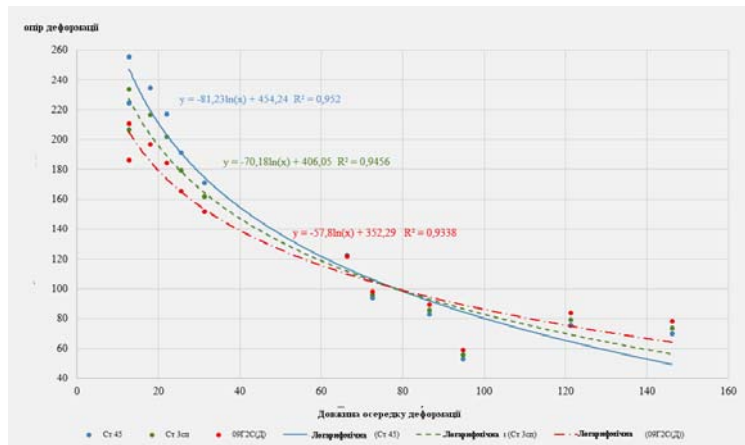


Рис. 2. Вплив довжини осередку деформації на опір деформації року сталі. Це дозволило скоригувати їх оптимальний хімічний склад з урахуванням температурного режиму прокатки.

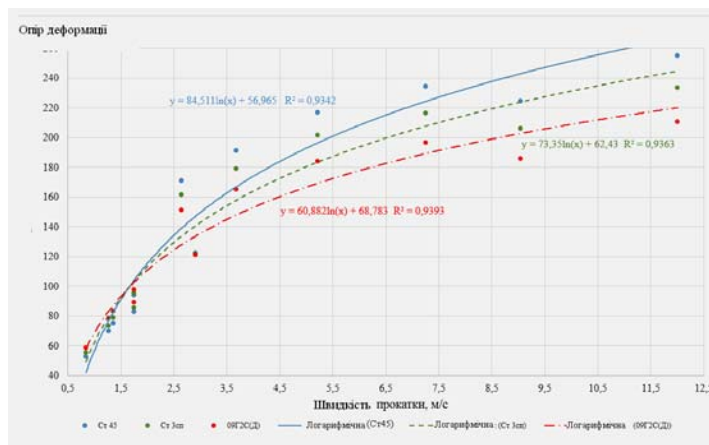


Рис. 3. Вплив швидкості прокатки на опір деформації

производства № 5 1(19), 2014 С. 45-51.

5. Зюзин В. И., Бровман М. Я., Мельников А. Ф. Сопротивление деформации сталей при горячей прокатке. - М.: Металлургия, 1964. - 270 с.

6. Бережний М.М. Теплова деформація залізвуглецевих сплавів та їх вплив на діаграму стану Fe - C. / М.М. Бережний, В.А. Чубенко, А.А. Хіноцька, С.О. Мацишин // Вісник Криворізького технічного університету: Кривий Ріг, 2010. – Вип. 25. – С. 176-179.

7. Солод В. С. Бейгельзимер Я. Е., Кулагин Р. Ю. Математическое моделирование сопротивления деформации при горячей прокатке углеродистых сталей // Металл и литье Украины. 2006. № 7–8. С. 52–56.

8. Ткаченко Г.І., Шепель А.О. Комп'ютерна програма «Пакет прикладних комп'ютерних програм «Rolling». Державна служба інтелектуальної власності України. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №56980

9. Остапенко А.Л., Забира Л.А. Сопротивление деформации сталей при прокатке и методики его расчета // Черная металлургия. Бюлл. ин-та «Черметинформация», 2009. - №3. - С. 54-79.

10. Технология процессов прокатки и волочения. Листопркатное производство [текст]: учебн. / М.М. Сафьян, В.Л. Мазур, А.М. Сафьян, А.И. Молчанов. – К. : Вища школа, 1988. – 352 с.

11. Использование метода линии скольжения и теоремы о верхней границе для расчета случая сжатия со сдвигом листа. 1. Исследование прокатки с различными скоростями верхнего и нижнего рабочих валков / Mizutani T., Shiozaki H., Jimma T., Mikami M. – Сосей то како. Journal of Japan, Society for Technology of Plasticity, 1982, vol. 23, N 258, p.p. 714 - 721.

12. Самойлюк О.А., Ткаченко Г.І., Шепель А.О. Дослідження об'єму осередку деформації при прокатуванні штаби у гладких валках / Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг: КНУ, 2014.- Вип. 37.- С. 187-192.

13. Федоринов В.А., Добряк С.К., Удовенко С.Н. Математическое моделирование основных показателей качества холоднокатаных лент и полос при прокатке на многовалковых станах // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. – Краматорськ: ДДМА. – 2000. – С. 313–315.

14. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика. - Справочное изд., в 2-х книгах. - Книга 1.- Производство листов и полос. - М. : «Теплотехник», 2008.- 640с
Рукопис подано до редакції 17.04.15

На графіку чітко видно, що інтенсивне зниження опору деформації спостерігається при швидкостях від 0,5 до 1,8 м/с

Висновки та напрямки подальших досліджень. Розроблений комплекс прикладних програм, враховуючи реальний характер зміни вихідних технологічних параметрів, дозволив встановити залежності опору деформації від температури прокатки, швидкості деформації і довжини осередку деформації для найбільш використовуваних марок сталі.

Список літератури

1. Никитин Г.С. Расчет энергосиловых параметров при горячей прокатке в непрерывной группе сортового стана : метод. указания / Г.С. Никитин, А.А. Восканьянц, К.А. Крюков. – М.: Изд-во МГТУ им. Г.Э. Баумана, 2010.

2. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. – Теория продольной прокатки. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.

3. Шепель А.А. Разработка энергосберегающих режимов процесса горячей прокатки широких полос / Гірничий вісник. – Кривий Ріг: КНУ, 2015.- Вип. 99.- С. 119-124.

4. Шепель А.А. Совершенствование технологий и оборудования процесса прокатки на широкополосных станах первого поколения / Технологический аудит и резервы

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф.,
О.Ю. ЄРЬОМЕНКО, М.О. ВАЛОВОЙ, кандидати техн. наук, доц.,
Криворізький національний університет

КОРОЗИЙНА СТІЙКІСТЬ БЕТОНІВ НА ЗАПОВНЮВАЧАХ З ВІДХОДІВ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

На теперішній час в будівництві активно використовують багатокомпонентні дрібнозернисті бетони. Однією з переваг останніх є можливість використання місцевих матеріалів, в тому числі відходів промисловості.

Натурні спостереження показують, що бетонні будівельні конструкції та споруди в процесі експлуатації стають не придатними до подальшої експлуатації раніш відведеного терміну, внаслідок дії агресивного середовища. В свою чергу це призводить до додаткових витрат на їх ремонт, а також на будівництво нових споруд. Підвищити корозійну стійкість таких конструкцій можна за рахунок раціонального вибору в'язучих та застосування активних заповнювачів. Ефективними методами підвищення корозійної стійкості бетонів і конструкцій на їх основі є застосування заповнювачів з відходів гірничорудної та металургійної промисловості. Останні дозволяють зменшити матеріаломісткість виробництва заповнювачів, поліпшити якість, зменшити собівартість продукції, частково вирішити питання утилізації промислових відходів. Наразі, в літературі, немає чітких науково-обґрунтованих рекомендацій щодо раціонального застосування бетонів з різними активними заповнювачами в тих агресивних середовищах, де їхня перевага проявляється найбільшою мірою.

Підвищити стійкість бетону по відношенню до дії основних видів корозії можна шляхом використання таких активних заповнювачів, як доменні шлаки, а також шлаки фосфорного виробництва. Аналіз існуючих, на теперішній час, експериментальних даних, стосовно опору дрібнозернистих бетонів на відходах гірничорудної та металургійної промисловості, дії агресивного середовища дозволяє зробити наступні, попередні, висновки:

заміна граніту на заповнювач із гідралічно-активних матеріалів, наприклад, доменний гранульований шлак, підвищує корозійну стійкість бетонів в розчинах сульфатів натрію і магнію, а також в кислих середовищах;

використання відходів мінераловатного виробництва, в якості заповнювача, призводить до підвищення опору бетону дії сірководневого агресивного середовища в порівнянні з бетонами на "класичних", інертних заповнювачах.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Проблема довговічності бетону та залізобетону виникла більше ста років тому і з часом, у зв'язку з величезними масштабами застосування цих будівельних матеріалів, гострота і значимість цього питання тільки зростала. Особливо інтенсивно роботи з вивчення механізму і кінетики корозійних процесів проводилися у другій половині минулого століття. Наростання інтенсивності досліджень по вивченню стійкості будівельних матеріалів в агресивних середовищах пояснюється насамперед економічними причинами. Корозія будь-якого виду завдає великої шкоди економіці країни, і боротьба з нею вимагає величезних матеріально-технічних витрат. Згідно різних відомостей дочасного вичерпання несучої здатності зазнають від 15 до 75 % будівельних конструкцій в результаті корозії бетону того чи іншого виду [1].

У світі налічується понад 1000 найменувань техногенних продуктів, перспективних для застосування у вигляді вторинної сировини. Основними видами техногенних продуктів України є золи і шлаки ТЕС, відходи вуглевидобутку гірничо-збагачувальних комбінатів, переробки горючих сланців, металургійні відходи та ін. Встановлено, що одним з шляхів підвищення корозійної стійкості бетону є раціональний вибору в'язучих та застосування заповнювачів з відходів гірничорудної та металургійної промисловості у якості активних заповнювачів. Застосування останніх не тільки дозволяє підвищити корозійну стійкість бетонних та залізобетонних конструкцій, а і знизити собівартість таких конструкцій, розв'язати певні екологічні проблеми пов'язані з утилізацією відходів промислового виробництва.

Незважаючи на величезну кількість робіт в області корозії бетонних і залізобетонних конструкцій, виконаних в останні десятиліття в промислово розвинених країнах світу, проблема ця залишається до теперішнього часу актуальною. Показником цього є велике число міжнародних конференцій, присвячених загальним питанням корозії бетону та залізобетону і окремим аспектам цієї проблеми. Проводяться поглиблені дослідження, здавалося б, добре вивчених питань і відкриваються нові аспекти проблеми. З появою нових експериментальних даних виникають нові напрямки досліджень. Нові умови застосування бетону та залізобетону, нові конструкції, характеристики навколишнього середовища що змінюються, розробка нових в'язучих, модифі-

каторів, покращених рецептур бетону ставлять нові завдання перед фахівцями в області технології, корозії та захисту будівельних конструкцій і створюють нові умови для розв'язання поставлених завдань. Накопичено великий експериментальний матеріал. Мається необхідність узагальнити результати виконаних досліджень, з тим, щоб уточнити норми проектування захисту бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії.

Аналіз досліджень і публікацій. Як відомо, корозія будівельних матеріалів представляє собою процес перенесення агресивного компонента в порах тіла, що супроводжується розчиненням твердої фази, хімічними реакціями з виділенням новоутворень та ін. Розглянемо основні види корозії, яких зазнає бетон в будівельних конструкціях.

Корозія вилуговування зумовлена тим, що коли бетонний виріб омивається м'якою водою, що містить мало іонів Ca^{2+} (р), відбувається розчинення в ній гідроксиду кальцію, який знаходиться в його поверхневому шарі [2]. У першу чергу при корозії вилуговування розчиняється вільний гідроксид кальцію (портландіт), розчинність якого при кімнатній температурі дорівнює 1,6 г/л. Вміст портландіта в цементному камені після повної гідратації може складати до 20-30% по масі.

Кислотна корозія має подібний з викладеним механізм, у середовищі таких кислот, як соляна, азотна, оцтова, молочна кислота і т.ін. Відмінність її від корозії вилуговування полягає в тому, що в даному випадку відбувається не гідроліз і розчинення в воді гідросилікатів кальцію та інших гідратних фаз, а руйнування останніх у водних розчинах кислот, сильніших, ніж крем'яні кислоти.

Складнішою є вуглекислотна корозія. Відомо, що в залежності від фазового стану агресивного агента, вуглекислотна корозія має різний механізм [3]. У всіх кліматичних зонах земної кулі всі без винятку будівельні вироби і конструкції зазнають впливу вуглекислого газу, що міститься в атмосфері в кількості близько 0,02 % за масою. У великих мегаполісах, на територіях промислових підприємств, а також поблизу автотрас з інтенсивним рухом вміст у повітрі CO_2 може бути в кратне число разів вище. Таким чином, корозія під впливом вуглекислого газу має глобальний характер. При правильному виборі в'язучого вона практично безпечна для бетону, але, викликаючи різке зниження лужності середовища цементної матриці через зв'язування гідроксиду кальцію, вона викликає депасивацію сталевих арматур залізобетонних виробів і конструкцій. Завдяки цьому саме корозія під впливом вуглекислого газу визначає терміни безаварійної експлуатації будівель і споруд із залізобетону.

Від цих видів корозії відрізняється сульфатна. Корозія в сульфатних середовищах супроводжується утворенням еттрінгіта і гіпсу, які викликають розширення цементного каменю. Останнє, очевидно, викликає декольматацію і запобігає захисній дії шару продуктів корозії.

При біологічній корозії цементного каменю мікроорганізми, завдяки інтенсивному розмноженню в порах бетону, роблять основний період процесу прискорюваним в часі, тому вона відрізняється рядом специфічних особливостей.

На практиці часто агресивні середовища мають багатоконпонентний склад, наприклад, містять іони магнію і мають кисле середовище.

Однією з головних умов корозійної стійкості бетону при дії на нього агресивних середовищ вважають хімічний склад цементу і щільність бетону. Однак дослідженнями встановлено, що слабкою ланкою структури будівельних матеріалів конгломератного типу є контактні поверхні між в'язучим і заповнювачем, саме по них відбувається дифузія агресивних агентів вглиб бетону [4-7]. Від характеру контактного шару залежить монолітність, проникність, а, отже, і стійкість бетону [8].

Таким чином, довговічність бетону при дії на нього агресивних середовищ залежить не тільки від виду та витрат в'язучого, В/Ц і щільності, форми та гранулометрії заповнювача, але в значній мірі від зчеплення між цементним каменем і заповнювачем, визначеним взаємодією цементного каменю і заповнювача.

Підвищити стійкість бетону по відношенню до дії сульфатних і магнезіальних середовищ можна шляхом використання, як заповнювачів, доменних шлаків, а також шлаків фосфорного виробництва [9-14]. Більш високу стійкість бетону на шлаковому заповнювачі показують і в розчинах хлоридів.

Вплив заповнювачів з доменних шлаків на корозійну стійкість дрібнозернистого бетону в середовищі сульфатів натрію і магнію, соляної, сірчаної та оцтової кислот було досліджено

Ш. Нурматовим під керівництвом Ш.М. Рахімбаєва в 1965 р. Тоді ж був встановлений механізм позитивної дії заповнювачів з доменних шлаків на соле-і кислотостійкість бетонів і дано обґрунтування пошуку нових хімічно-активних заповнювачів.

Встановлено [15], що дрібнозернисті бетони на основі доменного гранульованого шлаку характеризуються більш високою корозійною стійкістю в агресивних середовищах багатокомпонентного складу, що містять кілька агресивних агентів (цукор, жирні кислоти, сірководень, молочну та оцтові кислоти, як метаболіти життєдіяльності мікроорганізмів і т.ін.). В умовах газоподібної корозії, що містить пари неорганічних кислот, таких як соляна і сірчана, ефект активного заповнювача при використанні дрібнозернистих бетонів із заповнювачем з доменного гранульованого шлаку виражений слабше.

У роботах Н.І. Федініна та ін. [16] проведені дослідження на стійкість дрібнозернистого шлакобетону в розчинах сульфату натрію, хлориду магнію та в дистильованій воді. Результати досліджень показали, що в дистильованій воді шлакобетон практично не кородує та характеристики міцності його не змінюються. Магnezіальних корозія також не відбувалася.

Найбільш широко в якості заповнювачів застосовують доменні й мартенівські шлаки. За даними авторів [17], розчини на доменному шлаку повітряного охолодження схильні карбонізації в більшій мірі, ніж на річковому піску. У роботі [18] відзначається, що глибина карбонізації бетону на гранульованому доменному шлаку зі зростанням кількості шлаку зменшується.

Отже, немає загальної думки з цього питання, отже необхідні подальші дослідження в цій галузі.

Постановка завдання. Одним з важливих аспектів проблеми створення бетонів нового покоління є оцінка їх стійкості в різноманітних умовах експлуатації. У даній роботі, на основі існуючих експериментальних даних [15,19,20], обґрунтовується ефективність застосування відходів гірничорудної та металургійної промисловості в якості заповнювачів бетонів, які зазнають впливу агресивного оточуючого середовища багатокомпонентного складу.

Викладення матеріалу та результати. Згідно до означеної мети були проаналізовані результати експериментальних досліджень виконаних в різний час окремими дослідниками [15, 19,20].

Для оцінки корозійної стійкості дрібнозернистого бетону на заповнювачах з техногенної сировини в розчинах сульфатів натрію і магнію виготовлялися зразки балочок розміром 2,5×2,5×10 см. Хімічний склад заповнювачів, які використовувалися в бетонних зразках для дослідження впливу сульфатної корозії наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад використовуваних шлаків, %

Шлак	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	R ₂ O ₃	S
Доменний гранульований шлак	38,11	47,85	2,79	6,07	1,46	2,02	1,86
Електротермофосфорний шлак	43,24	45,51	1,24	2,81	1,65	0,91	0,45
Відходи мінераловатного виробництва (ВМВ)	42,55	36,36	7,85	10,36	0,23	-	-

Як заповнювач-еталон використовували гранітний заповнювач.

При проведенні випробувань на стійкість зразків від впливу сульфатної корозії керувались тим, щоб було забезпечено відповідність кінетики та механізму хімічних процесів в лабораторних і реальних умовах.

Враховуючи концентрацію розчину (3%-ий розчин) витрата агресивного середовища на одну балочку складала 250 мл. Зразки кожного складу випробовувалися на згин та на стиск - половинки, які залишилися після випробування на згин.

В якості кількісної характеристики корозійної стійкості зразків дрібнозернистого бетону використовували, крім механічної міцності, коефіцієнт стійкості (КС), що представляє собою відношення межі міцності зразків, що зберігалися в агресивних розчинах, до міцності аналогічних зразків, що тверділи у воді, і коефіцієнт, що характеризує відношення межі міцності після випробувань до межі міцності зразків перед зануренням в агресивне середовище.

Терміни випробувань на міцність відповідали: 1;3;6;12 міс.

Результати випробувань на корозійну стійкість, наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Міцність зразків дрібнозернистого бетону в розчинах сульфатів натрію і магнію, МПа

Вид заповнювача	В/Ц	В'язуче	Середовище зберігання	Терміни випробувань, діб												R_{cm}^{360} / R
				перед випробуваннями		7		28		90		180		360		
				$R_{зг}$	$R_{ст}$	$R_{зг}$	$R_{ст}$	$R_{зг}$	$R_{ст}$	$R_{зг}$	$R_{ст}$	$R_{зг}$	$R_{ст}$	$R_{зг}$	$R_{ст}$	
Шлак	0,48	ПЦ400	3%-й розчин Na_2SO_4	9,3	28,6	8,4	36,8	7,1	26,2	8,2	22,9	7,2	22,7	7,4	23,3	0,81
Граніт	0,38			12,8	40,3	12,4	51,2	12,0	42,7	12,6	40,1	11,8	38,4	10,0	29,1	0,72
Шлак	0,48		3%-й розчин $MgSO_4$	8,9	40,2	10,4	40,1	11,8	27,5	12,2	32,0	10,9	21,4	12,0	19,9	0,5
Граніт	0,38			10,6	46,0	11,1	41,4	11,9	26,5	11,4	27,3	10,6	24,1	9,6	24,4	0,53

Міцність бетону на шлаковому заповнювачі була нижчою, ніж на гранітному в усі терміни випробувань, але зниження міцності при стисненні в розчинах сульфатів натрію і магнію йшло повільніше, ніж у бетону на гранітному заповнювачі, про що свідчать значення коефіцієнта R_{cm}^{360} / R_{cm}^0 . При цьому спостерігалось незначне зниження межі міцності при згині для всіх складів. Це свідчить про позитивний вплив шлакового заповнювача на підвищення корозійної стійкості бетону.

Для оцінки впливу кислотної корозії використовували шлак природної гранулометрії і кварцовий пісок як еталон. Випробування проводили на зразках розміром 2,5×2,5×510 см, складу Ц:П=1:3. Після 28 діб водного твердіння зразки занурювали в агресивне середовище кислих стічних вод. За вмістом сульфатів і величиною рН стічні води характеризуються сильним ступенем агресивності до звичайного портландцементу. Процеси корозії, що протікають під впливом стоків, аналогічні дії сірчаної кислоти.

Результати випробувань наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Міцність зразків дрібнозернистого бетону в стічних водах, МПа

Вид заповнювача	В/Ц	Терміни випробувань, діб						R_{cm}^{360} / R_{cm}^0
		перед випробуваннями		7		28		
		$R_{зг}$	$R_{ст}$	$R_{зг}$	$R_{ст}$	$R_{зг}$	$R_{ст}$	
Кварцовий пісок	0,42	14,9	20,0	3,7	7,7	4,1	6,1	0,27
Шлак	0,78	6,2	10,7	4,0	9,2	2,8	7,2	0,45

Зразки, поміщені в агресивне середовище стічних вод, дуже швидко втрачали міцність і зменшувалися в розмірах.

Коефіцієнт зниження міцності при згині зразків бетону на кварцовому піску був менше приблизно в 1,6 рази в порівнянні з зразками бетону на шлаковому піску аналогічного складу, але чисельне значення міцності було нижче через високе В/Ц=0,78, обумовленого високою пористістю шлаку.

Випробування на корозійну стійкість в середовищі газоподібного сірководню проводилися на зразках дрібнозернистого бетону розміром 20×20×20 мм. Як заповнювачі використовували доменний гранульований шлак, відходи мінераловатного виробництва (ВМВ), граніт, склад суміші Ц:П=1:2.

В якості в'язучого використовували - ПЦ400. Результати випробувань наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Межа міцності при стисканні зразків в умовах газової сірководневої агресії, МПа

Вид заповнювача	В'язуче	В/Ц	Терміни випробувань, діб				R_{cm}^{285} / R_{cm}^0
			перед випроб.	30	90	285	
ВМВ	ПЦ400	0,35	43,6	36,0	39,8	11,5	0,26
Шлак		0,42	37,6	43,0	46,3	30,0	0,80
Граніт		0,37	68,1	55,4	38,5	Руйнув.	0

Дрібнозернистий бетон на гранітному заповнювачі характеризується різким падінням міцності вже через 3 міс випробувань. Причина полягає в тому, що портландцемент не стійкий в середовищі сірководню, тому визначальну роль відіграє вид заповнювача і сила зчеплення між заповнювачем і цементним каменем. Отже, експеримент показав, що бетон на шлаковому заповнювачі чинить більший опір корозії, ніж бетон на інертному заповнювачі.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Досліджено корозію дрібнозернистих бетонів з активними наповнювачами. Підтверджено, що заповнювачі з гідралічно активних матеріалів підвищують корозійну стійкість бетонів в розчинах сульфатів натрію і магнію, а також в кислих середовищах [15,19,20]. Це обумовлено тим, що активні заповнювачі, взаємодіючи з гідроксидом кальцію в'язучого, забезпечують підвищену щільність контактної зони штучного конгломерату і тим самим уповільнюють дифузію агресивного агента вглиб зразка.

Корозійна стійкість зразків бетону з активними заповнювачами, механізм дії яких обумовлений фізичним взаємодією із цементною матрицею бетону більше, ніж на традиційному заповнювачі, завдяки посиленню контакту між заповнювачем і цементною матрицею бетону.

Досліджувані види заповнювачів, умовно, можна розташувати в ряд у міру убавання стійкості бетонів на їх основі в агресивних середовищах: уртит-перліт-шлак-керамзит-бетонний лом-кварцовий пісок.

Список літератури

1. **В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев** Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. – М.: Стройиздат, 1980– 536 с.
2. **Бабушкин В.И.** Защита строительных конструкций / **В.И. Бабушкин.**– Харьков: Вища школа, 1989.–166 с.
3. **Алексеев С.Н.** Коррозионная стойкость конструкций в агрессивной промышленной среде / С.Н.Алексеев, Н.К. Розенталь.–М.: Стройиздат,1976.–206 с.
4. **Телесницкий, А.Ф.** Влияние растворов серной кислоты на структуру вяжущего бетона в процессе эксплуатации / **А.Ф.Телесницкий, Г.П.Тутаев** //Защита от коррозии в химической промышленности: сб. науч. тр. НИИ Техно- экономические исследования.– Черкассы, 1975.– Вып. 2. - С.112–116.
5. **Idorn G.M.** Deterioration of some concrete structure of a sulfuric acid plant/ G.M. Idorn , H. Krogh //Highway Res. Board.Spec. Rept. 1970.– №10.–P.65–66.
6. **Older I.** Structure and bond strength of cement-aggregate interface/ I.Older, A.Zurz // Bond.Cementitious Compos.: Symps., Boston, Mass., Des.2,1987.– Pitsburg, 1988.– S 21–27.
7. **Ярцев В.П.** Влияние состава на долговечность мелкозернистых бетонов / **В.П. Ярцев, А.Г. Воронков, А.В. Жариков** // Бетон и железобетон. –2006.– С.27–28.
8. **Виноградов Б.Н.** Влияние заполнителей на свойства бетонов / **Б.Н. Виноградов.**– М.: Стройиздат, 1979.– 224 с.
9. **Ермаков Г.И.** Коррозионная стойкость бетона на щебне из шлака фосфорного производства/ Г.И. Ермаков, К.А.Филатов, И.В. Шавернев //Бетон и железобетон. –1988.– №4.– С.43–44.
10. **Ю.И. Гончаров, Ш.М. Рахимбаев, М.Ю. Малькова и др.** Коррозионно-стойкие мелкозернистые шлакобетоны / **Гончаров Ю.И., Рахимбаев Ш.М., Малькова М.Ю и др.** // Строительные материалы. - 2004. - №6. - С. 38–39.
11. **Гончаров Ю.И.** Шлакобетоны с активным заполнителем / **Ю.И. Гончаров, Ш.М.Рахимбаев, М.Ю. Гончарова** // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: сб. науч. тр. науч.-практ. конф.– Ростов-на-Дону: РГСУ, 2000.– С.128–133.
12. **Ярцев В.П.** Границы работоспособности композиционных строительных материалов/ **В.П. Ярцев, О.А. Киселева** // Вестник ТГТУ.– 2004.– т. 10. –№ 2. –С.543–547.
13. **Бобык И.С.** Бетоны на граншлаке и золе ТЭС / **И.С.Бобык, И.А.Бродский** // Бетон и железобетон.–1986.– №3.–С.19–20.
14. **Бобык И.С.** Использование отходов и попутных продуктов промышленности для производства строительных материалов / **И.С. Бобык, И.А. Бродский, А.Ф. Тимошук** // Экспресс-информация. –М.: ЦБНТИ, 1987. –Вып. 6.– С. 9–10.
15. **Хахалева Е.Н.** Коррозия мелкозернистого бетона в агрессивных средах сложного состава: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.23.05 / **Хахалева Елена Николаевна.**– Белгород: БГТУ, 2005. –20 с.
16. **Федынин Н.И.** Высокопрочный мелкозернистый шлакобетон / **Н.И. Федынин, М.И. Диамант.**–М.: Стройиздат,1975.–176 с.
17. **Yoda A.** Cocrete using blast-furnace slag sand/A.Yoda // Rev.32nd Gen. Meet. Assoc. Jap. Techn. Sess., Tokio, 1978. Synops.– P. 85–87.
18. **Efec Y.** Einfluss der Zemente mit unterschiedlichem Hüttensandgehalt auf die Chloriddiffusion im Beton / **Y.Efec**//Betonwerk+Zertigteil-Techn.–1980–46.–№ 6.– S.365–368.
19. **Толыпина Н.А.**, Повышение коррозионной стойкости бетонов путём рационального выбора вяжущего и заполнителей: дис.... д-ра техн. наук: 05.23.05/ **Толыпина Наталья Максимовна.** – Белгород, 2014. – 354 с.
20. **Курочка П.Н.** Стойкость бетона в органических агрессивных средах: дис. ...д-ра техн. наук: 05.23.05 / **Курочка Павел Никитович.**– Ростов-на-Дону, 2000.– 288 с.

Рукопис подано до редакції 02.04.15

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф., В.Л. ОХРІМЧУК, аспірантка,
Криворізький національний університет

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПРОТЯЖНИХ КАМ'ЯНИХ БУДІВЕЛЬ В УМОВАХ СЕЙСМОНЕБЕЗПЕЧНИХ ТЕРИТОРІЙ

Щороку на території України сейсмологи фіксують до 100 землетрусів з незначною магнітудою. За прогнозами вчених з інституту геофізики НАН України існує велика ймовірність землетруси інтенсивністю до 9 балів за шкалою Ріхтера. Питанню сейсмостійкості будівель останнім часом приділяється велика увага. Існуючі будівлі вимагають ретельного дослідження їх технічного стану і розробки ефективної схеми реконструкції та підсилення.

Метою дослідження є визначення та аналіз технічного стану існуючих протяжних кам'яних будівель, виявлення пошкоджень та дефектів конструкцій для оцінки необхідності підсилення їх сейсмостійкості.

Для оцінки технічного стану об'єктів дослідження застосовувалося натурне обстеження з фотофіксацією, аналіз наявної документації, планів.

Для оцінки технічного стану протяжних кам'яних будівель, що експлуатуються в умовах сейсмонезбезпечних територій було розглянуто декілька споруд в різних регіонах України: житловий будинок у м. Виноградів (Закарпатська обл.), будівля залізничного вокзалу у м. Козятин (Вінницька обл.) та адміністративна будівля ЦОСПП у м. Одеса. Вивчаючи питання забудови території України, можна зробити висновок, що значна частина протяжних кам'яних будівель була збудована до 1970-х років минулого століття. Це споруди різного призначення - промислові, житлові, адміністративні та ін. До них також належать архітектурно-історичні пам'ятки Одеси, Львова та інших міст. Вразливість протяжних кам'яних будівель до сейсмічних впливів, пошкодження конструкцій в процесі експлуатації, наявність технологічних процесів і великої кількості людей в разі землетрусу можуть стати причиною не лише значних матеріальних збитків, а і людських втрат.

У ході дослідження стану існуючих протяжних кам'яних будівель отримано результати, які підтверджують необхідність їх ретельного обстеження, підтвердженого розрахунками та розробки ефективних методів підсилення. З огляду на недостатнє вивчення проблеми постає багато нових задач для подальшого дослідження.

Ключові слова: сейсмостійкість, кладка, конструкція.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Щороку на території України сейсмологи фіксують до 100 землетрусів з незначною магнітудою. За прогнозами вчених з інституту геофізики НАН України існує велика ймовірність землетруси інтенсивністю до 9 балів за шкалою Ріхтера. Питанню сейсмостійкості будівель останнім часом приділяється велика увага. У 2014 р. вийшов новий ДБН В.1.1-12-2014 «Будівництво у сейсмічних районах України», в який увійшли данні останніх досліджень і розробок. Це дозволить забезпечити сейсмостійкість об'єктів нового будівництва. Проте існуючі будівлі вимагають ретельного дослідження їх технічного стану і розробки ефективної схеми реконструкції та підсилення. Землетруси внаслідок дії високочастотних коливань являють найбільшу небезпеку для висотних будівель і споруд і тих, що мають в плані велику довжину. При визначенні сейсмічних впливів зазвичай виходять з припущення, що споруда коливається як система, в котрій на одному й тому ж рівні в будь-який момент часу всі точки плану знаходяться в однаковій фазі по переміщенням, швидкості і прискоренню при їх однаковій амплітуді. У дійсності, у зв'язку з тим, що проходження сейсмічних хвиль не миттєве, а відбувається з деякою кінцевою швидкістю, що залежить від густини ґрунту і характеристик конструкцій, різні ділянки основи по довжині будівлі коливаються асинхронно з різними величинами прискорень, що викликає в споруді додаткові поздовжні зусилля стиску-розтягу і горизонтального зсуву. При рівних інших умовах ці зусилля будуть тим більш ймовірними і суттєвими, чим більшою буде довжина будівлі. З огляду на це, особливо вразливими є кам'яні будівлі, оскільки кам'яна кладка добре працює на дію стискуючих зусиль і значно гірше сприймає зусилля розтягу, зсуву та вигину. На відміну від звичайних умов роботи кладки, коли вона в основному, сприймає статично діючі стискуючі навантаження з невеликими ексцентриситетами, при сейсмічних діях в кладці стін виникають різноманітні сполучення динамічних навантажень (в тому числі таких, що викликають вигин, зсув та розтягнення).

Аналіз останніх досліджень. Питання визначення і підвищення сейсмостійкості будівель і споруд висвітлено у роботах В.В. Болотіна, Дж. Борджеса, Дж. Блюма, Я.М. Айзенберга, Л.Ш. Килимника, К.В. Єгупова, Ю.І. Немчинова, І.Л. Корчинського, А. Я. Барашикова та ін. На сьогодні в Україні і світі активно ведеться робота з удосконалення методів розрахунку конструкцій на дію сейсмічних впливів і підвищення сейсмостійкості існуючих будівель і споруд. Проте

варто відмітити, що питання оцінки і підвищення сейсмостійкості протяжних кам'яних будівель вивчено недостатньо і потребує подальших досліджень.

Постановка мети і задач дослідження. Метою дослідження є визначення та аналіз технічного стану існуючих протяжних кам'яних будівель, виявлення пошкоджень та дефектів конструкцій для оцінки необхідності посилення їх сейсмостійкості.

Методика досліджень. Для оцінки технічного стану об'єктів дослідження застосовувалося натурне обстеження з фотофіксацією, аналіз наявної документації, планів.

Результати досліджень. Для оцінки технічного стану протяжних кам'яних будівель, що експлуатуються в умовах сейсмонебезпечних територій було розглянуто декілька споруд в різних регіонах України: житловий будинок у м. Виноградів (Закарпатська обл.), будівля залізничного вокзалу у м. Козятин (Вінницька обл.) та адміністративна будівля ЦОСПП у м. Одеса.

1. Житловий будинок на чотири під'їзди у м. Виноградів по вул. Корятівича, 7 (рис. 1) - це прямокутна будівля з розмірами у плані 12,5×68 м, п'ятиповерхова з підвалом. Рік забудови - 1954.

Основні конструктивні рішення:

фундаменти - стрічкові, з фундаментних бетонних блоків;

зовнішні і внутрішні стіни, перегородки - цегляні;

перекриття - дерев'яне по залізобетонним балкам;

сходи - двохмаршові, із збірних залізобетонних елементів;

дах - суміщений із зовнішнім організованим водовідведенням атмосферних опадів.



Рис. 1. Зовнішній вигляд житлової будівлі у м. Виноградів Закарпатської області

Конструкції будинку знаходяться у задовільному стані.

Зовнішні стіни мають пошкодження захисного штукатурного шару, ділянки систематичного замокання стін з подальшим розморожуванням та відколами шару цегли, наявні тріщини в опорядженні внутрішніх стін і перегородок (рис. 2).

2. Будівля залізничного вокзалу у м. Козятин розташована за адресою: вул. Привокзальна, 1 (рис. 3).



Рис. 2. Відколи цегли зовнішніх стін житлового будинку



Рис. 3. Зовнішній вигляд будівлі вокзалу зі сторони головного фасаду (вздовж Київської платформи)

Будівля двоповерхова з підвалом, побудована в три етапи: в XIX столітті зведена центральна частина будівлі; на початку XX століття прибудована одноповерхова частина, розмірами в плані 15×50 м, вздовж Шепетівської платформи; в 60-ті роки XX століття прибудована двоповерхова частина будівлі вздовж Київської платформи.

Основні конструктивні рішення:

фундаменти - по периметру - цегляні;

зовнішні і внутрішні стіни, перегородки - цегляні;

перекриття - дерев'яне по дерев'яним балкам;

сходи - двохмаршові, із збірних залізобетонних елементів;

дах - двоскатний з горищем по дощатій обрешітці, товщиною 25 мм із зовнішнім організованим водовідведенням атмосферних опадів.

Конструкції будівлі знаходяться у непридатному до нормальної експлуатації стані
Фундаменти мають пошкодження цегляної кладки в нижній частині з відколами фактурного шару цегли головного та дворового фасадів (рис. 4).



Рис. 4. Пошкодження конструкцій будівлі вокзалу

При візуальному обстеженні виявлені наступні масові дефекти та пошкодження зовнішніх стін будівлі: відпадання та тріщини захисного штукатурного шару, ділянки систематичного замокання стін з подальшим розморожуванням

та відколами фактурного шару цегли, наявні тріщини стін по фасадах будівлі, руйнування цегляної кладки стін на окремих ділянках, тріщини цегли стін, тріщини, в т.ч. наскрізні та пошкодження внутрішніх стін і перегородок.

В перекриттях виявлені масові тріщини, відпадиння захисного штукатурного шару стелі, трухлявість, розсихання та розтріскування дерев'яного перекриття II-го поверху.

Конструкції даху та покрівлі також мають дефекти у вигляді трухлявості, зволоженні дерев'яної кроквяної системи даху. Наявні пошкодження металевих елементів системи зовнішнього водовідведення з даху будівлі.

3. Адміністративна будівля у м. Одеса за адресою вул. Ніжинська, 44, має прямокутну конфігурацію, трьохповерхова з підвалом, введена в експлуатацію у 1960 році.

Основні конструктивні рішення:

фундаменти - стрічкові бетонні. Стаканного типу під колони;

зовнішні і внутрішні стіни, перегородки - цегляні;

перекриття - збірні залізобетонні плити;

сходи - двохмаршеві, із збірних залізобетонних елементів;

дах - багатоскатний із зовнішнім організованим водовідведенням атмосферних опадів.

Конструкції будівлі знаходяться в незадовільному стані.

Мають місце окремі тріщини в цоколі. В зовнішніх стінах будівлі наявний ряд тріщин, окремі з яких в максимальному розкритті досягають 1-3 см.

Тріщини мають ступінчастий характер, розташовані переважно в районі віконних отворів, над перемичками.

По фасадах, де відсутній шар захисного опорядження, спостерігається пошкодження цегляної кладки при замоканні, в процесі розморожування та вивітрювання.

Вивчаючи питання забудови території України, можна зробити висновок, що значна частина протяжних кам'яних будівель була збудована до 1970-х років минулого століття.

Це споруди різного призначення - промислові, житлові, адміністративні та ін.

До них також належать архітектурно-історичні пам'ятки Одеси, Львову та інших міст.

Вразливість протяжних кам'яних будівель до сейсмічних впливів, пошкодження конструкцій в процесі експлуатації, наявність технологічних процесів і великої кількості людей в разі землетрусу можуть стати причиною не лише значних матеріальних збитків, а і людських втрат.

Висновки. В ході дослідження стану існуючих протяжних кам'яних будівель отримано результати, які підтверджують необхідність їх ретельного обстеження, підтвердженого розрахун-

ками та розробки ефективних методів підсилення. З огляду на недостатнє вивчення проблеми постають наступні задачі дослідження:

визначення характерних конструктивних рішень будівель та їх класифікація;
аналіз особливостей умов експлуатації, виявлення пошкоджень та дефектів характерних будівель;

розрахункові дослідження сейсмостійкості розглядуваних будівель;

вивчення напружено-деформованого стану будівель, встановлення його закономірностей;

визначення ефективних рішень з підвищення сейсмостійкості протяжних кам'яних будівель;

визначити техніко-економічну ефективність способів підсилення, що розглядаються.

Ці питання будуть реалізовані в подальших дослідженнях.

Список літератури

1. Правила оценки физического износа жилых зданий: ВСН 53-86 (р). – М.: Стройиздат, 1988. – 65 с.
2. Положение по техническому обследованию зданий: ВСН 57-88 (р). – М.: Стройиздат, 1991. – 64 с.
3. Сейсмостойкое строительство зданий: учеб. Пособие для вузов / И.Л. Корчинский [и др.]; под. ред. И.Л. Корчинского. – М.: Высшая школа, 1971. – 317 с.
4. **Немчинов Ю.И.** Проблемы проектирования и строительства в сейсмоопасных районах Украины и основные направления развития норм по сейсмостойкому строительству. – К: НИИСК. – Режим доступа: http://www.seism.org.ua/seism06-02_r.html.
5. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2006. – Офіц. Вид.. – [На заміну ДБН В.1.1-12:2006; Чинні від 16.05.2014]. – К.: Укрархбудінформ: Мінбуд України, 2014. – 119 с.
6. **Егупов К.В.** Проблемы проектирования на сейсмостойкость протяженных и несимметричных сооружений / **К.В. Егупов** // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2000. – № 1. – С.23-30.
7. Earthquake-Resistant Design Concepts: An Introduction to the NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures. – Washington, DC: National Institute of Building Sciences., 2010. – 104 p.
8. Закон України "Про об'єкти підвищеної небезпеки" від 18.01.2001 р. № 2245-ІІІ.
9. ATC-40. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings-Volume 1 and 2, Applied Technology Council. Report No. SSC 96-01, Seismic Safety Commission, Redwood City, CA. - November 1996. (Оцінка та підвищення сейсмостійкості бетонних будівель - Частини 1 та 2. Технічна рада комісії з сейсмічної безпеки штату Каліфорнія, США)
10. FEMA273. Federal Emergency Management Agency. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Washington, D.C. - October 1997. (Керівні принципи з відновлення сейсмостійкості будівель. Федеральне агентство США з питань надзвичайних ситуацій)
11. FEMA 356. Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. American Society of Civil Engineers (ASCE), Washington, D.C. - November 2000. (Престандарт та зауваження щодо відновлення сейсмостійкості будівель. Американське товариство цивільних інженерів, США)
12. Перелік видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку (затверджені постановою Кабінету Міністрів України від 27 липня 1995 р. № 554).
13. Методика оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру (затверджена постановою Кабінету міністрів України від 15 лютого 2002 р. № 175).
14. Положення про паспортизацію потенційно небезпечних об'єктів (затверджене наказом м н е України від 18.12.2000 р. № 338 та зареєстроване в Мін'юсті України 1.09.2005 за № 970/11250).
15. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 р. № 5403-VІ.
16. Порядок і правила проведення обов'язкового страхування цивільної відповідальності суб'єктів господарювання за шкоду, яка може бути заподіяна пожежами та аваріями на об'єктах підвищеної небезпеки, діяльність на яких може призвести до аварії екологічного і санітарно-епідеміологічного характеру (затверджені постановою Кабінету Міністрів України від 16 листопада 2002 р. № 1788).

**АДАПТИВНЕ ПРОГНОЗУЮЧЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ
ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ОБКОТИШІВ
З ОПЕРАТИВНИМ ОЦІНЮВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ
З ВИКОРИСТАННЯМ РЕКУРСИВНОГО АЛГОРИТМУ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ**

У статті розглянуто питання розробки системи адаптивного прогнозного керування процесами термічної обробки обкотишів з оперативним оцінюванням параметрів процесу з використанням рекурсивного алгоритму найменших квадратів. Розроблено модель для дослідження ефективності застосування рекурсивного алгоритму найменших квадратів у складі системи адаптивного прогнозного керування процесом термічної обробки обкотишів та виконано її моделювання у пакеті Simulink. Отримана система продемонструвала високу якість оперативного оцінювання параметрів процесу, що дозволяє рекомендувати розроблений метод формування адаптивного прогнозного керування для керування процесами термічної обробки обкотишів.

Ключові слова: адаптивне прогнозує керування, термічна обробка обкотишів, оперативне оцінювання параметрів, рекурсивний алгоритм найменших квадратів

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Збагачення залізорудної сировини на гірничо-збагачувальних комбінатах (ГЗК) найчастіше закінчується стадією спікання концентрату в агломераційних або випалювальних машинах. З точки зору особливостей доменного процесу кінцевий продукт випалювальних машин - обкотиши - має низку переваг у порівнянні з агломератом, а саме: високу міцність при тривалому зберіганні, транспортуванні та перевантаженні, більш рівномірний гранулометричний склад, що забезпечує кращу газопроникність шару шихтових матеріалів у процесі доменної плавки і, як наслідок, сприяє збільшенню продуктивності плавки чавуну та зменшенню кількості шлаків. Крім того, сировиною для виробництва обкотишів найчастіше є тонкоподрібнені концентрати, частка яких у продукції вітчизняних збагачувальних фабрик останнім часом зростає, що пов'язано зі зменшенням запасів багатих руд та збільшенням частки бідних та важкозбагачувальних різновидів руд у шихті. Основним агрегатом, який впливає на продуктивність фабрики згрудкування та якість готової продукції, є конвеєрна випалювальна машина, на якій відбувається термічна обробка обкотишів. Аналіз техніко-економічних показників діяльності та результатів модернізації фабрик згрудкування потенційних конкурентів показує, що на вітчизняних КВМ існують резерви збільшення питомої продуктивності - на 10-15 %, зменшення питомої витрати природного газу на 15-20 % [1]. Одним із найбільш перспективних напрямків вирішення поставлених завдань є вдосконалення методів та систем автоматизації процесів термічної обробки обкотишів. Але, незважаючи на значну кількість досліджень та розробок, наявні системи автоматизації процесу не завжди дозволяють вирішувати завдання зниження питомої витрати енергоносіїв та стабілізації профілю температур у шарі при коливаннях якісних характеристик сирих обкотишів, гранулометричного складу та порозності шару, змінах параметрів технологічного устаткування та наявності завад у каналах вимірювання.

Аналіз досліджень і публікацій. У відомих роботах вітчизняних та закордонних авторів [2-5] наголошується, що для вирішення завдань вдосконалення систем автоматичного керування нелінійними інерційними об'єктами, зокрема технологічними процесами збагачення та переробки залізорудної сировини, останнім часом широко застосовуються методи теорії керування на основі прогнозуючих моделей (Model Predictive Control, MPC). Методи керування з використанням прогнозуючої моделі належать до класу алгоритмів, в яких динамічна модель використовується для прогнозування та оптимізації процесу в режимі реального часу. Перевагами цих методів є відносна простота схеми формування зворотного зв'язку та високі адаптивні властивості, що дозволяє здійснювати квазіоптимальне керування нелінійними нестационарними об'єктами зі складною структурою в режимі реального часу з урахуванням обмежень на керуючі та вихідні змінні, враховувати зміни критеріїв якості керування в процесі роботи тощо [2,3]. Позитивний досвід практичного використання методів керування з прогнозуючими моделями дозволяє розглядати їх як альтернативу використанню класичних параметричних ПІ- та ПІД-регуляторів [2].

У базовому варіанті методу керування з прогнозуючою моделлю [6-7] використовуються лінійні моделі об'єкта керування, що позбавляє необхідності вирішувати завдання квадратичного програмування в режимі реального часу та дозволяє аналітичним шляхом здійснювати пошук оптимального керування. Але, за свідченнями авторів [8], для суттєво нелінійних та нестаціонарних процесів ефективність алгоритмів МРС-керування з використанням лінійних моделей виявляється недостатньою. Тому в останні роки відбувається активний розвиток методів керування на основі прогнозуючих нелінійних моделей (Nonlinear Model Predictive Control, NMPC), і, як наслідок, з'явилося багато друкованих робіт, присвячених їх використанню для автоматизації технологічних процесів збагачувальних виробництв [2, 8, 9]. Також одним з перспективних шляхів вирішення проблеми формування прогнозуючого керування для нелінійних нестаціонарних процесів є застосування систем адаптивного прогнозуючого керування. У відповідності з [10], адаптивне прогнозуюче керування можна розглядати як один з варіантів реалізації адаптивного оптимального керування, що уявляє собою сукупність взаємопов'язаних алгоритмів оцінювання параметрів об'єкта керування, оцінювання його стану та безпосередньо алгоритмів формування керування. Формування керування здійснюється шляхом розв'язання оптимізаційної задачі з використанням прогнозуючої моделі процесу безпосередньо під час функціонування системи керування (в режимі реального часу). При цьому можуть використовуватися прогнозуючі моделі різних класів та складності. Зокрема, у роботі [8] в схемі NMPC-керування запропоновано використовувати моделі Вінера, у роботі [9] використовуються моделі на основі радіально-базисних функцій, у роботах [2,11] - моделі Гаммерштейна, у роботах [1,12] - моделі ANFIS, у роботі [13] - гібридні блочно-орієнтовані моделі на базі моделей Вінера та Гаммерштейна-Вінера з системою ортонормованих базисних функцій Лаггера. Оскільки при реалізації схем NMPC-керування доводиться вирішувати завдання нелінійного програмування, суттєво зростає обчислювальне навантаження на мікропроцесорні засоби керування, що може призводити до неприпустимого збільшення періоду дискретизації при формуванні сигналів керування об'єктом. Для блочно-орієнтованих моделей цей недолік можна усунути шляхом застосування методу інверсії статичної не лінійності, як пропонується в роботах [13,14]. Водночас, для широкого кола об'єктів керування, що протягом тривалого часу функціонують у режимах, близьких до номінальних, при формуванні адаптивного прогнозуючого керування може бути застосований варіант лінеаризації нелінійної моделі процесу навколо робочої точки з подальшим застосуванням алгоритмів формування керуючих впливів у відповідності з методами лінійного МРС-керування. Такий підхід може бути застосований і для керування процесами термічної обробки обкотишів у опалювальних зонах конвеєрної випалювальної машини, оскільки продуктивність за живленням, а, отже, швидкість візків і висота шару обкотишів, підтримуються сталими протягом тривалого часу функціонування КВМ.

Постановка завдання. Мета дослідження полягає у розробці принципів та структури адаптивного автоматизованого керування процесами термічної обробки обкотишів на базі прогнозуючої моделі, що забезпечують підтримання заданого температурного режиму випалювання обкотишів в умовах коливань гранулометричного складу та порозності шару, зміни параметрів технологічного устаткування, наявності завад у каналах вимірювання, і, як наслідок, забезпечують покращення якісних характеристик кінцевого продукту, збільшення продуктивності випалювальної машини за рахунок зменшення долі некондиційних обкотишів, зниження питомої витрати енергоносіїв.

Викладення матеріалу та результати. Для збільшення продуктивності, отримання високих показників якості обкотишів, зменшення питомої витрати енергоносіїв необхідно забезпечити бажаний розподіл температур уздовж випалювальної машини шляхом стабілізації температури в кожній газоповітряній камері [15,16]. Отже, основною технологічною метою керування температурним режимом випалювання вважатимемо стабілізацію температури в кожній газоповітряній камері машини з мінімальними відхиленнями від заданих значень за мінімальних витрат теплоносія. Для опалювальних зон КВМ (підігріву та випалювання) стабілізацію температури доцільно здійснювати шляхом зміни витрати газу на пальники з одночасним підтриманням заданого співвідношення «газ-повітря» з метою повного спалювання газу [15,16].

Одночасно необхідно підтримувати рівномірний розподіл температурного поля за шириною візка. При реалізації індивідуальних контурів керування температурою в газоповітряній

камері для обох боків КВМ спостерігається помітний вплив пальників на показання термопар протилежного боку, що в цілому негативно впливає на рівномірність теплового поля за шириною візка [16]. Тому зазвичай схему керування реалізують таким чином, що залежно від усередненого значення температури, вимірюваної в двох точках горна, змінюють витрату газу на пальник з одного боку КВМ, витрата газу на пальник іншого боку автоматично дублюється. Для кожного пальника окремими контурами також підтримується задане співвідношення «газ-повітря» за результатами вимірювання дійсної витрати газу. При такому підході для забезпечення заданої програми змінення температури в окремій газоповітряній камері КВМ дуже важливо забезпечити формування сигналу завдання підлеглому контуру керування витратою газу ведучої сторони. З урахуванням нестационарності параметрів процесу термічної обробки обкотишів, що пов'язана з коливаннями гранулометричного складу та порозності шару, зміною параметрів технологічного устаткування, прийнято рішення про доцільність застосування для вирішення цього завдання методів адаптивного прогнозного керування.

У роботі [10] показано, що формування адаптивного прогнозного керування може уявляти собою поєднання сполученого синтезу оптимального керування стохастичним об'єктом в припущенні про точне вимірювання змінних стану та значень параметрів об'єкту керування, з процедурами оцінювання змінних стану та параметрів. Отже, структура системи адаптивного прогнозного керування температурним режимом випалювання обкотишів в певній газоповітряній камері повинна складатися з чотирьох блоків: об'єкту керування з датчиками, блоку оперативного оцінювання параметрів об'єкту керування, спостерігача стану для відновлення неконтрольованих змінних стану об'єкта, та блоку, що розраховує оптимальне на горизонті прогнозу програмне керування. Один з можливих варіантів структури системи адаптивного прогнозного керування температурним режимом випалювання обкотишів в певній газоповітряній камері КВМ наведено на рис. 1.

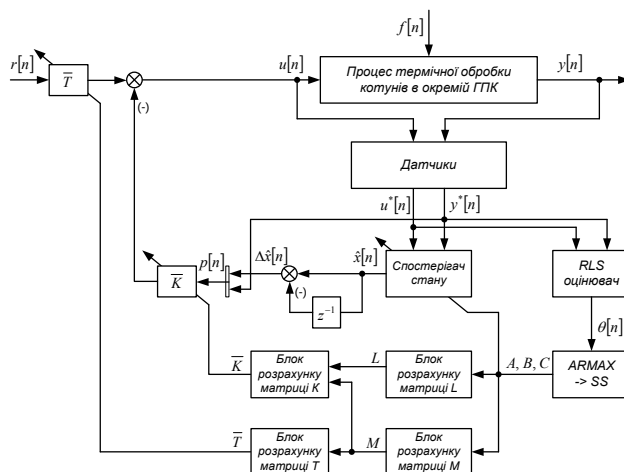


Рис. 1. Структурна схема системи адаптивного прогнозного керування процесом термічної обробки обкотишів з оперативним оцінюванням параметрів процесу з використанням алгоритму RLS

Відповідно з принципами прогнозного керування, для оцінювання якості керування на інтервалі прогнозування доцільно використовувати узагальнений квадратичний функціонал з ковзним інтервалом оптимізації

$$J_n = \sum_{j=1}^P \left[(T_{\text{зпк}}^{\text{завд}}[n+j] - \hat{T}_{\text{зпк}}[n+j]) \cdot R[n+j] \cdot (T_{\text{зпк}}^{\text{завд}}[n+j] - \hat{T}_{\text{зпк}}[n+j]) + \right. \\ \left. + Q_{\text{зл}}[n+j-1] \cdot S[n+j-1] \cdot Q_{\text{зл}}[n+j-1] \right] \quad (1)$$

де $\hat{T}_{\text{зпк}}[n+j]$, $T_{\text{зпк}}^{\text{завд}}[n+j]$ - відповідно прогнозоване та задане значення температури на кроці $n+j$; $Q_{\text{зл}}[n+j-1]$ - значення керуючої дії - витрати газу на пальник ведучої (лівої) сторони; $R[n+j]$ - вагові коефіцієнти, які оцінюють ступінь небажаності відхилення температури на кроці $n+j$ від заданого значення; $S[n+j-1]$ - коефіцієнти, що враховують вартість енергії керуючої дії; P - інтервал прогнозування.

Отже, відповідно до поставленої мети керування задачу пошуку оптимальної на інтервалі P програми зміни керуючої дії можна сформулювати як задачу знаходження векторної функції

$$\overline{Q_{\text{зл}}}[n] = [Q_{\text{зл}}[n], Q_{\text{зл}}[n+1], \dots, Q_{\text{зл}}[n+P-1]]^T, \quad (2)$$

що мінімізує функціонал (1)

$$J_n(Q_{\text{зл}}[\bullet], P) \rightarrow \min_{Q_{\text{зл}} \in M}, \quad (3)$$

де M - допустима множина керувань.

Відповідно до методики синтезу [17], основні етапи якого описано нижче, для лінійної моделі об'єкту керування розв'язок задачі (2)-(3), що додатково забезпечує астатизм замкненої системи за керованими змінними, можна представити у вигляді

$$\bar{v} = \bar{K}p[n] + \bar{T}r[n], \quad (4)$$

де $p[n] = (\Delta x[n]; T_{\text{знк}}[n])^T$ - вектор стану прогнозуючої моделі; $\Delta x[n] = x[n] - x[n-1]$;

$\bar{r}[n] = T_{\text{знк}}^{\text{заб}}[n]$ - задане значення температури у відповідній ГПК на кроці n ;

$$\bar{K} = -(M^T R M + Q)^{-1} M^T R L, \quad \bar{T} = (M^T R M + Q)^{-1} M^T R. \quad (5)$$

Матриці M та L розраховуються за наступними формулами [17]

$$L = \begin{pmatrix} \bar{C}A & \bar{C}A^2 & \dots & \bar{C}A^P \end{pmatrix}^T, \quad (6)$$

$$M = \begin{pmatrix} \frac{\bar{C}B}{\bar{C}AB} & \frac{0}{\bar{C}B} & \dots & 0 \\ \frac{\bar{C}A^{P-1}B}{\bar{C}A^{P-2}B} & \frac{\bar{C}A^{P-2}B}{\bar{C}A^{P-3}B} & \dots & \bar{C}B \end{pmatrix}, \quad (7)$$

де матриці $\bar{A}$, $\bar{B}$, $\bar{C}$ задаються наступними виразами

$$\bar{A} = \begin{pmatrix} A & 0_{n \times r} \\ AC & E_{r \times r} \end{pmatrix}, \quad \bar{B} = \begin{pmatrix} B \\ CB \end{pmatrix}, \quad \bar{C} = (0_{r \times n} : E_{r \times r}), \quad (8)$$

де $0_{n \times r}$ - нульова матриця розмірністю $(n \times r)$; $E_{r \times r}$ - одинична матриця розмірністю $(r \times r)$.

Оскільки параметри об'єкту A, B та C змінюються в процесі функціонування, необхідно періодично здійснювати перерахунок матриць $\bar{K}$ та $\bar{T}$, що використовуються для розрахунку керуючої дії за виразом (4) на основі результатів оперативного оцінювання параметрів блоком ідентифікації. Для реалізації цього завдання може бути використаний один з відомих алгоритмів оперативного (онлайн) оцінювання параметрів. У роботі для визначення параметрів моделі процесу термічної обробки обкотистів в певній газоповітряній камері KBM пропонується використовувати рекурсивний алгоритм найменших квадратів (Recursive Least Square Estimation, RLS).

Відповідно з алгоритмом RLS, вектор оцінюваних параметрів системи $\theta[n]$ на кроці n обчислюється за формулою [18]

$$\theta[n] = \theta[n-1] + \gamma[n-1](y[n] - \varphi^T[n]\theta[n-1]), \quad (9)$$

де $y[n] = T_{\text{знк}}[n]$ - поточне значення керованої величини - температури у певній газоповітряній камері KBM;

$$\gamma[n-1] = P[n]\varphi[n], \quad (10)$$

а матриця $P[n]$ обчислюється за рекурентною формулою

$$P[n] = P[n-1] - P[n-1]\varphi[n](1 + \varphi^T[n]P[n-1]\varphi[n])^{-1}\varphi^T[n]P[n-1], \quad (11)$$

з початковими умовами

$$P[n_0] = [\varphi^T[n_0]\varphi[n_0]]^{-1}, \quad (12)$$

$$\theta[n_0] = P[n_0]\varphi^T[n_0]\bar{y}[n_0]. \quad (13)$$

Матриці $\theta[n_0]$ та $\bar{y}[n_0]$, що використовуються для розрахунку початкових умов, мають вигляд

$$\begin{aligned} \varphi[n_0] &= \begin{bmatrix} \varphi[0] \\ \varphi[1] \\ \vdots \\ \varphi[n_0-1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -T_{\text{знк}}[N_a-1] & \dots & -T_{\text{знк}}[0] & Q_{\text{зл}}[N_b-1] & \dots & Q_{\text{зл}}[0] \\ -T_{\text{знк}}[N_a] & \dots & -T_{\text{знк}}[1] & Q_{\text{зл}}[N_b] & \dots & Q_{\text{зл}}[1] \\ \dots & \vdots & \dots & \dots & \vdots & \dots \\ -T_{\text{знк}}[N_a+n_0-2] & \dots & -T_{\text{знк}}[n_0-1] & Q_{\text{зл}}[N_b+n_0-1] & \dots & Q_{\text{зл}}[n_0-1] \end{bmatrix} \\ \bar{y}[n_0]^T &= [Q_{\text{зл}}[N_a] \quad Q_{\text{зл}}[N_a+1] \quad \dots \quad Q_{\text{зл}}[N_a+n_0-1]] \end{aligned}$$

де N_a , N_b - відповідно максимальні затримки вихідної та вхідної величин у моделі ARMAX, що використовується для апроксимації залежності температури у певній газоповітряній камері КВМ від витрати газу на паливник ведучої сторони.

На наступному кроці отримана в результаті процедури оцінювання за рекурсивним алгоритмом найменших ARMAX-модель процесу термічної обробки обкотишів у певній газоповітряній камері КВМ представляється у вигляді моделі у просторі станів у канонічній формі спостережуваності [19] і далі коефіцієнти A, B, C отриманої моделі використовуються у формулах (5)-(8) для розрахунку матриць коефіцієнтів $\bar{K}$ та $\bar{T}$, за якими здійснюється розрахунок заданого значення витрати газу на паливник ведучої сторони за формулою (5).

Для дослідження ефективності застосування алгоритму RLS для оперативного оцінювання параметрів у складі системи адаптивного прогнозного керування процесом термічної обробки обкотишів реалізовано модель системи у пакеті Simulink. Структуру моделі для дослідження ефективності застосування алгоритму RLS у складі системи адаптивного прогнозного керування процесом термічної обробки обкотишів приведено на рис. 2.

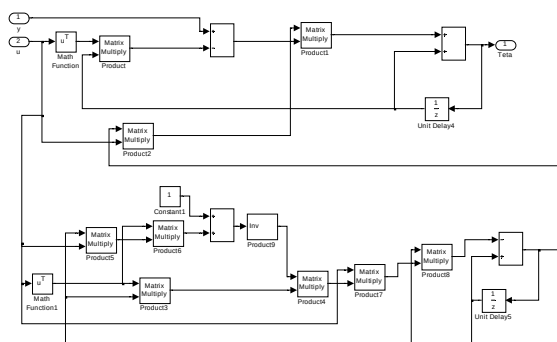


Рис. 2. Блок-схема реалізації рекурсивного алгоритму найменших квадратів

Дослідження здійснювалося методом імітаційного моделювання за даними про залежність температури $T_{гзк34}$ в зоні випалювання під паливниками №№3,4 від витрати газу $Q_{гз}$ на паливник ведучої сторони, отриманими в режимі пасивного експерименту на конвеєрній випалювальній машині ОК-324 ПАТ «Центральний ГЗК» при сталих значеннях висоти шару обкотишів та швидкості випалювальної машини.

На рис. 3 наведено графіки зміни температури в горні зони випалювання, розраховані на основі знайдених у результаті виконання процедури ідентифікації параметрів процесу термічної обробки обкотишів, та відповідні експериментальні значення температури.

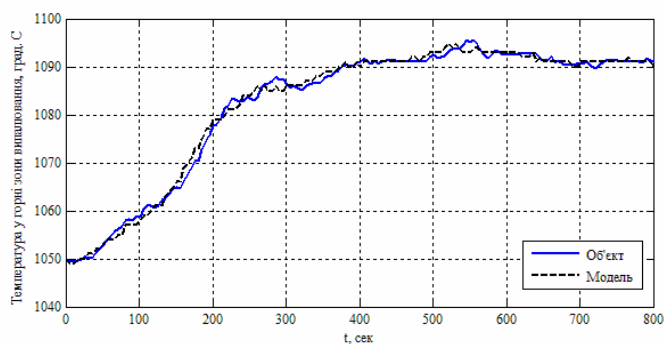


Рис. 3. Результати дослідження ефективності використання алгоритму RLS для оперативного оцінювання параметрів у складі системи адаптивного прогнозного керування процесом термічної обробки обкотишів

На рис. 4 наведено графіки змінення коефіцієнтів моделі процесу термічної обробки обкотишів в процесі функціонування розробленої адаптивного прогнозного керування.

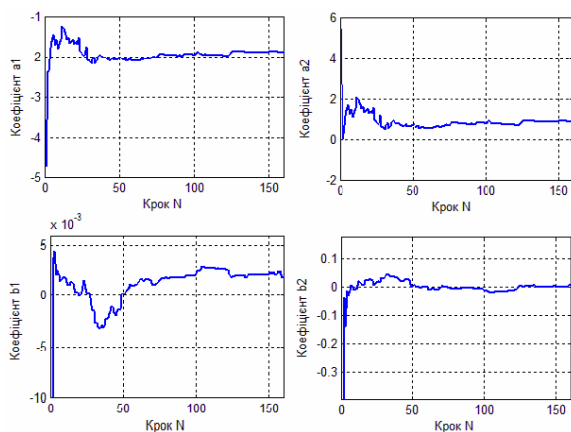


Рис. 4. Динаміка змінення коефіцієнтів моделі процесу термічної обробки обкотишів в процесі функціонування підсистеми оцінювання з використанням алгоритму RLS

Аналіз результатів ідентифікації параметрів процесу термічної обробки обкотишів при використанні рекурсивного алгоритму найменших квадратів у складі системи адаптивного прогнозного керування показує, що нормалізоване середньоквадратичне відхилення NRMSE результатів прогнозування від експериментальних даних не перевищує 7,32 %, коефіцієнт варіації - 0,63 %.

Швидкість збіжності процедури оцінювання параметрів від початку функціонування системи складає до 50 кроків.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Запропоновано метод формування адаптивного прогнозного керування процесами термічної обробки обкотишів з оперативним оцінюванням параметрів процесу з використанням рекурсивного алгоритму найменших квадратів. Такий підхід дозволяє забезпечити підтримання заданого температурного режиму випалювання обкотишів в умовах коливань гранулометричного складу та порозності шару, зміни параметрів технологічного устаткування, наявності завад у каналах вимірювання. Розроблено модель для дослідження ефективності застосування алгоритму RLS у складі системи адаптивного прогнозного керування процесом термічної обробки обкотишів та виконано її моделювання у пакеті Simulink.

Отримані результати підтверджують перспективність застосування розробленого методу формування адаптивного прогнозного керування для керування процесами термічної обробки обкотишів. У подальших дослідженнях планується удосконалити запропонований підхід для урахування обмежень на значення керуючої дії на кожному кроці керування.

Список літератури

1. Автоматизовані системи керування процесами термічної обробки котунів на конвеєрній випалювальній машині: монографія / **В.І. Лобов, Л.І. Єфіменко, М.П. Тиханський, С.А. Рубан**. - Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. - 250 с.
2. **Поркуян О.В.** Керування нелінійними динамічними об'єктами збагачувальних виробництв на основі гібридних моделей Гамерштейна : дис. ... д-ра техн. наук / **Ольга Вікторівна Поркуян**. - Кривий Ріг, 2009. - 379 с.
3. **Веремей Е.И.** Пособие «Model Predictive Control Toolbox» [Электронный ресурс] / **Е.И. Веремей, В.В. Еремеев, М.В. Сотникова** - Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/modelpredict/Book1/index.php>. - Загл. с экрана.
4. **Morari M.** Model predictive control: past, present and future / **M. Morari, Jay H. Lee** // Computers and Chemical Engineering. - 1999. - Vol. 23. - P. 667-682.
5. **Roubos J.A.** Fuzzy model-based predictive control using Takagi-Sugeno models / **J.A. Roubos, S. Molloy, R. Babuska, H.B. Verbruggen** // International Journal of Approximate Reasoning. - 1999. - Vol. 22. - P. 3-30.
6. **Garcia C. E.** Model predictive control: theory and practice - a survey / **C. E. Garcia, D.M. Prett, M. Morari** // Automatica. - 1989. - Vol. 25, № 3. - P. 335-348.
7. **Lee J.H.** State-space interpretation of model predictive control / **J. H. Lee, M. Morari, C. E. Garcia** // Automatica. - 1994. - Vol. 30, № 4. - P. 707-717.
8. **Gomez J.C.** Wiener model identification and predictive control of a pH neutralisation process / **J.C. Gomez, A. Jutan, E. Baeyens** // IEE Proc.-Control Theory Appl. - 2004. - Vol. 151, № 3. - P. 329-338.
9. **Pottmann M.** A nonlinear predictive control strategy based on radial basis functions models / **M. Pottmann, D. Seborg** // Comput. Chem. Eng. - 1997. - № 21 (9). - P. 965-980.
10. **Буков В.Н.** Адаптивные прогнозирующие системы управления полетом / **В.Н. Буков**. - М.: Наука, 1987. - 232 с.
11. **Fruzzetti K.** Nonlinear model predictive control using Hammerstein models / **K. Fruzzetti, A. Palazoglu, K. McDonald** // Process Control. - 1997. - 7 (1). - P. 31-41.
12. **Рубан С.А.** Автоматизація процесу керування термічною обробкою залізничних обкотишів з використанням прогнозуючих ANFIS-моделей: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.07 / **С.А. Рубан** // КТУ. - Кривий Ріг, 2011. - 20 с.
13. **Михайленко О.Ю.** Керування процесом дроблення руди з використанням блочно-орієнтованої прогнозуючої моделі / **О.Ю. Михайленко** // Технологический аудит и резервы производства. - 2015. - №4/3 (24). - С. 28-32.
14. **Patikirikoral T.** Hammerstein-Weiner Nonlinear Model Based Predictive Control For QoS Management in Complex Software Systems / **T. Patikirikoral, L. Wang, A. Colman, J. Han** // Control Engineering Practice. - 2012. - Vol. 20, № 1. - P. 49-61. doi:10.1016/j.conengprac.2011.09.003.
15. **Гончаров Ю.Г.** Автоматизация процессов окискования железных руд / **Ю.Г. Гончаров, А.В. Дримбо, А.Д. Ищенко**. - М.: Металлургия, 1983. - 190 с.
16. **Ксендзовский В.Р.** Автоматизация процесса производства окатышей / **В.Р. Ксендзовский**. - М.: Металлургия, 1971. - 216 с.
17. **Веремей, Е.И.** Управление с прогнозирующими моделями / **Е.И. Веремей, М.В. Сотникова**. - СПб.: СПбГУ, 2014. - 212 с.
18. **Льюнг Л.** Идентификация систем. Теория для пользователя / Под. ред. **Я.З. Цыпкина**. - М.: Наука, 1991 - 432 с.
19. **Candy J.V.** Model-based signal processing / **James V. Candy**. - New Jersey: Wiley-IEEE Press, 2005. - 704 p.

ДОСЛІДЖЕННЯ СУМІСНОЇ РОБОТИ ОБОЛОНКИ ТА ЯДРА ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗІ ЗМІЦНЕНИМ ОСЕРДЯМ

У даний час необхідно посилювати режим економії, ефективність використання ресурсів, знижувати матеріаломісткість в будівництві.

Сучасні будівельні конструкції повинні відповідати всім вимогам економічності, ресурсозбереження, які пред'являються до будівництва. Основний напрямок їх розвитку – це скорочення витрати сталі (14-16 %), економія цементу (10-12%) і економія лісових матеріалів (12-14 %). Ці завдання можна вирішувати, в тому числі і за рахунок зниження матеріаломісткості та зменшення поперечного перерізу конструкцій, за рахунок раціонального поєднання бетону і сталі при їх спільній роботі та за рахунок застосування високоміцних матеріалів. Цим вимогам задовольняють будівельні конструкції з трубобетону. При відносно малому поперечному перерізі такі конструкції здатні витримувати значні зусилля, при цьому бетон за рахунок об'ємного напруженого стану сприймає напруги, що значно перевищують призову міцність, що економить сталь і бетон. Застосовуючи високоміцні бетони, бетони, ущільнені пресуванням, центрифугуванням, можна отримати значну економію цементу, так як за рахунок індустриальних технологічних факторів ущільнення бетонної суміші міцність бетону значно підвищується. Підвищити міцність бетону можна і за рахунок застосування непрямого армування, що дозволяє при малій витраті сталі значно підвищити міцність конструкцій.

Удосконалення відомих ефективних способів зміцнення бетону стосовно трубобетонних конструкцій зі зміцненим осердям, придатних до індустриалізації, є актуальною і важливою задачею.

Метою представлених досліджень було експериментальне вивчення трубобетонних елементів з бетонними ядрами, зміцненими різними методами; розробити методи розрахунку несучої здатності і напружено-деформованого стану трубобетонних елементів зі зміцненими ядрами.

Ключові слова: трубобетон, зміцнене бетонне ядро, сталева оболонка, напруження, деформації, міцність.

Проблема та її зв'язок з науковою і практичною задачею. Будівельна галузь України переживає глибоку кризу. З урахуванням нинішнього стану будівництва та забезпечення його ресурсами, удосконалення трубобетонних конструкцій шляхом зміцнення бетону осердя є актуальною і важливою задачею. Серед усіх інших відомих способів - це найбільш ефективний, як технологічно, так і економічно.

Метою представлених досліджень є експериментальне вивчення трубобетонних елементів зі зміцненим осердям; розробити методи розрахунку несучої здатності та напружено-деформованого стану таких елементів.

Аналіз досліджень і публікацій. До теперішнього часу запроектовано і побудовано багато будівель із застосуванням трубобетону. Сталеві труби, заповнені бетоном, застосовуються в Китаї [1-3], Канаді [4; 5], США [6], Японії [7]. У СНД також побудовано ряд оригінальних споруд [8-10]. Трубобетон застосовується навіть у таких відповідальних спорудах, як мости [11]. Разом із тим здебільшого дослідження спрямовуються на вплив різнотипного складу бетону ядра на характеристики конструкцій. Ідея ж зміцнення ядра залишається поза увагою дослідників.

Постановка задачі. Завдяки ряду специфічних якостей: підвищеної тріщиностійкості, стійкості до ударних і теплових впливів, трубобетон набуває все більшого поширення [12-15], у зв'язку з чим експерименти були спрямовані на уточнення механізму розвитку напружено-деформованого стану трубобетонних елементів зі зміцненим осердям для більш достовірної та конкретної оцінки їх характеристик.

Відомо, що в стиснутих трубобетонних елементах діюче зусилля сприймається як трубною оболонкою, так і бетонним осердям. Якщо якимось чином збільшити несучу здатність осердя, то можна зменшити витрати сталі для отримання трубобетонного елемента з наперед заданою несучою здатністю. Тому використання зміцненого осердя забезпечить зниження витрат сталі й економію коштів при виготовленні конструкції, в чому й полягає головна задача дослідження.

Викладення матеріалу і результати. Експериментальні дослідження трубобетонних елементів з осердям з високоміцним бетоном довели, що до моменту появи текучості в оболонці остання з бетонним осердям працюють паралельно. Тому при розробці методики оцінки напружено-деформованого стану таких конструкцій вважаємо, що труба-оболонка та бетонне

осердя працюють паралельно до того моменту, поки починається текучість труби-оболонки (рис. 1). Надалі бетонне осердя та оболонка працюються сумісно.

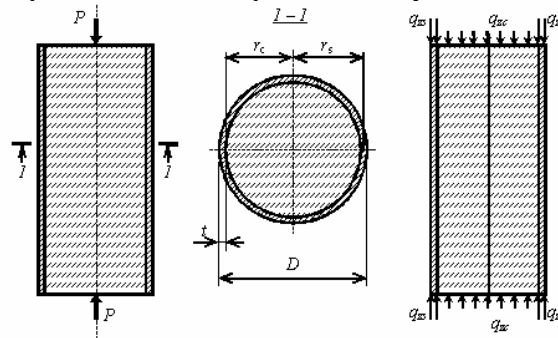


Рис. 1. Розрахункова схема труби-оболонки з осердям з високоміцного бетону

Особливістю деформування дослідних зразків є симетричність відносно центральної вісі. Для зручності напружено-деформований стан описується за допомогою циліндричних координат. В цьому випадку компоненти напружено-деформованого стану не залежать від кута θ (рис. 2).

Розглянемо окремо роботу напружено-деформований стан бетонного осердя із високоміцного бетону та сталеві оболонки.

Бетонне являє собою суцільне циліндричне тіло. За умови вісесиметричної задачі його напружено-деформований стан характеризується напруженнями ($\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z, \tau_{rz}$), деформаціями ($\varepsilon_r, \varepsilon_\theta, \varepsilon_z, \gamma_{rz}$) та переміщеннями (u, w). Для їх знаходження використано рівняння рівноваги, геометричні рівняння та рівняння сумісності. Так рівняння рівноваги мають вигляд

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0; \quad \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\tau_{rz}}{r} = 0, \quad (1)$$

де σ_r - нормальні радіальні напруження в напрямку радіусів; σ_θ - нормальні тангенціальні напруження в перпендикулярному напрямку; σ_z - нормальні поздовжні напруження в напрямку вісі Z; $\tau_{rz} = \tau_{zr}$ - дотичні напруження в площині перпендикулярній до вісі Z та площині паралельній до вісі Z.

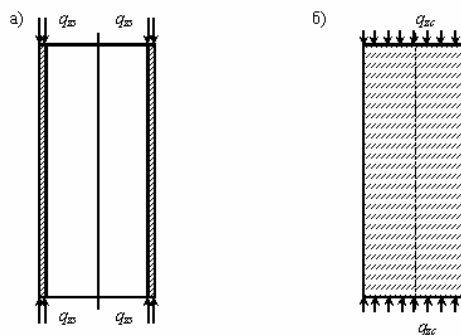


Рис. 2. Розрахункові схеми труби-оболонки (а) та бетонного осердя (б) з високоміцного бетону

Залежність між деформаціями та переміщеннями пов'язані залежностями

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u}{\partial r}; \quad \varepsilon_\theta = \frac{u}{r}; \quad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}; \quad \gamma_{rz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r}, \quad (2)$$

де ε_r - деформації в радіальному напрямку; ε_θ - деформації в тангенціальному напрямку; ε_z - деформації в напрямку вісі Z; u - переміщення в радіальному напрямку; w - переміщення в напрямку вісі Z.

Рівняння сумісності в циліндричних координатах при симетричному розподілі напружень мають вигляд

$$\begin{aligned} \nabla^2 \sigma_r - \frac{2}{r^2}(\sigma_r - \sigma_\theta) + \frac{1}{1+\mu} \cdot \frac{\partial^2 \Sigma}{\partial r^2} &= 0; \quad \nabla^2 \sigma_\theta - \frac{2}{r^2}(\sigma_r - \sigma_\theta) + \frac{1}{1+\mu} \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \Sigma}{\partial r} = 0; \\ \nabla^2 \sigma_z + \frac{1}{1+\mu} \cdot \frac{\partial^2 \Sigma}{\partial z^2} &= 0; \quad \nabla^2 \tau_{rz} - \frac{\tau_{rz}}{r^2} + \frac{1}{1+\mu} \cdot \frac{\partial^2 \Sigma}{\partial r \partial z} = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

де $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$; $\Sigma = \sigma_r + \sigma_\theta + \sigma_z$ - сума напружень.

Таким чином рівняння (1-3) складають систему рівнянь для опису напружено-деформованого стану бетонного осердя трубобетонних елементів із високоміцного бетону.

Для пошуку вирішення задачі застосуємо функцію напружень φ , яка повинна задовольняти рівняння

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0, \quad (4)$$

де φ - довільна функція.

Тоді напруження визначаються за формулами

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \nabla^2 \varphi - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} \right); \quad \sigma_\theta = \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \nabla^2 \varphi - \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right); \quad \sigma_z = \frac{\partial}{\partial z} \left((2-\mu) \nabla^2 \varphi - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right); \\ \tau_{rz} &= \frac{\partial}{\partial r} \left((1-\mu) \nabla^2 \varphi - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right). \end{aligned}$$

У роботі [54] запропоновано використати функцію напружень у вигляді

$$\varphi = z(C_1 r^2 + C_2 z^2)$$

Тоді напруження визначаються за такими формулами

$$\sigma_r = \sigma_\theta = -2C_1(1-2\mu) + 6\mu C_2; \quad \sigma_z = 4C_1(2-\mu) + 6C_2(1-\mu); \quad \tau_{rz} = 0,$$

де $C_1 = \frac{\mu}{2(1+\mu)} q_z$; $C_2 = \frac{1-2\mu}{6(1+\mu)} q_z$; q_z - інтенсивність зовнішнього зусилля уздовж вісі Z на крайніх перерізах бетонного осердя.

Після підстановки C_1 та C_2 отримуємо напруження $\sigma_r = \sigma_\theta = \tau_{rz} = 0$, $\sigma_z = q_z$.

Труба оболонка являє собою поле циліндричне тіло зі тонкою стінкою. Поперечною деформацією уздовж її радіусу можна знехтувати. Тому для опису напружено-деформованого стану замінюємо оболонку циліндричною поверхнею, яка проходить через середній радіус. Розрахунків виконується як для порожньої труби за методикою [139].

Трубобетонні елементи з осердям, що армовані поздовжньою арматурою

Особливістю такого роду трубобетонних елементів є те, що бетонне осердя додатково у поздовжньому напрямку армовано додатковою арматурою. Тобто в поздовжньому напрямку опирається бетонне осердя та сталева арматура, а у поперечному лише бетонне осердя. Для можливості теоретично описати роботу стрижневого армування в умовах трубобетону враховано той факт, що стрижні розташовано рівномірно по колу. Тому в поперечному перерізі стрижневе армування представлено у вигляді умовного кільця з можливістю вільно деформуватися бетону (рис. 3).

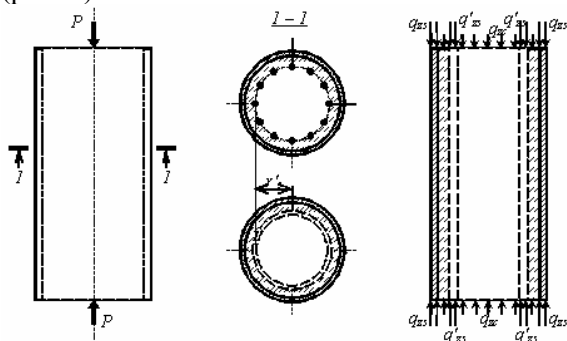


Рис. 3. Розрахункова схема трубобетонного елемента з осердям, що армовано поздовжньою арматурою

Оцінка напружено-деформованого стану таких конструкцій схожа до методики для трубобетонні елементи з осердям з високоміцного бетону. Лише додається у поздовжньому напрямку робота додаткового армування, яке працює в умовах одновісного напруженого стану.

Трубобетонні елементи з багатшаровим осердям

Утворювати багатшарові перерізи стиснутих трубобетонних елементів можна різними шляхами. Тому варто виділити спільні в усіх цих випадках. Так бетонне ядро у загальному випадку представляє собою порожній товстостінний циліндр. Залежно від конструкції цей циліндр може бути завантажений не тільки зі сторони крайніх перерізів, а також і з бокових сторін.

Знайдемо напруження в бетонного осердя. У найбільш узагальненому вигляді таке осердя представляємо у вигляді циліндричного тіла із порожниною у середині (рис. 4).

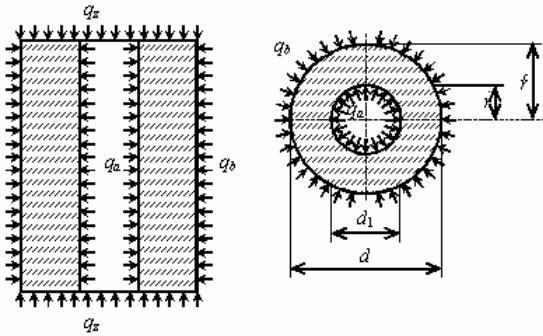


Рис. 4. Розрахункова схема бетонного осердя кільцевого перерізу в багатшарових трубобетонних елементах

На зазначений елемент діє рівномірний тиск по чотирьох поверхнях: тиск із внутрішньої сторони - q_a ; тиск із зовнішньої сторони - q_b ; тиск на верхню та на нижню основи - q_z .

В якості функції напружень приймаємо поліном третього ступеня. В роботі [Жемочкин] вказується, що така функція задовольняє рівнянню (4)

$$\varphi = C_1 \cdot z \cdot \ln r + C_2 \cdot r^2 \cdot z + C_3 \cdot z^3, \quad (5)$$

При цьому напруження дорівнюють

$$\sigma_r = \frac{C_1}{r^2} - 2C_2(1-2\mu) + 6\mu C_3; \quad \sigma_\theta = -\frac{C_1}{r^2} - 2C_2(1-2\mu) + 6\mu C_3;$$

$$\sigma_z = 4C_2(2-\mu) + 6C_3(1-\mu); \quad \tau_{rz} = 0.$$

Для визначення коефіцієнтів C_1 , C_2 та C_3 задаємось умовами на поверхні. На бокових поверхнях та на основах дотичні напруження дорівнюють нулю. Але відрізняються від нуля нормальні напруження на цих поверхнях. Так на бокових поверхнях:

$$\sigma_{r(r=a)} = -q_a; \quad \sigma_{r(r=b)} = -q_b.$$

На основі $\sigma_z = -q_z$,

Так отримуємо три рівняння для знаходження невідомих коефіцієнтів C_1, C_2, C_3

$$\frac{C_1}{r_a^2} - 2C_2(1-2\mu) + 6\mu C_3 = -q_a; \quad \frac{C_1}{r_b^2} - 2C_2(1-2\mu) + 6\mu C_3 = -q_b; \quad 4C_2(2-\mu) + 6C_3(1-\mu) = -q_z;$$

Після вирішення із цих рівнянь отримано коефіцієнти

$$C_1 = \frac{-r_a^2(q_b + q_a)}{\left(1 + \frac{r_a^2}{r_b^2}\right)}; \quad C_2 = \frac{1}{(2-\mu)\left(1 + \frac{1}{9(1-\mu)}\right)} \left[\frac{\mu q_z}{(1-\mu)} + \frac{r_a^2(q_b + q_a)}{r_b^2\left(1 + \frac{r_a^2}{r_b^2}\right)} - q_b \right];$$

$$C_3 = -\frac{q_z}{6(1-\mu)} - \frac{2}{3(1-\mu)\left(1 + \frac{1}{9(1-\mu)}\right)} \left[\frac{\mu q_z}{(1-\mu)} + \frac{r_a^2(q_b + q_a)}{r_b^2\left(1 + \frac{r_a^2}{r_b^2}\right)} - q_b \right];$$

Тоді напруження дорівнюють

$$\sigma_r = \frac{r_a^2(q_b + q_a)}{r_b^2\left(1 + \frac{r_a^2}{r_b^2}\right)} - \frac{\mu q_z}{(1-\mu)} - \frac{2}{\left(1 + \frac{1}{9(1-\mu)}\right)} \left[\frac{(1-2\mu)}{(2-\mu)} + \frac{2}{1-\mu} \right] \left[\frac{\mu q_z}{(1-\mu)} + \frac{r_a^2(q_b + q_a)}{r_b^2\left(1 + \frac{r_a^2}{r_b^2}\right)} - q_b \right];$$

$$\sigma_\theta = -\frac{C_1}{r^2} - 2C_2(1-2\mu) + 6\mu C_3; \quad \sigma_z = -q_z; \quad \tau_{rz} = 0.$$

Підставляючи рівняння напружень у рівняння Гука, знайдемо відносні деформації уздовж вісі Z

$$\varepsilon_z = \frac{\partial u}{\partial r} = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_r + \sigma_\theta)].$$

Сталеві оболонки в багатошарових трубобетонних елементах можуть розташовуватись, як на зовні, так і додатково всередині. На рис. 5 наведено розрахункові схеми сталевих труб в умовах багатошарових трубобетонних елементів.

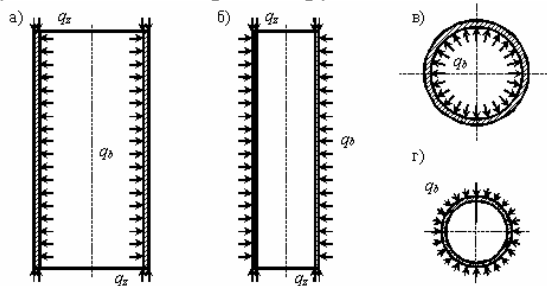


Рис. 5. Розрахункова схема труби-оболонки в багатошарових трубобетонних елементах: а – зовнішня труба-оболонка; б – внутрішня труба-оболонка; в – поперечний переріз зовнішньої труби-оболонки; г – поперечний переріз внутрішньої труби-оболонки

Для можливості побудови методики оцінки напружено-деформованного стану сталеві труби необхідно врахувати декілька факторів: розрахунок трубобетону виконується за ітераційною методикою зі зміною параметрів пружності; в межах окремого етапу розрахунку роботу сталеві труби вважаємо пружною; напружено-деформований стан труби вважаємо сумою станів при простих завантаженнях. Так в якості простих завантажень приймаємо: поздовжній стиск; рівномірний внутрішній стиск; рівномірний зовнішній стиск. Для цього використаємо відомі результати з роботи [139].

Список літератури

1. **Shen Xi-ming.** Design of Concrete Pilled Steel Tubular Column for Factory Building. Proceedings. The international speciality conference on concrete filled steel tubular structures. Held at Harbin, China, 1985. - p. 164-170.
2. **Zhong Shan-tong.** The Use of Concrete Filled Steel Tubular Structures in China. - Proceedings. The international speciality conference on concrete filled steel tubular structures. Held at Harbin, China, 1995. - p. 1-6.
3. **Potyondy J.G.** Concrete Pilled Tubular Steel Structures In Marine Environment. Proceedings. The international speciality conference on concrete filled steel tubular structures. Held at Harbin, China, 1985. - p. 27-31.
4. **Furlong R.W.** Asco M. - Desing of Steel-Encased Concrete Beam-Columns. "Proceeding ASCE", №. St. 13, 1998, vol. 94, p 267-281.
5. **Furlong R.W.** - Strength of Steel-Encased Concrete Beam-Columns. "Procceedings ASCE", №.St.1, 1969, vol 95. - p. 99-107.
6. **Gardner K.J. Jacobson E.R.** Structural Behavior of Concrete Pilled Steel Tubes as Columns. - J. Amer. Concrete Inst. Proc., 1967, vol. 64, n 7. - p. 404-413.
7. Практика и перспективы применения трубобетона: <http://snt.com.ru/praktika-i-perspektivy-primeneniya-trubobetona>
8. **Санжаровский Р.С.** Трубобетонные конструкции в строительстве // Промышленное строительство. - 1999. - № 5. - С. 22-23.
9. Современный трубобетон: http://imet-group.com/?page_id=388.
10. **Расул Хамиев.** Трубобетон – технология будущего. <http://builder.kz/surveys/detail.php?ID=4386>
11. Уникальный железнодорожный мост через реку Исеть. <http://900igr.net/kartinki/geografija/Kamensk-Uralskij/024-ZHeleznodorozhnyj-most.html>
12. **Jejcic D. Zanghellini J.** Mortiers et ciments armes de fibres. - Annales de l'institut technique du batiment et des travaux publies. 1977. Nr. 347. - p. 45-87.
13. Steel fibrons shotcrete. "Tunnele and tunneling", 1995, № 4. - P. 74-75.
14. **Snyder M.J., Lankard D.R.** Factors affecting the flexural strength of steell fibrons concrete. - "ACI Journal", 1972, n 2. - "Proceeding", vol 69. - p. 96-100.
15. **Hannant O.I.** Steel fibre reinforced concrete. - Prospects Fibre Renforc. Constr. Mater. London, 1972. - p. 47-53.
16. **Hummel A.** La technologie du beton à trente resistance. Revue des Mater aux. n 474, 1955.
17. **Sakino K., Tomii M., Watanate K.** Sustaining Load Capacity of Plain Concrete Stub Columns Confined by Circular Steel Tube. Proceeding. The international speciality conference on concrete filled steel tubular structures. Held at Harbin, China, 1985. - p. 112-118.
18. http://www.expert.ru/printissues/expert/2008/09/oni_ne_vidyat/
19. **Стороженко Л.И.** Расчёт трубобетонных конструкций / **Л.И. Стороженко, П.И. Плахотный, А.Я. Черный.** – К.: Будівельник, 1991. – 120 с.

Рукопис подано до редакції 17.04.15

А Н О Т А Ц І Ї

УДК 622.271

Вилкул Ю.Г., Слободянюк В.К., Максимов И.И. Оптимизация технологических параметров циклично-поточной технологии в глубоких карьерах

Исследована зависимость технико-экономических показателей карьерного автотранспорта от количества и размещения перегрузочных пунктов в рабочей зоне карьера. Установлена аналитическая зависимость для определения оптимального количества перегрузочных пунктов при их равномерном расположении по длине и по высоте рабочей зоны. Исследованы особенности изменения основных технологических показателей работы карьерного автотранспорта в зависимости от количества дробильно-перегрузочных пунктов ЦПТ, производительности карьера и размеров рабочей зоны. Определены условия одновременного использования нескольких дробильно-перегрузочных пунктов, их основные технологические параметры, оптимальное количество пунктов по горизонтали и вертикали, оценена экономическая эффективность использования технологических схем с несколькими перегрузочными пунктами. Проведенными исследованиями установлено, что во всех случаях оптимизация количества перегрузочных пунктов и их увеличение приводит к уменьшению количества автосамосвалов на 50-60% по сравнению с вариантом использования одного перегрузочного пункта. Увеличение количества перегрузочных пунктов с одновременным снижением количества автосамосвалов повышает надежность работы карьерного транспорта. Оптимизация количества перегрузочных пунктов снижает требуемую производительность каждой дробильно-перегрузочной установки до 10-20 млн.т/год. Использование мобильных дробильно-перегрузочных пунктов не замораживает запасы руды и не препятствует развитию рабочей зоны.

Ключевые слова: циклично-поточная технология, концентрационный горизонт, дробильно-перегрузочный пункт

Вілкул Ю.Г., Слободянюк В.К., Максимов І.І. Оптимізація технологічних параметрів циклічно-потокової технології у глибоких кар'єрах

Досліджено залежність техніко-економічних показників кар'єрного автотранспорту від кількості та розміщення перевантажувальних пунктів в робочій зоні кар'єру. Установлено аналітичну залежність для визначення оптимальної кількості перевантажувальних пунктів при їх рівномірному розташуванні по довжині і по висоті робочої зони. Досліджено особливості зміни основних технологічних показників роботи кар'єрного автотранспорту в залежності від кількості дробильно-перевантажувальних пунктів ЦПТ, продуктивності кар'єру і розмірів робочої зони. Визначено умови одночасного використання декількох дробильно-перевантажувальних пунктів, їх основні технологічні параметри, оптимальна кількість пунктів по горизонталі й вертикалі, оцінена економічна ефективність використання технологічних схем з декількома перевантажувальними пунктами. Проведеними дослідженнями встановлено, що у всіх випадках оптимізація кількості перевантажувальних пунктів та їх збільшення призводить до зменшення кількості автосамоскидів на 50-60% порівняно з варіантом використання одного перевантажувального пункту. Збільшення кількості перевантажувальних пунктів з одночасним зниженням кількості автосамоскидів підвищує надійність роботи кар'єрного транспорту. Оптимізація кількості перевантажувальних пунктів знижує необхідну продуктивність кожної дробильно-перевантажувальної установки до 10-20 млн.т/рік. Використання мобільних дробильно-перевантажувальних пунктів не заморожує запаси руди і не перешкоджає розвитку робочої зони.

Ключові слова: циклічно-потокова технологія, концентраційний горизонт, дробарно-перевантажувальний пункт

Vilkul Y.G., Slobodyanyuk V.K., Maksimov I.I. Optimization of process parameters of the cyclical continuous production flow technology used in the deep open pits

Dependence of the technical and economic performance of truck haulage on the number and location of transfer stations in the working area of the pit was investigated. Analytical dependence to determine the optimal number of transfer stations when they are uniformly distributed along the length and depth of the working area has been specified. The special features of change in key performance indicators of mining motor transport depending on the number of crushing and transfer stations in CCPF technology, pit capacity and size of the working area were detected. The conditions for simultaneous use of several crushing and transfer stations, their major process parameters and the optimum number of stations located horizontally and vertically were determined, the economic efficiency of process flowcharts with multiple transfer stations was estimated. The investigations made have shown that in all cases, optimization and increase in the number of transfer stations leads to a decrease in the number of dump trucks by 50-60 % compared to the option of using one transfer station. Increasing the number of transfer stations, while reducing the number of dump trucks, improves reliability of truck haulage. Optimizing the number of transfer stations reduces the required capacity of each crushing and transfer equipment to 10-20 million tons/year. The use of mobile crushing and transfer stations neither freezes ore reserves, nor impedes the development of the working area.

Keywords: continuous mining technology, haulage level, crushing and transfer station

УДК 622.235

Сажєнєв С.В., Шапурін О.В., Швець Є.М. Аналіз взаємодії зарядів за умов застосування різних схем монтажу вибухових мереж

У викладеному матеріалі пропонується новий підхід до ініціювання зарядів у вибуховому блоці у випадку необхідності збереження об'єкту, що охороняється розташованого поблизу укосу уступу. Розглядається поставлена задача методом аналізу хвильової та кидальної дії зарядів ВР і керування цією дією у напрямку досягнення двох результатів, які першочергово протирічають одне одному. А саме, зменшити ширину розвалу у напрямку укосу уступу, який підлягає руйнуванню і здолати завищені значення опору по підшві перед першим рядом свердловин. При цьому забезпечення якісної проробки завищеного опору по підшві перед першим рядом свердловин покращується за рахунок спрямованої хвильової дії зарядів ВР із глибини вибухового блоку в режимі додавання у напрямку до укосу уступу з інтервалом сповільнення між ними 25 мс. Одночасно з цим, для зменшення ширини розвалу виконується переорієнтація кидальної дії заряду у першому ряду свердловин, який підривається останнім, за рахунок встановлення між ним і попереднім йому зарядом у другому ряду свердловин інтервалу сповільнення 176 мс. Таке технічне рішення приводить до створення перед зарядом першого ряду нової вільної поверхні, яка є конкурентом вільній поверхні укосу уступу. Оскільки відстань до нової поверхні майже вдвічі менша, ніж до реального укосу уступу, основна частина кидальної дії заряду у першому ряду свердловин переорієнтовується у напрямок раніше підірваного заряду у другому ряду.

Ключові слова: ряд свердловин, напрямок укосу уступу, ініціювання зарядів.

Сажєнєв С.В., Шапурин А.В., Швец Є.М. Анализ взаимодействия зарядов при условиях применения разных схем монтажа взрывных сетей

В изложенном материале предлагается новый подход к инициированию зарядов во взрывном блоке в случае необходимости сохранения объекта, что охраняется расположенного вблизи укоса уступа. Рассматривается поставленная задача методом анализа волнового и метательного действия зарядов ВР и управления этим действием в направлении достижения двух результатов, которые первоочередно противоречащие друг другу. А именно, уменьшить ширину развала в направлении укоса уступа, который подлежит разрушению и преодолеть завышенные значения сопротивления по подошве перед дерем поруч скважин. При этом обеспечение качественной проробки завышенного сопротивления по подошве перед дерем поруч скважин улучшается за счет направленного волнового действия зарядов ВР из глубины взрывного блока в режиме добавления по направлению к укосу уступа с интервалом замедления между ними 25 мс. Одновременно с этим, для уменьшения ширины развала выполняется переориентация метательного действия заряда в первом ряду скважин, который подрывается последним, за счет установления между ним и предыдущим ему зарядом в другом ряду скважин интервала замедления 176 мс. Такое техническое решение приводит к созданию перед зарядом первого ряда новой свободной поверхности, которая является конкурентом свободной поверхности укоса уступа. Поскольку расстояние к новой поверхности почти в два раза меньше, чем к реальному укосу уступа, основная часть метательного действия заряда в первом ряду скважин будет переориентироваться в направление ранее подорванного заряда в другом ряду.

Ключевые слова: ряд скважин, направление укоса уступа, инициирование зарядов.

Sazenev S.V., Shapurin A.V., Shvets E.M. Analysis of co-operation of charges on conditions of application of different charts of editing of explosive networks

In the expounded material the new going is offered near initiation of charges in an explosive block in the case of necessity maintenances of object, that is guarded the hay - crop of ledge located near - by. The put is examined task of analysis of wave and missile action of charges of SR and management this action a method in the direction of achievement of two results which near - term to contradicting each other. Namely, to decrease the width of disintegration in the direction of hay - crop of ledge, which is subject to destruction and to overcome the overpriced values of resistance on a sole before tear to pieces poruch mining holes. Thus providing of high - quality propobki of the overpriced resistance on a sole before tear to pieces poruch mining holes gets better due to the directed wave action of charges of SR from the depth of explosive block in the mode of addition towards the hay - crop of ledge with the interval of deceleration between them 25 msec. At the same time, for diminishing of width of disintegration pereorientatsiya of of missile action of charge is executed in the first row of mining holes, which is blown up the last, due to establishment between him and by a previous to him charge in other row of mining holes of interval of deceleration 176 msec. Such technical decision results in creation before the charge of the first row of new free - form which is the competitor of free - form of hay - crop of ledge. As distance to the new surface almost in two times less than, than to the real hay - crop of ledge, basic part of missile action of charge in the first row of mining holes will pereorientirovatsya in direction of the before undermined charge in other row.

Keywords: row of mining holes, direction of lay-crop of ledge, initiation of charges.

УДК 622.235.62

Левицкий А.П. Методы управляемого фракционирования взрывающей горной массы на карьерах

Показано, что по мере углубления карьеров на качество дробления пород взрывом оказывают влияние не только технологические и энергетические факторы буровзрывных работ, но и изменение крепости и обводненности пород с глубиной. Проблема комплексного влияния этих факторов на качество дробления потребовала своего решения.

Необходимо было определить степень влияния природных, техногенных и энергетических факторов на качество взрывного дробления руд. Исследованиями установлено, что на качество взрывной подготовки горной массы требуемой кусковатости влияют следующие факторы: природные - трещиноватость руд, крепость, структура и текстура, обводненность; технологические - диаметр скважинного заряда ВВ, сетка скважин, число взрывающих рядов, величина колонки заряда ВВ, схема взрывания, интервал замедления; энергетические - тип ВВ, плотность ВВ. Разрушение руды в ходе горно-обогащительного производства необходимо рассматривать как единый процесс, состоящий из трех этапов: взрывная рудоподготовка (буровзрывные работы); механическая рудоподготовка (дробилки); механическое измельчение (баранные мельницы).

В работе сформулированы основные требования к гранулометрическому составу и прочности руд для процессов самоизмельчения железистых кварцитов. Установлено, что при прочих равных условиях производительность мельниц самоизмельчения максимальна при минимальном содержании промежуточных фракций в питании и оптимальный выход мелющих тел не зависит от прочности руды. Определено, что для руд ИнГОКа оптимальный выход класса +100 мм, обеспечивающий максимальную производительность мельниц, равен 50-55%. Выполненные исследования являются базой для разработки новых методов для целенаправленной подготовки руды к процессу самоизмельчения.

Ключевые слова: рудоподготовка, самоизмельчение, взрыв.

Левицкий А.П. Методы керованого фракціонування висаджуваної в повітря гірської маси на кар'єрах

Показано, що у міру поглиблення кар'єрів на якість дроблення порід вибухом чинять вплив не лише технологічні й енергетичні чинники буропідричних робіт, але й зміна міцності й обводнюваності порід з глибиною. Проблема комплексного впливу цих чинників на якість дроблення вимагала свого рішення.

Необхідно було визначити міру впливу природних, техногенних і енергетичних чинників на якість вибухового дроблення руд. Дослідженнями встановлено, що на якість вибухової підготовки гірської маси необхідної грудкуватості впливають наступні чинники: природні - трещиноватість руд, міцність, структура й текстура, обводнюваність; технологічні - діаметр свердловинного заряду ВВ, сітка свердловин, число висаджуваних в повітря рядів, величина колонки заряду ВВ, схема підривання, інтервал уповільнення; енергетичні - тип ВВ, щільність ВВ. Руйнування руди в ході гірничо-збагачувального виробництва необхідно розглядати як єдиний процес, що складається з трьох етапів, : вибухова рудопідготовка (буропідричні роботи); механічна рудопідготовка (дробарки); механічне подрібнення (баранні млини).

У роботі сформульовано основні вимоги до гранулометричного складу й міцності руд для процесів самоздрібнювання залізистих кварцитів. Встановлено, що за інших рівних умов продуктивність млинів самоподрібнення максимальна при мінімальному вмісті проміжних фракцій в живленні і оптимальний вихід мелючих тіл не залежить від міцності руди. Визначено, що для руд ІнГЗК оптимальний вихід класу +100 мм, що забезпечує максимальну продуктивність млинів, дорівнює 50-55%. Виконані дослідження є базою для розробки нових методів для цілеспрямованої підготовки руди до процесу самоподрібнення.

Ключові слова: рудопідготовка, самоподрібнення, вибух.

Andrey P. Levitskiy The methods of controlled rock fragmentation when blasting at the open pits

It is shown that as the pit gets dipper, not only the processing and energy factors of drilling and blasting operations, but also the changes in rock hardness and water content have an effect on the quality of rock fragmentation. The problem of integrated impact of these factors on the quality of rock fragmentation needs solving.

It was necessary to determine the level of impact of natural, technogenic and energy factors on the quality of blast fragmentation. The researches have found that the following factors impact on the quality of blast fragmentation with regard to the rock lumpiness required: the natural factors, such as ore fracturing, hardness, structure and texture, water content; the technogenic factors, such as a diameter of the charge hole, a drill hole pattern, the number of drill hole rows, an explosive charge column size, a blast pattern, a delay interval; the energy factors, such as the type and density of explosives. The ore destruction in the mining and processing production should be regarded as an integrated process consisting of three stages: blast fragmentation (drilling and blasting operations); mechanical preparation (crusher); mechanical grinding (drum mills).

The basic requirements to the grain size distribution and ore hardness for autogenous grinding the ferruginous quartzite are formulated in this paper. It is stated, that all other factors being equal, the autogenous mill capacity is maximum at the minimum intermediate fraction content in feed and an optimum yield of grinding media does not depend on the ore hardness. It is determined that an optimum size yield of +100 mm grains for InGZK ores providing a maximum mill capacity is 50-55%. The performed researches are the basis to develop a new technique for the purpose-oriented ore preparation for an autogenous grinding process.

Keywords: ore preparation, autogenous milling, blast

УДК 622.272

Кучерявенко І.А., Чухарев С.М. Високопродуктивна система підземної розробки магнетитових кварцитів із застосуванням самохідної гірничої техніки

Необхідність залучення в підземну розробку покладів магнетитових кварцитів, які залягають у полях діючих шахт Кривбасу, з метою розширення сировинної бази підземних рудників і зниження інтенсивності розробки багатих руд, є актуальною проблемою.

Проведений техніко-економічний аналіз поверхово-камерної системи розробки з відбійкою руди і вібровипуском її показав, що застосована у теперішній час на шахті ім. Орджонікідзе технологія підземного видобутку магнетитових кварцитів характеризується низькими техніко-економічними показниками у порівнянні з аналогічною технологією на базі самохідної техніки.

Для встановлення закономірностей зміння показників вилучення руди від товщини обваленої стелі і відстані між навантажувальними заїздами при застосуванні траншейного днища блока і самохідних навантажувально-доставних машин, було проведено лабораторні дослідження, які дозволили встановити оптимальні параметри стелі і конструкції траншейного днища.

В результаті проведення лабораторних досліджень установлені закономірності зміння показників втрат і засмічення руди, які дозволили обґрунтувати розміри конструктивних елементів траншейних днищ блоків

Розроблено паспорт поверхово-камерної системи розробки потужних покладів магнетитових кварцитів із застосуванням самохідної техніки, який належить використовувати при проектуванні підземної розробки покладів магнетитових кварцитів на діючих шахтах Кривбасу.

Розроблена високопродуктивна поверхово-камерна система розробки крутоспадних потужних покладів магнетитових кварцитів із застосуванням самохідних бурових установок і навантажувально-доставних машин дозволить у 1,5-2 рази поліпшити техніко-економічні показники системи.

Ключові слова: магнетитові кварцити, параметри блока, траншейне днище, навантажувальні заїзди, доставні орти, відбійка, навантаження, доставка руди, показники вилучення руди, еквівалентні матеріали, втрати, засмічення руди.

Кучерявенко И.А., Чухарев С.М. Высокопроизводительная система подземной разработки магнетитовых кварцитов с применением самоходной горной техники

Необходимость вовлечения в подземную разработку залежей магнетитовых кварцитов, которые залегают в полях действующих шахт Кривбасса, с целью расширения сырьевой базы подземных рудников и снижение интенсивности разработки богатых руд, является актуальной проблемой.

Проведенный технико-экономический анализ этажно-камерной системы разработки с отбойкой руды и вибровыпуском ее показал, что применяемая в настоящее время на шахте им. Орджоникидзе технология подземной добычи магнетитовых кварцитов характеризуется низкими технико-экономическими показателями в сравнении с аналогичной технологией на базе самоходной техники.

Для установления закономерностей изменения показателей извлечения руды от толщины обрушаемой потолочины и расстояния между погрузочными заездами при применении траншейного днища блока и самоходных погрузочно-доставочных машин, были проведены лабораторные исследования, которые позволили установить оптимальные параметры потолочин и конструкции траншейного днища.

В результате проведения лабораторных исследований установлены закономерности изменения показателей потерь и засорения руды, которые позволили обосновать размеры конструктивных элементов траншейных днищ блоков.

Разработан паспорт этажно-камерной системы разработки мощных залежей магнетитовых кварцитов с применением самоходной техники, который следует использовать при проектировании подземной разработки залежей магнетитовых кварцитов на действующих шахтах Кривбасса.

Разработана высокопроизводительная этажно-камерная система разработки крутопадающих мощных залежей магнетитовых кварцитов с применением самоходных буровых установок и погрузочно-доставочных машин, которая позволит в 1,5-2 раза улучшить технико-экономические показатели системы.

Ключевые слова: магнетитовые кварциты, параметры блока, траншейное днище, погрузочные заезды, доставочные орты, отбойка, нагрузка, доставка руды, показатели извлечения руды, эквивалентные материалы, потери, засорение руды.

Kucherjavenko I.A., Chukharev S.M. High-performance system of underground development of quartzites of magnetite with the use of self-propelled mountain technique

Necessity of bringing in underground development of beds of quartzites of magnetite, which bed in the fields of operating mines of Kryvbas, with the purpose of expansion of source of raw materials of underground mineries and decline of intensity of development of rich ores, is the issue of the day.

Conducted of tehniko - economic analysis of superficially is chamber ceiling development with отбойка of of of ore and vibroproducing showed her, that applied presently on mines the name of Ordzonikidze of technology of underground booty of quartzites of magnetite is characterized by subzero tehniko - economic indexes by comparison to analogical technology on the base of self - propelled technique.

For establishment of conformities to law change of indexes of extraction of ore from the thickness of brought down потолочины and distances between loading arrivals at application of trench bottom of block and self-propelled loading-deliverable machines, laboratory researches which allowed to set optimal parameters потолочин materials of trench bottom were conducted.

As a result of realization of laboratory researches conformities to law of change of indexes of losses and obstruction are set ores which allowed to ground the sizes of structural elements of trench bottoms of blocks.

The passport of the floor-chamber system of development of powerful beds of магнетитовых quartzites is worked out with the use of self-propelled technique, which it is necessary to use for planning of underground development of beds of магнетитовых quartzites on the operating mines of Krivbass.

The high - performance superficially - chamber system of development of steeply falling of powerful beds of quartzites of magnetite is worked out with the use of self - propelled borings options and loading deliverable machines, which will allow in 1,5-2 times to promote the tehniko-economic indexes of the system.

Keywords: quartzites of magnetite, parameters of block, trench bottom, loading arrivals, deliverable thirl, відбійка, loading, delivery of ore, indexes of exception of ore, equivalent materials, losses, obstructions of ore.

УДК 622.272

Тищенко С.В., Еременко Г.И., Малых Д.Ю. Временные параметры взаимодействия скважинных зарядов и энергетические характеристики процесса взрывного разрушения

В практике буровзрывных работ успешно используются методы управления энергией взрыва, основанные на использовании процесса взаимодействия скважинных зарядов.

Разрушение является функцией напряжений горной породы, интенсивность разрушения характеризуется частотой зарождения трещин, скоростью их распространения, длительностью разрушающих напряжений. Основными факторами, определяющими процесс разрушения, являются – величина напряжений, возникающая в массиве горных пород при взрыве заряда ВВ, продолжительность действия напряженного состояния и физико-механические свойства среды. Регулирование процесса разрушения горных пород можно осуществить путем изменения параметров времени взрывного нагружения.

Очевидно, что одним из направлений повышения эффективности взрывных работ в условиях открытой разработки полезных ископаемых является исследование и разработка методов управления энергией взрыва, основанной на взаимодействии скважинных зарядов ВВ, взрываемых в одной ступени замедления. Согласно полученных результатов взрывание в режиме малых замедлений эффективно и рационально с точки зрения энергетической картины разрушения горного массива.

Тищенко С.В., Еременко Г. И., Малих Д.Ю. Тимчасові параметри взаємодії свердловинних зарядів і енергетичні характеристики процесу вибухового руйнування

У практиці буропідричних робіт успішно використовуються методи управління енергією вибуху, засновані на використанні процесу взаємодії свердловинних зарядів.

Руйнування є функцією напруги гірської породи, інтенсивність руйнування характеризується частотою зародження тріщин, швидкістю їх поширення, тривалістю руйнівної напруги. Основними чинниками, що визначають процес руйнування, являються - величина напруги, що виникає в масиві гірських порід при вибуху заряду ВВ, тривалість дії напруженого стану і фізико-механічні властивості середовища. Регулювання процесу руйнування гірських порід можна здійснити шляхом зміни параметрів часу вибухового вантаження.

Очевидно, що одним з напрямів підвищення ефективності вибухових робіт в умовах відкритої розробки корисних копалин є дослідження і розробка методів управління енергією вибуху, заснованою на взаємодії свердловинних зарядів ВВ, що висаджуються в повітря в одному ступені уповільнення. Згідно отриманих результатів підривання в режимі малих уповільнень ефективно і раціонально з точки зору енергетичної картини руйнування гірського масиву.

Tyshenko S.V., Eremenko G.I., Malykh D.Ju. Temporal parameters of cooperation of downhole charges and power descriptions of process of explosive destruction

The methods of power-handling explosion, cooperations of downhole charges based on the use of process, are successfully used in practice of drillings and blasting.

Destruction is the function of tensions of mountain breed, intensity of destruction is characterized by frequency of origin of cracks, speed of their distribution, duration of stress - at - breaks. By basic factors, qualificatory the process of destruction, are is a size of tensions, arising up in the array of mountain breeds at the explosion of charge of BB, duration of action of the tense state and physico-mechanical properties of environment. Adjusting of process of destruction of mountain breeds can be carried out by the change of parameters of time of explosive ladening.

Obviously, that one of directions of increase of efficiency of explosive works in the conditions of openwork of minerals is research-and-development methods of power-handling, based on cooperation of downhole charges of BB, blown up in one stage of deceleration explosion. In obedience to the got results exploding in the mode of small decelerations effectively and rationally from the point of view of power picture of destruction of mountain range.

УДК 622.272

Калініченко О.В. Удосконалення концепцій системного управління процесами підземних гірничих робіт з урахуванням впливу на них напружено-деформованого стану гірського масиву

Роботу присвячено вирішенню актуальної проблеми удосконалення концепцій системного управління процесами підземних гірничих робіт з урахуванням напружено-деформованого стану гірського масиву та впливу існуючих технологій підземного видобутку корисних копалин на збереження денної поверхні в полях діючих та відпрацьованих шахт.

Виконано аналіз впливу камерних систем розробки та систем розробки з обваленням руди та вміщуючих порід на характер порушень денної поверхні з формуванням воронок, провалів та зон обвалення. Наведено варіант математичного моделювання підземного видобутку магнетитових кварцитів з епіюрами та величиною деформацій на прикладі відпрацьованої ділянки покладів магнетитових кварцитів на ш. Гігант-Глибока РУ ім. Дзержинського.

На основі виконаних досліджень напружено-деформованого стану гірського масиву обґрунтовано теоретичну можливість руйнування міжкамерних ціликів, які залишили між відпрацьованими камерами. На прикладі відпрацювання ділянки магнетитових кварцитів у полі ш. ім. Орджонікідзе ПАТ ЦГЗК наведено практичну можливість такого припущення, коли розрахункові параметри оголень та розмірів ціликів в умовах ш. ім. Орджонікідзе не забезпечили безпечну технологію підземного видобутку магнетитових кварцитів, що призвело до руйнування МКЦ та раптового просідання денної поверхні.

Обґрунтовано спосіб, що гарантує неможливість провалів і просідань денної поверхні на основі застосування систем розробки з твердіючою закладкою. Доведено, що дана технологія дозволяє зберігати непорушеною денну поверхню, використовуючи твердіючу закладку для заповнення відпрацьованого очисного простору. Зосереджено увагу на окремих технологічних схемах, які припускають утилізацію пустих порід і відходів збагачення у відпрацьованому просторі очисних блоків. Наведено переваги технології видобутку залізних руд з твердіючою закладкою виробленого простору.

У висновках наголошено, що жодна високорозвинена гірничовидобувна країна світу не відпрацьовує родовища корисних копалин в міській межі без наступної закладки виробленого простору. Тому подальші дослідження повинні бути спрямовані на розробку і вдосконалення існуючих технологій підземного видобутку залізних руд системами розробки із закладкою виробленого простору.

Работа посвящена решению актуальной проблемы совершенствования концепций системного управления процессами подземных горных работ с учетом напряженно-деформированного состояния горного массива и влияния существующих технологий подземной добычи полезных ископаемых на сохранение дневной поверхности в полях действующих и отработанных шахт.

Выполнен анализ влияния камерных систем разработки и систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород на характер нарушений дневной поверхности с формированием воронок, провалов и зон обрушения. Приведен вариант математического моделирования подземной добычи магнетитовых кварцитов с эпюрами и величинами де-

формаций на примере отработанного участка залежи магнетитовых кварцитов на ш. Гигант-Глубокая РУ им. Дзержинского.

Калиниченко Е. В. Усовершенствование концепций системного управления процессами подземных горных работ с учетом влияния на них напряженно-деформированного состояния горного массива

На основании выполненных исследований напряженно-деформированного состояния горного массива обоснована теоретическая возможность разрушения междукammerных целиков, которые находятся между отработанными камерами. На примере отработки участка магнетитовых кварцитов в поле ш. им. Орджоникидзе ПАО ЦГОК обоснована практическая возможность такого предположения, когда расчетные параметры обнажений и размеров целиков в условиях ш. им. Орджоникидзе не обеспечили безопасную технологию подземной добычи магнетитовых кварцитов, что привело к разрушению МКЦ и внезапного проседания дневной поверхности.

Обоснован способ, гарантирующий невозможность провалов и просадок дневной поверхности на основе применения систем разработки с твердеющей закладкой. Доказано, что данная технология позволяет сохранить ненарушенной дневную поверхность, используя твердеющую закладку для заполнения отработанного очистного пространства. Сосредоточено внимание на отдельных технологических схемах, которые предполагают утилизацию пустых пород и отходов обогащения в отработанном пространстве очистных блоков. Приведены преимущества технологии добычи железных руд с твердеющей закладкой выработанного пространства.

В качестве выводов отмечено, что ни одна высокоразвитая горнодобывающая страна мира не отрабатывает месторождения полезных ископаемых в городской черте без последующей закладки выработанного пространства. Поэтому дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку и совершенствование существующих технологий подземной добычи железных руд системами разработки с закладкой выработанного пространства.

Kalinichenko O.V. Improvement of conceptions of system management the processes of underground mountain works taking into account influence on them the tensely-deformed state of mountain range

The work is devoted to solving the urgent problem of improving the concepts of process control system of underground mining, taking into account the stress-strain state of the rock mass and the impact of the technologies of underground mining on the preservation of the earth's surface in the fields of operating mines and waste. The analysis of the effect of camera systems design and development system with caving the ore and surrounding rocks on the nature of violations of the Earth's surface with the formation of sinkholes, gaps and areas of collapse. The variant of mathematical modelling of underground mining of magnetite quartzites with diagrams and the amount of strain on the example of the waste land deposits of magnetite quartzite w. Gigant-Glyboka. On the basis of the investigations of stress-strain state of rock mass destruction justified a theoretical possibility interchamber pillars, which are located between the exhaust chamber. For example, magnetite quartzite mining site in the w. them. Ordzhonikidze of CGOK proved the feasibility of this suggestion when the design parameters and dimensions of the pillars of exposures under w. them. Ordzhonikidze not ensure the safety of the technology of underground mining of magnetite quartzite, which led to the destruction of the MCC and the sudden subsidence of the ground surface. Sound manner, ensuring the impossibility of failure and subsidence of the ground surface through the use of systems development with a hardening bookmark. It is proved that this technology allows you to keep intact the ground surface using a hardening bookmark to fill exhaust purification space. It focuses on individual technological schemes that involve utilization of waste rock and tailings in the waste treatment space blocks. The advantages of the technology of extraction of iron ores with hardening stowing. As the conclusions noted that no highly developed mining country in the world work out mineral deposits in the city without further stowing. Therefore, further research should be aimed at the development and improvement of existing technologies of underground mining of iron ore mining systems with laying out space.

УДК 536.75

Повар С.В. Ентропія, характеристичні функції та ts -діаграма термодинамічного процесу (конкретизація, унаочнення)

Автором виокремлена тема курсу фізики «Ентропія S та характеристичні функції стану термодинамічної системи», що конче потребує **конкретизації** висвітлення зв'язків між об'єктами вивчення, хоч у цілому перевага надається прийому **абстрагування**. При обґрунтуванні необхідності пропозицій конкретизуючих доповнень викладу вказаної теми автор спирається на висновки психології та педагогіки.

План вивчення теми подається таблицею об'єктів вивчення з їх аналітичними виразами. Мотивуючим чинником є демонстрація TS -діаграми циклу Карно (з курсу технічної термодинаміки), акцент на її доцільності і своєрідній простоті у порівнянні з pV -діаграмою цього циклу.

Можливість взяти OS вісню координат обґрунтовується аналітично та візуально - через демонстрацію розподілів двох молекул по двох і трьох просторово-енергетичних комірках; формулюються висновки.

Далі обґрунтовується існування максимального значення ентропії S_{max} та показ характеристичних функцій на TS -діаграмі ізотермічного процесу.

Основними **доповненнями**, запропонованими автором для конкретизації фактичного матеріалу вказаної теми і його згрупування, є **цілісний табличний образ** – розподіл двох молекул по просторово-енергетичних комітках (статистика Больцмана) та **цілісний графічний образ** комплексу характеристичних функцій на TS -діаграмі (авторський). Автор стверджує, що ці доповнення сприяють засвоєнню фізичних понять вказаної теми.

Ключові слова: термодинаміка, ентропія, функції стану, характеристичні функції, термодинамічна система, ізотермічний процес, цикл Карно, TS -діаграма, цілісний графічний образ, вільна енергія, зв'язана енергія.

Повар С.В. Энтропия, характеристические функции и TS -диаграмма термодинамического процесса (конкретизация, иллюстрации)

Автором выделена тема курса физики «Энтропия S и характеристические функции состояния термодинамической системы», что очень нуждается в конкретизации освещения связей между объектами изучения, хотя в целом предпочтение отдается приему абстрагирования. При обосновании необходимости предложенных конкретизирующих дополнений изложения указанной темы автор опирается на выводы психологии и педагогики.

План изучения темы подается таблицей объектов изучения с их аналитическими выражениями. Мотивирующим фактором демонстрации TS -диаграммы цикла Карно (по курсу технической термодинамики), акцент на ее целесообразности и своеобразной простоте в сравнении с PV -диаграммой этого цикла.

Возможность взять OS осью координат обосновывается аналитически и визуально – через демонстрацию распределений двух молекул по двум и трем пространственно-энергетическим ячейкам; формулируются выводы.

Далее обосновывается существование максимального значения энтропии S_{max} и показ характеристических функций на TS -диаграмме изотермического процесса.

Основными дополнениями, предложенными автором для конкретизации фактического материала указанной темы и его группирования, является целостный табличный образ – распределение двух молекул по пространственно-энергетическим ячейкам (статистика Больцмана) и целостный графический образ комплекса характеристических функций на TS -диаграмме (авторский). Автор утверждает, что эти дополнения способствуют усвоению физических понятий указанной темы.

Ключевые слова: термодинамика, энтропия, функции состояния, характеристические функции, термодинамическая система, изотермический процесс, цикл Карно, TS -диаграмма, целостный графический образ, свободная энергия, связанная энергия.

Povar S.V. Entropy, characteristic functions and TS -diagram of the thermodynamic process (specification, illustrate)

The author singled out the theme of physics "Entropy S and the characteristic features of the state of the thermodynamic systems" that desperately needs to specify coverage relationships between the objects of studying, though generally preferred method of abstraction. Rationale for proposals specifying additions of the presentation specified themes are based on the conclusions of psychology and pedagogy.

Plan of the studying theme is presented in the table with their objects of studying with analytical expressions. The motivating factor is the demonstration with TS -diagram of the Carnot cycle (the course of technical thermodynamics), the emphasis on its feasibility and simplicity in a kind in the equation of the PV -diagram of this cycle.

Ability to coordinate axis OS is substantiated analytically and visually – by showing distributions of two molecules in two and three space-energy cells; formulate conclusions.

Further it is substantiated the existence of maximum entropy S_{max} and showed characteristic features in TS -diagram of the isothermal process.

The main amendments, proposed by the author to specify the actual material of the specified theme and its grouping, is integral tabular image – distribution of two molecules in space-energy cells (Boltzmann statistics) and integrated graphic image of the complex characteristic functions on the TS -diagram (author's). The author argues that these additions contribute to the absorption of physical concepts of the specified theme.

Keywords: thermodynamics, entropy, state function, characteristic functions, thermodynamic system, isothermal process, Carnot cycle, TS -diagram, complete graphic image, free energy, associated energy.

УДК 332.6

Малашевський М.А. Оподаткування земельних ділянок майданчиків біля закладів громадського харчування на прикладі міста Києва

Запропоновано шляхи наповнення доходної частини місцевих бюджетів за рахунок оподаткування майданчиків закладів громадського харчування. Наведено основні заклади громадського харчування згідно розпорядження виконавчого органу київської міської ради, плата за використання земельних ділянок із земель загального користування для розміщення майданчиків біля закладів громадського харчування як орендну плату за землі державної чи комунальної власності. Розвиток та ефективне функціонування цього сектору є надзвичайно гострою проблемою в сучасних умовах кризового стану економіки України у зв'язку з наявністю низки нерозв'язаних проблем, серед яких складна політична ситуація, корупція, суперечливе та неоднозначне законодавство, високе податкове навантаження та, як наслідок, значна тінізація економіки. Забезпечення належного функціонування земель загального користування з урахуванням планів земельно-господарського устрою відповідного населеного пункту. Розглянуто питання майданчиків для харчування як місце для надання послуг з харчування біля стаціонарного закладу ресторанного господарства. За результатами опрацьованого матеріалу встановлено, що більшість майданчиків біля закладів громадського харчування зосереджено у центрі міста і поблизу громадських центрів, на вказаних територіях вартість землі вища від середньої, тому і сума надходжень в дійсності буде більшою. Об'єктами дослідження обрано майданчики, розташовані у Печерському і Шевченківському районах Києва, що входять до території історичного центру міста. Об'єкти занесено до адресного розміщення відкритих майданчиків для харчування біля стаціонарних закладів ресторанного господарства.

Малашевский М.А. Налогообложение земельных участков площадок около заведений общественного питания на примере города Киева

Предложены пути наполнения доходной части местных бюджетов за счет налогообложения площадок заведений общественного питания. Приведены основные заведения общественного питания согласно распоряжения исполнительного органа киевского городского совета, плата за использование земельных участков из земель общего пользования для размещения площадок около заведений общественного питания как арендную плату за земли государственной или коммунальной собственности. Развитие и эффективное функционирование этого сектору является чрезвычайно острой проблемой в современных условиях кризисного состояния экономики Украины в связи с наличием ряды нерешенных проблем, среди которых сложная политическая ситуация, коррупция, противоречивое и неоднозначное законодательство, высокая налоговая нагрузка и, как следствие, значительная тенизация экономики. Обеспечение надлежащего функционирования земель общего пользования с учетом планов земельно-хозяйственного уклада соответствующего населенного пункта. Рассмотрен вопрос площадок для питания как место для предоставления услуг по питанию около стационарного заведения ресторанного хозяйства. По результатам проработанного материала установлено, что большинство площадок около заведений общественного питания сосредоточено в центре города и вблизи общественных центров, на указанных территориях стоимость земли более высока от средней, потому и сумма поступлений в действительности будет больше. Объектами исследования избраны площадки, расположенные в Печерском и Шевченковском районах Киева, которые входят в территорию исторического центра города. Объекты занесены к адресному размещению открытых площадок для питания около стационарных заведений ресторанного хозяйства.

Malashevsky M.A. Taxation of lot lands of grounds near establishments of public food consumption on the example of city of Kyiv

The ways of filling of profitable part of local budgets are offered due to taxation of grounds of establishments of public food consumption. Basic establishments over of public food consumption are brought in obedience to the order of executive branch of Kyiv town advice, paying for the use of lot lands from earths of the general use for placing of grounds near establishments of public food consumption as rent for earths of public or communal domain. Development and effective functioning of it is a sector an extraordinarily sharp problem in the modern terms of the crisis state of economy of Ukraine in connection with a presence rows of unsolved problems, among which difficult political situation, corruption, contradictory and ambiguous legislation, high tax loading and, as a result, considerable тенизация of economy. Providing of the proper functioning of earths of the general use taking into account the plans of the earth-economic mode of corresponding settlement. The question of grounds is considered for a feed as a place for the grant of services in a feed near stationary establishment of restaurant economy. It is set on results the worked out material, that most grounds near establishments of public food consumption concentrated in the center of city and near-by public focus, on the indicated territories the cost of earth is higher from middle, that is why and a sum of receipts in actual fact will be anymore. Grounds, located in Pechersk and Shevchenko dis-

tricts of Kyiv, which are included in territory of historical center of city, are select research objects. Objects are brought to the address placing outside court for a feed near stationary establishments of restaurant economy.

УДК 622.281.4

Поддубный Н.Н., Шашенко А.Н., Жуков С.А. Разработка и экспериментальная оценка эффективности новых составов набрызг-бетона

Статья посвящена поиску путей повышения эффективности набрызг-бетонных крепей. В ней охарактеризованы условия горных работ в современных шахтах и главные проблемы, связанные с креплением подземных горных выработок (горной крепью). Проанализировано развитие науки о горных крепях и торкретировании скальных поверхностей. Представлены основные проблемы обеспечения шахтного строительства в Украине стройматериалами. Выполнен анализ рынка строительных сухих смесей для бетонных работ в подземных условиях. Определены перспективные направления для решения проблем, связанных с бетонной горной крепью. Выполнен анализ технологических свойств набрызг-бетонных смесей BUDMIX KR; соответствия этих смесей требованиям горного строительства и специфике подземных выработок, а также потенциальные возможности производителя данной продукции в современных условиях для решения возникающих ресурсных задач. В статье также рассмотрены лабораторные исследования набрызг-бетонных смесей и проанализированы их результаты. Определены главные особенности и характеристики бетонных смесей различного состава. Представлены также экспериментальные испытания новых бетонов для крепления подземных полостей и оценка эффективности предлагаемой технологии. Рассмотрены экспертные заключения различных комиссий и инстанций. Определены возможности широкого внедрения в горную практику рассмотренных стройматериалов и реальные перспективы дальнейшего развития технологий, основанных на них.

Ключевые слова: набрызг-бетон, торкретирование, сухая смесь, прочность бетона, крепь.

Піддубний М.М., Шашенко О.М., Жуков С.О. Розробка й експериментальна оцінка ефективності нових сумішей набрызк-бетону

Статтю присвячено пошуку шляхів підвищення ефективності набрызк-бетонних кріплень. В ній охарактеризовано умови гірничих робіт в сучасних шахтах і головні проблеми, пов'язані з кріпленням підземних гірничих виробок (гірничим кріпленням). Проаналізовано розвиток науки про гірниче кріплення і торкретування скельних поверхонь. Представлено основні проблеми забезпечення шахтного будівництва в Україні будматеріалами. Виконано аналіз ринку будівельних сухих сумішей для бетонних робіт в підземних умовах. Визначено перспективні напрями для вирішення проблем, пов'язаних з бетонним гірничим кріпленням. Виконано аналіз технологічних властивостей набрызк-бетонних сумішей BUDMIX KR; відповідності цих сумішей вимогам гірничого будівництва та специфіці підземних виробок, а також потенційні можливості виробника даної продукції в сучасних умовах для вирішення виникаючих ресурсних завдань. У статті також розглянуто лабораторні дослідження набрызк-бетонних сумішей та проаналізовано їх результати. Визначено головні особливості та характеристики бетонних сумішей різного складу. Представлено також експериментальні випробування нових бетонів для кріплення підземних порожнин та оцінку ефективності запропонованої технології. Розглянуто експертні висновки різних комісій та інстанцій. Визначено можливості широкого впровадження в гірничу практику розглянутих будматеріалів та реальні перспективи подальшого розвитку технологій, заснованих на них.

Ключові слова: набрызк-бетон, торкретування, суха суміш, міцність бетону, кріплення.

Piddubniy N.N., Shashenko A.N., Zhukov S.A. Development and experimental evaluation of new concrete-spraying compositions

The article is devoted to finding ways to improve the efficiency of sprayed-concrete support. It described the conditions of mining operations in modern mines and major problems associated with fastening of underground mining (mining support). It analyzes the development of the science of mining support and concreting rocky surfaces. The main problems of mine construction building materials in Ukraine. The analysis of the market of construction dry mixes Concrete works in underground conditions. Perspective directions for solving the problems associated with concrete rock bolting. The analysis of the technological properties of sprayed concrete mixes BUDMIX KR; compliance with the requirements of these composition of mining construction and specifics of underground workings, as well as potential producers of the products in the present conditions to address emerging resource problems. The article also discussed laboratory studies sprayed concrete mixes and analyzed the results. Identify the main features and characteristics of concrete composition of different composition. Presented as experimental testing of new concrete for fixing underground cavities and evaluation of the proposed technology. We consider expert opinions of various commissions and courts. Possibilities broad introduction to the mountain practice considered construction materials and real prospects for the further development of technologies based on them.

Keywords: sprayed concrete, spraying, dry mix, the strength of concrete lining.

УДК 622.794

Білецький В.С., Сергєєв П.В. Мікроскопія комплексів «вугілля-реагент»

Статтю присвячено темі мікроскопічних досліджень комплексів «вугілля-реагент». Показано, що розроблена нами методика препарування і мікроскопічних досліджень структур «вугілля-реагент» є результативним методом вивчення технологічних процесів агрегації дрібних зерен вугілля, зокрема брикетування, селективної флокуляції та грануляції. Одночасно з іншими методами вона дозволяє ідентифікувати об'єкти розміром 1-10 мкм і більше, класифікувати вугільно-реагентні комплекси (нами запропоновано виділяти чотири типи комплексів «вугілля-реагент»), вивчати поверхню вугільних зерен і проникнення реагенту в пори та тріщини. Виконані мікроскопічні дослідження вугілля ряду метаморфізму показують наявність локальних та обширних областей на поверхні вугільних зерен з виступами, западинами, раковинами, тріщинами, гострими кутами, скидами, порами та ін. елементами поверхні. Мікроскопія структур «вугілля-реагент» дозволяє оцінити характер аутогезійного контакту зерен вугілля по поверхневій масляній плівці, зокрема контакт по структурованих граничних плівках, що вельми важливо для встановлення міцності зв'язку елементів комплексу. Крім того, мікроскопія може бути застосована для оцінки окиснення вугільної поверхні. Показано можливість мікроскопічної фіксації на вугіллі смужок Бекке. Подальші дослідження доцільно провести в напрямку розробки методики кількісної оцінки ступеня окиснення вугільних зерен за товщиною смужок Бекке.

Ключові слова: мікроскопія, вугільно-масляні гранули, флокули, брикети, агломерати.

Белецкий В.С., Сергеев П.В. Микроскопия комплекс «уголь-реагент»

Статья посвящена теме микроскопических исследований комплексов «уголь-реагент». Показано, что разработанная нами методика препарирования и микроскопических исследований структур «уголь-реагент» является результативным методом изучения технологических процессов агрегации мелких зерен угля, в частности брикетирования, селективной флокуляции и грануляции. Одновременно с другими методами она позволяет идентифицировать объекты размером 1-10 мкм и более, классифицировать комплексы «уголь-реагент» (нами предложено выделять четыре типа комплексов «уголь-реагент»), изучать поверхность угольных зерен и проникновение реагента в поры и трещины. Выполненные нами микроскопические исследования угля разной степени углефикации показывают наличие локальных и обширных областей на поверхности угольных зерен с выступами, впадинами, раковинами, трещинами, острыми углами, сбросами, порами и др. элементами поверхности. Микроскопия структур «уголь-реагент» позволяет оценить характер аутогезионного контакта зерен угля по поверхностной масляной пленке, в частности контакт по структурированным предельным пленкам, что весьма важно для установления прочности связи элементов комплекса. Кроме того, микроскопия может быть применена для оценки окисления угольной поверхности. Нами показана возможность микроскопической фиксации на угле полосок Бекке. Дальнейшие исследования целесообразно провести в направлении разработки методики количественной оценки степени окисления угольных зерен по толщине полосок Бекке.

Ключевые слова: микроскопия, угольно-масляные гранулы, флокулы, брикеты, агломераты.

Beletsky V.S., Sergeev P.V. Microscopy complex "coal- reagent"

The paper concerns the microscopic study of the complex "coal- reagent". It is shown that our method of preparation, and microscopic examination of structures of "coal-agent" is the effective method for studying the processes of aggregation of fine grains of coal, in particular briquetting, selective flocculation and granulation. Along with other methods, it allows you to identify objects the size of 1-10 mm or more, classified facilities "coal-reagent" (we proposed to allocate four types of complexes "coal-agent"), to study the surface of carbon grains and the penetration of the reagent into the pores and cracks. Completed our microscopic study of coal of different coalification degree show the presence of local and large areas on the surface of carbon grains with projections, recesses, sinks, cracks, sharp edges, discharges, and other elements of the cell surface. Microscopic structures of "coal-agent" to evaluate the nature of the contact autohesive grains of coal surface oil film, in particular contact by limiting structured films, it is important to establish the strength of the connection elements of the complex. In addition, microscopy can be used to evaluate the oxidation of the coal surface. We have shown the possibility of microscopic carbon fixation strips Becke (Becke line). Further research is advisable to develop in the direction of methodology to quantify the degree of oxidation of coal grain thickness strips Becke.

Keywords: microscopy, coal and oil pellets floccules, pellets, agglomerates.

УДК 001.57: 681.5.015.23: 681.5.015.24

Кондратець В.О., Мацуй А.М. Теоретичне дослідження активного і пасивного сканування поверхні відкритих матеріальних потоків

Перевитрачання електричної енергії, куль і футеровки при подрібненні вихідної руди у кульових млинах збільшує собівартість магнетитового концентрату, що в значній мірі викликано відсутністю достатньо точних і надійних засобів вимірювання об'ємної витрати дробленого матеріалу і піскового продукту механічного спірального класифікатора. Розв'язання даної задачі складає актуальність цієї роботи. Її метою є теоретичне дослідження активного і пасивного сканування поверхні відкритих матеріальних потоків з визначенням їх особливостей і областей застосування. Сканування поверхні відкритих потоків найбільш ефективно здійснювати променем заданої довжини, закріпленим в певній точці над потоком з можливістю повороту, а вільний кінець якого взаємодіє з рухомих матеріалом. При активному скануванні вільний кінець не торкається поверхні потоку, а при пасивному - ковзає по ній. Пасивний і активний скануючі пристрої забезпечують необхідну в багатьох технологічних умовах точність вимірювання і надійність роботи. Вони можуть успішно використовуватись при контролі витрати матеріалів у збагачувальній галузі промисловості. Пасивний скануючий пристрій, як більш простий, доцільно використовувати в усіх можливих випадках. Областю застосування активних скануючих пристроїв є потоки з сильним налипанням матеріалу, малими густинами, швидкостями та абразивним зносом. Пасивні скануючі пристрої достатньо добре підходять для вимірювання піскових потоків механічних односторіальних класифікаторів.

Ключові слова: односторіальні класифікатори, скануючий пристрій, активне й пасивне сканування, перевитрачання електричної енергії

Кондратец В.А., Мацуї А.Н. Теоретическое исследование активного и пассивного сканирования поверхности открытых материальных потоков

Перерасход электрической энергии, пуль и футеровки при измельчении исходной руды в пульсовых мельницах увеличивает себестоимость концентрата магнетита, что в значительной степени вызваны отсутствием достаточно точных и надежных средств измерения объемной затраты дробленого материала и песчаного продукта механического спирального классификатора. Решение данной задачи складывает актуальность этой работы. Ее целью является теоретическое исследование активного и пассивного сканирования поверхности открытых материальных потоков с определением их особенностей и областей применения. Сканирование поверхности открытых потоков наиболее эффективно осуществлять лучом заданной длины, закрепленным в определенной точке над потоком с возможностью поворота, а свободный конец которого взаимодействует с подвижным материалом. При активном сканировании свободный конец не касается поверхности потока, а при пассивном - скользит по ней. Пассивный и активный сканирующие устройства обеспечивают необходимую во многих технологических условиях точность измерения и надежность работы. Они могут успешно использоваться при контроле затраты материалов в обогащательной отрасли промышленности. Пассивное сканирующее устройство, как более простое, целесообразно использовать во всех возможных случаях. Областью применения активных сканирующих устройств являются потоки с сильным налипанием материала, малыми густинами, скоростями и абразивным износом. Пассивные сканирующие устройства достаточно хорошо подходят для измерения песчаных потоков механических односторіальних классификаторов.

Ключевые слова: односторіальні класифікатори, скануюче пристрій, активне і пасивне сканування, перерасход електричної енергії

Kondratets V., Matsui A. Theoretical research of active and passive scan-out of surface of open material streams

Overrun of electric energy, bullets and lining-up at growing of initial ore shallow in bullet mills increases the prime price of concentrate of magnetite, that largely caused by absence of exact enough and reliable facilities of measuring of by volume expense of the shredded material and sandy product of mechanical spiral classifier. The decision of this task folds actuality of this work. Her purpose is theoretical research of active and passive scan-out of surface of open material streams with determination of their features and application domains. The scan-out of surface of open streams most effectively to carry out the ray of proper-length, envisaged in a certain point above a stream with possibility of turn, and the free end of which co-operates with mobile material. At an active scan-out a free end does not touch the surface of stream, and at passive - slides on her. Passive and active sweepable devices provide necessary in many technological terms exactness of measuring and reliability of work. They can be successfully used for control of expense of materials in concentrating industry of industry. Passive sweepable device, as more simple, it is expedient to use in all possible cases. An application of active sweepable devices domain are streams with the strong sticking of material, small густинами, by speeds and abrasive wear. Passive sweepable devices well enough befit for measuring of sandy streams of mechanical unispiral classifiers.

Keywords: unispiral classifiers, sweepable device, active and passive scan-out, overrun of electric energy

Азарян В.А. Исследование влияния качества рудопотока железорудного карьера на прибыль горнообогатительного комбината

Качество рудопотока карьера, характеризующееся показателем среднеквадратического отклонения содержания полезного компонента, оказывает влияние на прибыль железорудного ГОКа. Самым затратным процессом является обогащение. Качество исходной руды (рудопотока) существенно влияет на уровень себестоимости обогащения. Обеспечение заданного показателя качества рудопотока позволяет оптимизировать процесс обогащения и снизить затраты. В исследованиях было использовано имитационное моделирование процесса формирования рудопотока с различными показателями среднеквадратического отклонения содержания полезного компонента при разной степени измельчения и были выполнены расчеты с применением компьютерной программы. По итогам исследований были построены графики зависимости прогнозных показателей прибыли от крупности измельчения для различных значений СКО в рудопотоке карьера для ПАО «ИнГОК» и ПАО «ПГОК» и были установлены зависимости показателей прибыли от величины коэффициента $\min imax$.

Более реальным является достижение крупности измельчения 75 мкм, при этом наблюдается падение прогнозного значения прибыли относительно крупности 30-60 мкм до 30 -50 млн грн.

Увеличение СКО на единицу вызывает снижение прогнозной прибыли горнообогатительного комбината в среднем на 25-35 млн грн. в год. Это происходит за счет снижения общего качества рудопотока, вызванного увеличением диапазона колебаний качества. Увеличение СКО на единицу согласно правила «3 σ » соответствует показателю $\min imax - 3\%$ содержания полезного компонента, т.е. ширина диапазона колебаний увеличивается на 3 %.

Ключевые слова: рудопоток карьера, прибыль горнообогатительного комбината, среднеквадратическое отклонение содержания полезного компонента, крупность измельчения.

Азарян В.А. Дослідження впливу якості рудопотока залізорудного кар'єру на прибуток гірничозбагачувального комбінату

Якість рудопотока кар'єру, що характеризується показником середньоквадратического відхилення змісту корисного компонента, чинить вплив на прибуток залізорудного ГЗК. Самим витратним процесом є збагачення. Якість початкової руди (рудопотока) істотно впливає на рівень собівартості збагачення. Забезпечення заданого показника якості рудопотока дозволяє оптимізувати процес збагачення і понизити витрати. У дослідженнях було використано імітаційне моделювання процесу формування рудопотока з різними показниками середньоквадратического відхилення змісту корисного компонента при різній мірі подрібнення і були виконані розрахунки із застосуванням комп'ютерної програми. За підсумками досліджень були побудовані графіки залежності прогнозних показників прибутку від великої подрібнення для різних значень СКО в рудопотоке кар'єра для ПАО "ІнГЗК" і ПАО "ПГОК" і були встановлені залежності показників прибутку від величини коефіцієнта $\min imax$.

Реальнішим є досягнення великої подрібнення 75 мкм, при цьому спостерігається падіння прогнозного значення прибутку відносно великої 30-60 мкм до 30-50 млн грн.

Збільшення СКО на одиницю викликає зниження прогнозного прибутку гірничозбагачувального комбінату в середньому на 25-35 млн грн. в рік. Це відбувається за рахунок зниження загальної якості рудопотока, викликаного збільшенням діапазону коливань якості. Збільшення СКО на одиницю згідно правила "3 σ " відповідає показнику $\min imax - 3\%$ зміст корисного компонента, тобто ширина діапазону коливань збільшується на 3 %.

Ключові слова: рудопотік кар'єру, прибуток гірничозбагачувального комбінату, середньоквадратичне відхилення змісту корисного компонента, велика подрібнення.

Azarjan V.A. Research of influence open pit quality of orestream of iron-ore open pit on the income of main concentrating combine

Quality of ore stream of open pit, characterized by the index of middling quadratic rejection of maintenance of useful component, has influence on the income of iron is ore Гока. An expense process is enriching. Quality of initial ore (рудопотока) substantially influences on the level of prime price of enriching. Providing of the set index of quality of ore stream allows to optimize the process of enriching and reduce expenses. In researches the imitation design of process of forming of ore stream was used with the different indexes of middling quadratic rejection of maintenance of useful component at the different degree of growing shallow and calculations were executed with the use of the computer program. On results researches the charts of dependence of prognosis indexes of income were built from the largeness of growing shallow for the different values of СКО in ore stream career for ПАО "ИнГОК" and ПАО "ПГОК" and dependences of indexes of income were set on the size of coefficient of $\min imax$.

The more real is achievement of largeness of growing of 75 мкм shallow, here is falling of prognosis value of income in relation to the largeness of 30-60 мкм to 30 -50 million hrn.

The increase of CKO on unit is caused by the decline of prognosis income of mining concentrating combine on the average on a 25-35 million hrn. in a year. It takes place due to the decline of general quality of ore stream, range of vibrations of quality caused by an increase. Increase of CKO on unit in obedience to a rule "3 σ " corresponds to the index of minimax are 3 % maintenances of useful component, i.e. the width of range of vibrations increases on 3 %.

Keywords: orestream of open pit, income of ore mining and processing combine, middling quadratic rejection of maintenance of useful component, largeness of growing shallow.

УДК 622.012:725.4-192

Бровко Д.В., Хворост В.В. Вероятностный подход при независимом многоступенчатом поступлении сигналов о дефектах элементов промышленных объектов на поверхности шахт

На основе руководств по формальной оценке безопасности выполнен анализ риска возникновения аварийных ситуаций в зданиях и сооружениях. На примере обрушения конструкций сооружения поверхности горнодобывающего предприятия, рассмотрены критерии надежности невосстанавливаемых элементов промышленных объектов поверхности горных предприятий. Выведены выражения для оценки количественных характеристик надежности элементов до первого отказа.

Структурная энтропия служит мерой неупорядоченности строения системы. Если из отдельных элементов взводят пространственную конструкцию, то энтропия этой системы будет отрицательной за счет притока энергии при возведении, а мера неопределенности в расположении отдельных элементов возрастает. При возведении возрастает информация в научном ее понимании, т.е. в смысле возрастания неопределенности. Неопределенность об объекте принимается в теории как информационная энтропия. К концу возведения конструкции информационная энтропия достигает максимальной величины. Приток энергии в момент изготовления соответствует отрицательной энтропии. Таким образом, здесь информационная энтропия будет эквивалентна отрицательной структурной энтропии. Можно сказать, что информационная энтропия - это мера неопределенности перед ее раскрытием, о наличии и расположении вложенных друг в друга элементов и связей между ними в структуре системы. Таким образом, структурная неопределенность тесно связана с информационной энтропией. Для упрощения расчетов, иерархию в дефектообразовании следует описывать с помощью информационной энтропии.

Бровко Д.В., Хворост В.В. Імовірнісний підхід при незалежному багатоступінчастому вступі сигналів про дефекти елементів промислових об'єктів на поверхні шахт

На підставі керівництва за формальною оцінкою безпеки виконаний аналіз ризику виникнення аварійних ситуацій в будівлях і спорудах. На прикладі обвалення конструкцій спорудження поверхні гірничодобувного підприємства, розглянуті критерії надійності невідновних елементів промислових об'єктів поверхні гірських підприємств. Виведені вирази для оцінки кількісних характеристик надійності елементів до першої відмови.

Структурна ентропія служить мірою неупорядкованості будови системи. Якщо з окремих елементів зводять просторову конструкцію, то ентропія цієї системи буде негативної за рахунок припливу енергії при зведенні, а міра невизначеності в розташуванні окремих елементів зростає. При зведенні зростає інформація в науковому її розумінні, тобто в сенсі зростання невизначеності. Неопределенность про об'єкт приймається в теорії як інформаційна ентропія. До кінця зведення конструкції інформаційна ентропія досягає максимальної величини. Приплив енергії у момент виготовлення відповідає негативній ентропії. Таким чином, тут інформаційна ентропія буде еквівалентна негативній структурній ентропії. Можна сказати, що інформаційна ентропія - це міра невизначеності перед її розкриттям, про наявність і розташування вкладених один в одного елементів і зв'язків між ними в структурі системи. Отже, структурна невизначеність тісно пов'язана з інформаційною ентропією. Для спрощення розрахунків, ієрархію в дефектоутворенні слід описувати за допомогою інформаційної ентропії.

Brovko D.V., Khvorost V.V. Probabilistic approach at the independent multi-stage receipt of signals about the defects of elements of industrial objects on the surface of mines

On the basis of guidances by formal estimation of safety the analysis of risk of origin of emergency situations is executed in building and building. On the example of bringing down of constructions of building of surface of mining enterprise, the criteria of reliability of unrefurbishable elements of industrial objects of surface of mountain enterprises are considered. Shown out expression for the estimation of quantitative descriptions of reliability of elements to the first refuse.

Structural entropy serves as the measure of unefficiency of structure of the system. If from separate elements cock a spatial construction, then entropy of this system will be negative due to an influx energy at erection, and the measure of vagueness increases in the location of separate elements. At erection information increases in her scientific understanding, i.e. in sense of growth of vagueness. Неопределенность about an object accepted in theories as informational entropy. By the end of erection of construction informational entropy arrives at a maximal size. The influx of energy in the moment of making cor-

responds to the negentropy. Thus, here informational entropy will be equivalent to the structural negentropy. It be possible to say, that informational entropy is a measure of vagueness before her opening, about a presence and location of the elements and connections inlaid in each other between them in the structure of the system. Thus, a structural vagueness is closely related to informational entropy. For simplification of calculations, hierarchy in дефектообразовании it is necessary to describe by means of informational entropy.

УДК 662.341.012: 662.85

Голик В.И., Комащенко В.И., Моркун В.С., Ляшенко В.И. Повышение полноты использования недр с учетом напряжений при комбинированной разработке месторождений

Статья посвящена проблеме повышения полноты разработки скальных рудных месторождений комбинированием открытого и подземного способов добычи. Показано, что при одновременном производстве открытых и подземных работ в вертикальной плоскости полнота использования недр определяется поведением рудовмещающих массивов под влиянием природных и техногенных напряжений. Определено, что основным фактором риска комбинирования технологий является деформация подработанного массива горных пород и обозначены меры снижения риска: предпроектная оценка геомеханического состояния, прогнозирование его изменения в ходе разработки месторождения, а также контроль развития деформационных процессов и управления ими. В качестве объективных критериев полноты использования недр рекомендованы: потери и разубоживание руд, а в качестве результирующей величина извлечения руды из недр. Предложен метод оценки динамики свойств массива путем сравнения физико-механических свойств пород до и после заполнения технологических пустот твердеющими смесями. Предложено вводить в модель управления массивом корректирующие коэффициенты, что позволяет выделить характерные зоны месторождения для оптимизации показателей разработки. Обосновано, что генеральным критерием эффективности комбинируемых технологий является опережение снижения себестоимости добычи руды над снижением содержания металлов в товарной руде для комбинируемых способов. Предложено осуществлять раскройку части месторождения, предназначенной для подземного способа, на геомеханически безопасные участки с учетом состояния отрабатываемой открытыми работами части месторождения. Бортовое содержание полезного компонента в руде, при котором производится оконтуривание запасов и минимального промышленного содержания полезного компонента, рекомендовано определять по открытому и подземному участкам месторождения из уравнения баланса ценностей.

Ключевые слова: руда, месторождение, комбинирование технологий, разработка, земная поверхность, напряжения, деформации, твердеющие смеси, прочность, отходы, управление, массив, хвосты, металлы.

Голік В. І., Комащенко В. І., Моркун В. С., Ляшенко В. І. Підвищення повноти використання надр з урахуванням напруги при комбінованій розробці родовищ

Статтю присвячено проблемі підвищення повноти розробки скельних рудних родовищ комбінуванням відкритого і підземного способів добування. Показано, що при одночасному виробництві відкритих і підземних робіт у вертикальній площині повнота використання надр визначається поведінкою рудовмісних масивів під впливом природної і техногенної напруги. Визначено, що основним чинником ризику комбінування технологій є деформація підробленого масиву гірських порід і позначено заходи зниження ризику: передпроектна оцінка геомеханічного стану, прогнозування його зміни в ході розробки родовища, а також контроль розвитку деформаційних процесів і управління ними. Як об'єктивні критерії повноти використання надр рекомендовано: втрати і разубожування руд, а як результируюче величина вилучення руди з надр. Запропонований метод оцінки динаміки властивостей масиву шляхом порівняння фізико-механічних властивостей порід до і після заповнення технологічних порожнеч твердими сумішами. Запропоновано вводити в модель управління масивом коригуючі коефіцієнти, що дозволяє виділити характерні зони родовища для оптимізації показників розробки. Обґрунтовано, що генеральним критерієм ефективності комбінованих технологій є випередження зниження собівартості видобутку руди над зниженням змісту металів в товарній руді для комбінованих способів. Запропоновано здійснювати розкроювання частини родовища, призначеної для підземного способу, на геомеханічно безпечні ділянки з урахуванням стану відпрацьовуваної відкритими роботами частини родовища. Бортовий зміст корисного компонента в руді, при якому виробляється оконтурювання запасів і мінімального промислового вмісту корисного компонента, рекомендовано визначати по відкритому й підземному ділянкам родовища з рівняння балансу цінностей.

Ключові слова: руда, родовище, комбінування технологій, розробка, земна поверхня, напруга, деформації, тверді суміші, міцність, відходи, управління, масив, хвосты, метали.

Golik V.I., Komashenko V.I., Morkun V.S., Ljashenko V.I. Increase of plenitude of the use of bowels of the earth taking into account tensions at the combined development of deposits

Article is devoted to a problem of increase of completeness of development of rocky ore fields by a combination of open and underground ways of production. It is shown that by simultaneous production of open and underground works in the vertical plane completeness of use of a subsoil is defined evaluation of geomechanical condition under the influence of natural and man-caused stress. It is defined that a major factor of risk of a combination of technologies is deformation of the earned additionally massif of rocks and measures of decrease in risk are designated: predesign assessment of a geomechanical state, forecasting of its change in the course of development of a field, and also control of development of deformation processes and management of them. As objective criteria of completeness of use of a subsoil are recommended: losses and impoverishment of ores, and as the extraction of ore resulting size from a subsoil. The method of an assessment of dynamics of properties of the massif by comparison of physical and mechanical properties of rocks, of breeds before filling of technological emptiness with the hardening mixes is offered. It is offered to enter the correcting coefficients that allows to allocate characteristic zones of a field for optimization of indicators of development into model of management of the massif. It is proved that general criterion of efficiency of the combined technologies is the advancing of decrease in cost of production of ore over decrease in the content of metals in saleable ore for the combined ways. It is offered to carry out cut of the part of a field intended for an underground way, on geomechanical safe sites taking into account a condition of the part of a field fulfilled by open works. The onboard maintenance of a useful component in ore at which the outlining of stocks and the minimum industrial maintenance of a useful component is made, is recommended to determine by open and underground sites of a field from the equation of balance of values.

Keywords: ore, a deposit, Combination of technologies, working out, terrestrial surface, pressure, the deformations, hardening mixes, durability, a waste, management, a file, tails, metals.

УДК 622.271

Жуков С.О., Кальчук С.В. Аналітична модель процесу пасирування блоків каменю шпуровими методами в субдинамічному режимі навантаження

Виконано аналіз стану, досягнення та недоліки в теоретичному обґрунтуванні технології, яка забезпечує виробництво високоякісної продукції з гірських порід високої міцності. Визначено конкретно задачі подальшого розвитку теоретичних основ руйнування кристалічного середовища, представленого лицювальним каменем. Досліджено фізико-механічні параметри кам'яних зразків та вплив їх властивостей на процеси утворення і розростання мікро- і макротріщин в монолітному мінеральному середовищі. Описано суть теоретичного підходу щодо вирішення поставленої задачі та методи експериментальної перевірки адекватності вихідних припущень і покладеної в основу дослідження ідеї. Розглянуто аналітичну модель процесу пасирування блоків природного каменю. Обґрунтовано допустимі геометричні параметри процесу, за якого забезпечується керований відкол каменю заданої якості. Розглянуто математичний апарат створення моделі субдинамічного руйнування кристалічних порід на основі енергетичного підходу. Визначено напрями подальших досліджень означених процесів.

Ключові слова: природний камінь, кристалічне середовище, блоки, тріщини, розколювання, напруження, пасирування, математичне моделювання.

Жуков С.А., Кальчук С.В. Аналитическая модель процесса пасирування блоков камня шпуровыми методами в субдинамическом режиме нагрузки

Выполнен анализ состояния, достижения и недостатки в теоретическом обосновании технологии, которая обеспечивает производство высококачественной продукции из горных пород высокой прочности. Определенно конкретно задачи дальнейшего развития теоретических основ разрушения кристаллической среды, представленного лицювальным камнем. Исследованы физико-механические параметры каменных образцов и влияние их свойств на процессы образования и разрастания микро- и макротрещин в монолитной минеральной среде. Описана суть теоретического подхода относительно решения поставленной задачи и методы экспериментальной проверки адекватности исходных предположений и положенной в основу исследования идеи. Рассмотрена аналитическая модель процесса пасирування блоков природного камня. Обоснованы допустимые геометрические параметры процесса, при котором обеспечивается управляемый откол камня заданного качества. Рассмотрен математический аппарат создания модели субдинамического разрушения кристаллических пород на основе энергетического подхода. Определенно направления дальнейших исследований отмеченных процессов.

Ключевые слова: природный камень, кристаллическая среда, блоки, трещины, раскалывания, напряжения, пасирування, математическое моделирование.

Zukov S. A., Kalchuk S. V. The analytical model of process of пасирування blocks of stone by шпуровыми methods in the subdynamic mode of loading

The analysis of the state, achievements and defects, is executed in the theoretical ground of technology which provides the production of high-quality goods from the mountain breeds of high durability. Certainly concretely tasks of further development of theoretical bases of destruction of crystalline environment, presented by a лицевальним stone. The физико-механические parameters of lithoidal standards and influence of their properties are investigational on the processes of education and excrescence микро- and macrocracks in a monolithic mineral environment. Essence of theoretical approach in relation to a decision the set problem and methods of experimental verification of adequacy of original assumptions and idea fixed in basis of research is described. The analytical model of process of пасирування blocks of natural stone is considered. The possible geometrical parameters of process at which the guided is provided отдкол stone of the set quality are reasonable. The mathematical vehicle of creation of model of subdynamic destruction of crystalline breeds is considered on the basis of power approach. Certainly directions of further researches of the noted processes.

Keywords: natural stone, crystalline environment, blocks, cracks, cleaving, tensions, пасирування, mathematical design.

УДК 621.396.969

Головко В.И., Рыбальченко М.А., Селегей А.Н. Определение геометрических параметров доз шихтовых материалов с целью определения их секундных объемов

Рассмотрено перспективное направление совершенствования технологии загрузки доменной печи, которое заключается в смешивании шихтовых материалов перед подачей в печь. Показано, что принципиальным решением задачи управления смешиванием компонентов является измерение геометрических параметров порции на конвейере в реальном масштабе времени. Полученное значение высоты слоя материала на конвейере необходимо для вычисления текущей производительности загрузки конвейера.

Показано, что секундный объем материала, расположенного на ленте, прямо пропорционален средней площади поперечного сечения и скорости движения ленты. Форма сечения дозы шихтовых материалов на ленте определена исходя из предположений о том, что материал расположен на ленте слоем, ограниченным сверху и снизу дугами окружности. При этом касательные ограничивающей сверху дуги, проходящие через точки пересечения с лентой, наклонены к горизонтали под углом естественного откоса материала.

Получены выражения для определения численного значения геометрических параметров порции шихтовых материалов на конвейере. Выполнены экспериментальные исследования с измерением высоты слоя дозы шихтовых материалов на конвейере в различных сечениях. В результате обработки осциллограмм записи высоты слоя материалов были получены численные значения высоты доз шихтовых материалов. Полученные результаты производительности загрузки конвейера агломератом подтвердили, что расчеты секундных объемов являются достаточно точными.

Предложена методика расчета секундных объемов шихты на основании информации о высоте загрузки конвейера, которая позволяет установить характер и величину неравномерности загрузки конвейера коксом, агломератом и окатышами в единицу времени.

Получены результаты производительности загрузки конвейера агломератом, определяемые на основании показаний трех датчиков геометрии дозы, подтвердили, что расчеты секундных объемов с использованием предложенных выражений являются достаточно точными. Так, например, при дозе агломерата в 22 м^3 ошибка в вычислениях составила менее 1,5 %. При определении секундных объемов на основании одного датчика геометрии дозы, ошибка составила 5,5 %.

Головко В.І., Рыбальченко М.А., Селегей А.М. Визначення геометричних параметрів доз шихтових матеріалів з метою визначення їх секундних об'ємів

Розглянуто перспективний напрям вдосконалення технології завантаження доменної печі, яке полягає в змішуванні шихтових матеріалів перед подачею в піч. Показано, що принциповим рішенням задачі управління змішуванням компонентів є вимір геометричних параметрів порції на конвеєрі в реальному масштабі часу. Набутого значення висоти шару матеріалу на конвеєрі потрібне для обчислення поточної продуктивності завантаження конвеєра.

Показано, що секундний об'єм матеріалу, розташованого на стрічці, прямо пропорційний середній площі поперечного перерізу і швидкості руху стрічки. Форма перерізу дози шихтових матеріалів на стрічці визначена виходячи з припущень про те, що матеріал розташований на стрічці шаром, обмеженим згори і знизу дугами кола. При цьому дотичні дуги, що обмежує згори, перетини, що проходять через точки, із стрічкою нахилені до горизонталі під кутом природного укосу матеріалу.

Отримано вирази для визначення чисельного значення геометричних параметрів порції шихтових матеріалів на конвеєрі. Виконано експериментальні дослідження з виміром висоти шару дози шихтових матеріалів на конвеєрі в різних перерізах. У результаті обробки осцилограм запису висоти шару матеріалів було набуто чисельні значення

висоти доз шихтових матеріалів. Отримані результати продуктивності завантаження конвеєра агломератом підтвердили, що розрахунки секундних об'ємів є досить точними.

Запропоновано методику розрахунку секундних об'ємів шихти на підставі інформації про висоту завантаження конвеєра, що дозволяє встановити характер і величину нерівномірності завантаження конвеєра коксом, агломератом і обкотишами в одиницю часу.

Golovko V.I., Rybalchenko M.A., Selegej A.N. Definition of geometrical parameters dose charge materials to determine their second volume

Perspective direction of perfection of technology of loading of high furnace is considered, which consists in mixing of шихтових materials before a serve in a stove. It is shown that the fundamental decision of task of management mixing of components is measuring of geometrical parameters of portion on a conveyer real-time. The got value of height of layer of material on a conveyer is needed for the calculation of the current productivity of loading of conveyer.

It is shown that the second volume of material, located on a ribbon, is straight proportional to the middle area of cross-sectional and rate of movement of ribbon. The form of section of dose of charge materials on a ribbon is certain coming from suppositions that material is located on a ribbon by a layer, limited from above and from below by the arcs of circumference. Thus the tangents of limiting from above arc, passing through points crossing, with a ribbon are inclined to the horizontal under the corner of natural slope of material.

Got expression for determination of numeral value of geometrical parameters of portion of шихтових materials on a conveyer. Experimental researches are executed with measuring of height of layer of dose of charge materials on a conveyer in different sections. As a result of treatment of oscillograms of record of height of layer of materials the numeral values of height of doses of шихтових materials were got. The got results of the productivity of loading of conveyer an agglomerate confirmed that calculations of the second volumes were exact enough.

The methods of calculation of the second volumes of charge are offered on the basis of information about the height of loading of conveyer, which allows to set character and size of unevenness of loading of conveyer a coke, by an agglomerate and pellets in time unit.

УДК 62 – 503.56:622.73

Тронь В. В., Гуляєва Ю. В. Оптимальне і модальне керування стадією збагачення технологічних різновидів залізорудної сировини

Наведено результати дослідження методу оптимального керування стадією збагачення технологічних різновидів залізорудної сировини. Виконано аналіз використовуваних підходів до оптимального автоматизованого керування млинами першої стадії подрібнення та критеріїв оцінювання ефективності процесу подрібнення. У процесі дослідження основні регулюючі впливи як: витрата руди та води у млин; як вихідні керовані показники – вміст заліза у хвостах першої стадії збагачення та вміст заліза у концентраті. Розраховано та виконано порівняльний аналіз перехідних процесів системи керування та реакцію системи на випадкові вхідні сигнали. Досліджено роботу системи керування при застосуванні модальних регуляторів та класичного ПІД-регулятора. Здійснено параметричний синтез керування і розроблено комп'ютерну модель системи у середовищі Simulink. Представлено схеми підключення трьох регуляторів та результати моделювання процесу керування першою стадією збагачення при використанні модального, астатичного модального, ПІД-регуляторів. Виконано порівняльний аналіз одержаних у результаті моделювання показників вмісту заліза у хвостах.

Тронь В.В., Гуляева Ю.В. Оптимальное и модальное управление стадией обогащения технологических разновидностей железорудного сырья

Приведены результаты исследования метода оптимального управления стадией обогащения технологических разновидностей железорудного сырья. Выполнен анализ используемых подходов к оптимальному автоматизированного управления мельницами первой стадии измельчения и критериев оценки эффективности процесса измельчения. В процессе исследования основные регулирующие воздействия как: расход руды и воды в мельницу; как выходные управляемые показатели - содержание железа в хвостах первой стадии обогащения и содержание железа в концентрате. Рассчитано и выполнен сравнительный анализ переходных процессов системы управления и реакцию системы на случайные входные сигналы. Исследована работа системы управления при применении модальных регуляторов и классического ПИД-регулятора. Осуществлен параметрический синтез управления и разработана компьютерная модель системы в среде Simulink. Представлены схемы подключения трех регуляторов и результаты моделирования процесса управления первой стадией обогащения при использовании модального, астатического модального, ПИД - регуляторов. Выполнен сравнительный анализ полученных в результате моделирования показателей содержания железа в хвостах.

Tron V.V., Huliaieva Y.V. Optimal and modal control of the stage of processing of technological kinds of iron ore raw materials

It is given the results of research of a method of optimal control of a stage of enrichment of technological kinds of iron ore raw materials. It is made the analysis used approaches for optimal automated control of the first stage of grinding mills and criteria for evaluating the effectiveness of the grinding process. In the process of research there are basic regulative influences: charges of ore and water in a mill; the initial guided indexes are content of iron in the tails of the first stage of enriching and content of iron in a concentrate. It is calculated and made the comparative transient analysis of management system and response of system to accidental input signals. It is investigated the work of a control system at use of modal regulators and the classical PID-regulator. It is carried out the parametrical synthesis of management and it is developed the computer model of system in the environment of Simulink.

УДК 628.518.002.5

Голышев А.А. Определение оптимальных параметров работы бортового отсоса с передувкой

Широкое применение в современных термических и гальванических цехах для удаления вредных выделений от ванн различного назначения нашли щелевые бортовые отсосы. При ширине открытой ванны более 0,6 м экономически оправдано применение системы «передувка-отсос», создающей воздушно-струйное укрытие ванны. Рассмотрены способы уточнения расходов приточного и удаляемого воздуха бортового отсоса с передувкой для повышения эффективности улавливания вредных выделений, экономии энергоресурсов и более обоснованного подбора вентиляционного оборудования. Произведен анализ исследований и публикаций в отечественных и зарубежных источниках. Достоверные данные о необходимых расходах воздуха в приточной струе и щелевом бортовом отсосе можно получить на основании математического моделирования рассматриваемого процесса. Процесс работы бортового отсоса с передувкой проанализирован на основании рассмотрения плоской картины взаимодействия трех течений: восходящего потока вредных выделений, плоской приточной струи и течения, обусловленного работой всасывающей щели бортового отсоса. Получены зависимости для расчета расходов приточного и удаляемого воздуха активированного бортового отсоса. Установлена зависимость объема удаляемого воздуха от скорости восходящего потока вредных выделений. Для проверки результатов выполненных теоретических исследований был проведен вычислительный эксперимент с использованием компьютерных программ. Выполнены сравнительные расчеты расходов вентиляционного воздуха для существующего технологического оборудования - масляного закалочного бака в термическом отделении. При этом использовались известные методики и полученные автором зависимости. Результаты расчетов показали существенное расхождение объемов приточного и удаляемого воздуха. Сформулированы рекомендации по оптимизации конструкции активированного отсоса закалочного бака. Для сокращения влияния неорганизованных воздушных потоков в производственном помещении на работу передувки и бортового отсоса в торцах бака предложено предусмотреть вертикальные воздухопроницаемые экраны.

Голышев А.О. Визначення оптимальних параметрів роботи бортового відсмоктування з передувкою

Широке застосування в сучасних термічних і гальванічних цехах для видалення шкідливих виділень від ванн різного призначення знайшли щілинні бортові відсмоктування. При ширині відкритої ванни більше 0,6 м економічно виправдано застосування системи "передувка-відсмоктування", що створює легко-струминне укриття ванни. Розглянуто способи уточнення витрат припливного повітря бортового відсмоктування, що видаляється, з передувкою для підвищення ефективності уловлювання шкідливих виділень, економії енергоресурсів і більш обґрунтованого підбору вентиляційного устаткування. Вироблений аналіз досліджень і публікацій у вітчизняних і зарубіжних джерелах. Достовірні дані про необхідні витрати повітря в припливному струмені і щілинному бортовому відсмоктуванні можна отримати на підставі математичного моделювання даного процесу. Процес роботи бортового відсмоктування з передувкою проаналізований на підставі розгляду плоскої картини взаємодії трьох течій: висхідного потоку шкідливих виділень, плоского припливного струменя і течії, обумовленої роботою всмоктуючої щілини бортового відсмоктування. Отримані залежності для розрахунку витрат припливного повітря активованого бортового відсмоктування, що видаляється. Встановлено залежність об'єму повітря, що видаляється, від швидкості висхідного потоку шкідливих виділень. Для перевірки результатів виконаних теоретичних досліджень був проведений обчислювальний експеримент з використанням комп'ютерних програм. Виконано порівняльні розрахунки витрат вентиляційного повітря для існуючого технологічного устаткування - масляного гартівного бака в термічному відділенні. При цьому використовувалися відомі методики і отримані автором залежності. Результати розрахунків показали істотну розбіжність об'ємів припливного повітря, що видаляється. Сформульовано рекомендації по оптимізації конструкції активованого відсмоктування гартівного бака. Для скорочення впливу неорганізованих

повітряних потоків у виробничому приміщенні на роботу передувки і бортового відсмоктування в торцях бака запропоновано передбачити вертикальні повітропроникні екрани.

Golyshev A.A. Determination of optimal parameters of work of the side sucking with overblowing

Wideuse in modern thermal and galvanic workshops for moving away of harmful excretions the crack side sucking found from baths of the different setting. At the width of open bath a more than 0,6 m is economic justified application of the system "Передувка of is sucking", creating airily - stream shelter of bath. The methods of clarification of charges of reveal and deleted air of the side sucking are considered with overblowing for the increase of efficiency of catching of harmful excretions, economy of energy resources of and more reasonable selection of a vent equipment. The analysis of researches and publications is produced in domestic and foreign sources. Reliable data about the necessary charges of air in a reveal stream and crack side sucking it is possible to get on the basis of mathematical design of the examined process. The process of work of the side sucking with overblowing of is analysed on the basis of consideration of flat picture of cooperation of three flows : ascending stream of harmful excretions, flat reveal stream and flow, conditioned by work of suction crack of the side sucking. Dependences are got for the calculation of charges of reveal and deleted air of the activated side sucking. Dependence of volume of the deleted air is set on speed of ascending stream of harmful excretions. For verification of results of the executed theoretical researches a calculable experiment was conducted with the use of the computer programs. The comparative calculations of charges of a vent air are executed for an existent technological equipment - oily tempering tank in a thermal separation. The known methods and dependences got an author were thus used. The results of calculations showed substantial divergence of volumes of reveal and deleted air. Formulated to recommendation on optimization of construction of the activated sucking of tempering tank. For reduction of influence of the unorganized currents of air in a shopfloor to work of overblowing and side sucking in the butt ends of tank it is suggested to foresee vertical ventile screens.

УДК 622.732.41

Трачук А.А. Анализ способов обогащения кусковых гематитовых руд Кривбасса

Экономический потенциал Украины в значительной степени зависит от состояния железорудной промышленности. В настоящее время при добыче железорудного сырья потери руд со средним содержанием железа до 57% составляют седьмую часть от общего объема, а засорение вмещающими породами с содержанием железа 37,5% составляет шестую часть от общего объема добычи руд.

В условиях дефицита сырья вовлечение в сферу добычи и переработки бедных руд, а также промышленных отходов, является реальной возможностью увеличения объемов добычи и обеспечения более рационального использования минеральных ресурсов. В частности, снижение порога массовой доли железа в исходной руде до 40 % позволит увеличить запасы железорудного сырья в Кривбассе в 2,05 раза.

Статья Трачук А.А. «Анализ способов обогащения кусковых гематитовых руд Кривбасса» посвящена сравнительному исследованию различных способов обогащения железорудного сырья. Установлено, что при обогащении в тяжелой суспензии и обогащении с помощью рентгенорадиометрического метода извлечение полезного компонента выше, чем при использовании сухого магнитного метода обогащения и обогащения отсадкой.

Сравнение экономической целесообразности различных методов обогащения, включая базовый вариант, показал явное преобладание радиометрического метода обогащения над остальными, приведенными в статье.

Ключевые слова: гематитовая руда, способы обогащения, рентгенорадиометрический метод, железорудная отрасль.

Трачук А.А. Аналіз способів збагачення кускових гематитових руд Кривбасу

Економічний потенціал України значною мірою залежить від стану залізорудної промисловості. Нині при здобичі залізорудної сировини втрати руд з середнім змістом заліза до 57% складають сьому частину від загального об'єму, а засмічення вміщуючими породами зі змістом заліза 37,5% складає шосту частину від загального об'єму видобутку руд.

В умовах дефіциту сировини залучення до сфери здобичі і переробки бідних руд, а також промислових відходів, є реальною можливістю збільшення об'ємів здобичі і забезпечення раціональнішого використання мінеральних ресурсів. Зокрема, зниження порогу масової долі заліза в початковій руді до 40% дозволить збільшити запаси залізорудної сировини в Кривбасі в 2,05 разу.

Стаття Трачук А.А. «Аналіз способів збагачення кускових гематитових руд Кривбасу» присвячена порівняльному дослідженню різних способів збагачення залізорудної сировини. Встановлено, що при збагаченні у важкій суспензії і збагаченні за допомогою рентгенорадіометричного методу витягання корисного компонента вище, ніж при використанні сухого магнітного методу збагачення і збагачення відсаженням.

Порівняння економічної доцільності різних методів збагачення, включаючи базовий варіант, показав явне переважання радіометричного методу збагачення над іншими, приведеними в статті.

Ключові слова: гематитова руда, способи збагачення, рентгенорадіометричний метод, залізорудна галузь.

Trachuk A.A. Analysis of methods of enriching of lump hematite of ores of Krivbass

Economic potential of Ukraine largely depends on the state of iron ore industry. Presently at the booty of iron-ore raw material of loss of ores with middle maintenance of iron to 57% make a seventh from a general volume, and an obstruction containing breeds with maintenance of iron of 37,5% makes sixth from the general volume of booty of ores.

In the conditions of deficit of raw material engaging is in the sphere of booty and processing of poor ores, and also industrial wastes, is the real possibility of increase of volumes of booty and providing of more rational use of mineral resources. In particular, decline of threshold of mass stake of iron in initial ore to 40 % will allow to increase the supplies of iron-ore raw material in Кривбасце in 2,05 time.

Article of Трачук А.А. «Analysis of methods of enriching of lump hematite of ores of Кривбасца» sanctified to comparative research of different ways of enriching of iron-ore raw material. It is set that at enriching in a heavy suspension and enriching by means of x-ray radiometric method extraction of useful component is higher, than at the use of dry magnetic method of enriching and enriching transplanting.

Comparison of financial viability of different methods of enriching, including a base variant, showed obvious predominance of aerophare method of enriching above other, resulted in the article.

Keywords: hematite ore, methods of enriching, x-ray radiometric method, iron-ore industry.

УДК 621: 622.276

Орловський В.М. Термостійкі тампонажні матеріали

Для якісного розмежування пластів у нафтових і газових свердловинах застосовують переважно тампонажні цемент, в яких основним в'язучим матеріалом є портландцемент. Залежно від хіміко-мінералогічного складу, тампонажні портландцементи розділяють на класи для різних температурних умов експлуатації від 288 до 423 К. Актуальною є задача розробки термостійких тампонажних матеріалів з високими технологічними властивостями на основі низькоактивних композицій з метою підвищення якості розмежування гірських порід і нафтогазоносних горизонтів у глибоких свердловинах.

Наведено характеристику чинників, що впливають на якість розмежування пластів. Проведено аналіз якості цементування обсадних колон на бурових підприємствах України. Запропоновано нові термостійкі тампонажні матеріали, що розширюються при твердінні, для цементування глибоких нафтових і газових свердловин.

На основі проведених досліджень встановлено, що суміші золи висококальцієвої, яка містить в'язучу основу – вільні оксиди кальцію, і золи кислоти, в якій міститься активний кремнезем, можуть бути основою термостійких тампонажних матеріалів.

Дослідженнями фізико-механічних властивостей встановлено, що оптимальними співвідношеннями золових сумішей є рецептури, які вміщують 30-70 % золи висококальцієвої і 70-30 % золи кислоти.

Ключові слова: цементне кільце, термостійкий тампонажний матеріал, гідротермальна дія.

Орловский В.М. Термостойкие тампонажные материалы

Для качественного разграничения пластов в нефтяных и газовых скважинах применяют преимущественно тампонажные цементы, в которых основным вяжущим материалом является портландцемент. В зависимости от химико-минералогического состава, тампонажные цементы разделяют на классы для различных температурных условий эксплуатации от 288 до 423 К. Актуальной является задача разработки термостойких тампонажных материалов с высокими технологическими свойствами на основе низкоактивных композиций с целью повышения качества разграничения горных пород и нефтегазоносных горизонтов в глубоких скважинах.

Приведена характеристика факторов, влияющих на качество разграничения пластов. Проведен анализ качества цементирования обсадных колонн на буровых предприятиях Украины. Предложены новые термостойкие тампонажные материалы, расширяющиеся при твердении, для цементирования глубоких нефтяных и газовых скважин.

На основе проведенных исследований установлено, что смеси зола высококальциевой которая содержит вяжущее основу – свободные оксиды кальция и зола кислот, в которой содержится активный кремнезем, могут быть основой термостойких тампонажных материалов.

Исследованиями физико-механических свойств установлено, что оптимальными соотношениями зольных смесей является рецептуры, содержащие 30-70% зола высококальциевой и 70-30% зола кислот.

Ключевые слова: цементное кольцо, термостойкий тампонажный материал, гидротермальное действие.

Orlovskyy V.M. Heat-resistant cementitious materials

For qualitative differentiation layers of oil and gas wells borehole cements used primarily where the main binder is Portland cement. Depending on the chemical and mineralogical composition, borehole Portland divided into classes for different tem-

perature conditions of 288 to 423 K. The actual problem is the development of heat-resistant cement materials with high technological properties based on low-level compositions to improve the quality differentiation rocks and oil and gas bearing horizons in deep wells.

The characteristic of the factors affecting the quality of zonal isolation. The analysis of the quality of cementing casing for drilling enterprises of Ukraine. New heat-resistant expansible cement materials are offered for cementation of oil and gases longholes.

Based on the studies found that salt mixtures with high content of calcium oxide that contains astringent basis - free calcium oxide, acid and ash, which contains the active silica can be thermally stable foundation cement materials.

Investigation of physical and mechanical properties found that the optimum ratio of ash mixtures is a formulation containing 30-70 % ash. Stone mixtures of within has high strength and adhesion strength of the metal casing, low gas, high corrosion resistance. Time within pumping mixes easily adjusted by known chemical agents such as methylenephosphonic acid.

Keywords: cement sheath, heat-resistant cement of material, hydrothermal action

УДК 622.74.913.3

Булах О.В., Хміль І.В. Булах О.О. Тонке грохочення як перспективний метод підвищення ефективності збагачення магнетитових кварцитів

Розглядається можливість отримання високоякісного концентрату при збагаченні магнетитових кварцитів поточного видобутку ПівніГЗК по вдосконаленій технології їх переробки. На підставі проведення досліджень запропоновано вдосконалену технологічну схему збагачення з впровадженням операції тонкого грохочення. Для отримання високоякісного концентрату головним завданням є підвищення ефективності збагачення магнетитових кварцитів, розробка нових раціональних або вдосконалення існуючих технологій збагачення магнетитових руд із застосуванням тонкого грохочення. Технічний прогрес в конструктивних вирішеннях сучасних грохотів, а також розробка зносостійких сіток, що не забиваються, зробили застосування тонкого грохочення в технологічних схемах збагачувальних фабрик економічно доцільним. У результаті детального аналізу обладнання для тонкого грохочення, яке пропонують як закордонні, так і вітчизняні компанії, був визначений як найбільш оптимальний варіант застосування високочастотного грохоту розробки корпорації Derrick моделі «Стек Сайзер». Згідно з результатами проведених досліджень на рудах поточного видобутку ПівніГЗК при повному впровадженні операції тонкого грохочення на грохотах StackSizer розробки корпорації Derrick можливий випуск високоякісного та конкурентоспроможного на залізорудному ринку концентрату з вмістом заліза більше 67 %. Показано можливість отримання концентрату з вмістом заліза більше 67% при впровадженні операції тонкого грохочення в технологію збагачення магнетитових кварцитів ПівніГЗК поточного видобутку з використанням грохотів «Derrick» Stack Sizer™.

Ключові слова: високоякісний концентрат, грохочення, збагачення, магнетитові кварцити.

Булах А.В., Хмель И.В. Булах О.А. Тонкое грохочение как перспективный метод повышения эффективности обогащения магнетитовых кварцитов

Рассматривается возможность получения высококачественного концентрата при обогащении кварцитов магнетита текущей добычи СевГОКР по усовершенствованной технологии их переработки. На основании проведения исследований предложена усовершенствованная технологическая схема обогащения с внедрением операции тонкого грохочения. Для получения высококачественного концентрата главным заданием есть повышение эффективности обогащения кварцитов магнетита, разработка новых рациональных или совершенствование существующих технологий обогащения руд магнетита с применением тонкого грохочения. Технический прогресс в конструктивных решениях современных грохотів, а также разработка износостойких сеток, которые не забиваются, сделали применение тонкого грохочения в технологических схемах обогатительных фабрик экономически целесообразным. В результате детального анализа оборудования для тонкого грохочения, которое предлагают как заграничные, так и отечественные компании, был определен как наиболее оптимальный вариант применения высокочастотного грохота разработки корпорации Derrick модели "Стек Сайзер". Согласно результатам проведенных исследований на рудах текущей добычи СевГОКа при полном внедрении операции тонкого грохочения на грохотах StackSizer разработки корпорации Derrick возможный выпуск высококачественного и конкурентоспособного на железорудном рынке концентрата с содержанием железа больше 67 %. Показана возможность получения концентрата с содержанием железа больше 67% при внедрении операции тонкого грохочения в технологию обогащения кварцитов магнетита СевГОКа текущей добычи с использованием грохотів "Derrick" Stack Sizer™.

Ключевые слова: высококачественный концентрат, грохочение, обогащение, магнетитовые кварциты.

Bulakh O.V., Khmel I.V., Bulakh O.A. Fine screening as a promising method for increasing the efficiency of enrichment of magnetite quartzite

Possibility of receipt of high - quality concentrate is examined at enriching of quartzites of magnetite of current booty North mountain concentrating combine of on the improved technology of their processing. On of the basis of realization of researches the improved flowsheet of enriching is offered with introduction of operation of thin грохочения. For the receipt of high - quality concentrate there is an increase of efficiency of enriching of quartzites of magnetite, development of new rational or perfection of existent technologies of ore are dressing of magnetite with the use of thin грохочения of main tasks. Technical progress is in the structural decisions of modern грохотів, and also development of wearproof nets which do not hide, did application of thin грохочения of in the flowsheets of washeries economic expedient. As of a result of the detailed analysis of equipment for thin грохочения of which is offered by both foreign and domestic companies, was certain as the most optimal variant of application of high - frequency crash of development of corporation Derrick "Flowed a model Цай-зеп". According to the results of the conducted researches on ores of current booty of North mountain concentrating combine at complete introduction of operation of thin грохочения of on грохотях StackSizer of development of corporation Derrick possible producing of high - quality and competitive at the iron - ore market concentrate with content of iron more than 67 %. The possibility of receipt of concentrate is Shown with maintenance of iron more than of 67 % at introduction of operation of thin грохочения of in technology of enriching of magnetite quartzite of North mountain concentrating combine of current booty with the use of грохотов "Derrick" Stack Sizer™.

Keywords: high-quality concentrate, грохочение, enriching, magnetit quartzites.

УДК 622.7: 622.765.06

Олійник Т.А., Макачова А.І. Розробка технології комплексного збагачення біотит-гранатових гнейсів Заваллівського родовища

Стаття присвячена проблемі комплексної переробки сировини Заваллівського родовища. Проведено аналіз розроблених та впроваджених технологій збагачення біотит-гранатових гнейсів, за якими виявлені переваги і недоліки розглянутих технологій збагачення графітових руд. У результаті дослідження обрана оптимальна схема збагачення біотит-гранатових гнейсів. Досліджено мінералогічний та хімічний склад досліджуваної проби біотит-гранатового гнейсу Заваллівського родовища. Досліджена можливість отримання готового концентрату за допомогою гравітаційного, мокрого і сухого магнітного збагачення. Встановлено оптимальну технологію переробки біотит-гранатового гнейсу, за якою отриманий гранатовий концентрат, що відповідає вимогам промисловості. Надано результати збагачення графітової руди за обраною схемою та при встановленому реагентному режимі.

Перероблення вивітреного біотит-гранатового гнейсу в лабораторних умовах, за схемою сухого магнітно-електричного збагачення, яка включала крупне, середнє та дрібне дроблення вихідного гнейсу до 1 мм, основну магнітну сепарацію в полі високої інтенсивності, перечищення в магнітному полі цієї ж напруженості промпродукту, основної сепарації і електросепарації об'єднаного концентрату магнітної сепарації забезпечило отримання гранатового концентрату з вмістом гранату 92,51 % та біотиту 1,7 % при вилученні гранату 91,72 %, кварц-польовошпатовий продукт з вмістом кварцу 63,44 % та оксидом заліза 9,76 % і біотит-кварц-польовошпатові хвости в кількості 8,51 %.

Ключові слова: збагачення, біотит-гранатові гнейси, концентрат,

Олейник Т.А., Макачова А.И. Разработка технологии комплексного обогащения биотит-гранатовых гнейсов Завалевского месторождения

Статья посвящена проблеме комплексной переработки сырья Завалевского месторождения. Выполнен анализ разработанных и внедренных технологий обогащения биотит-гранатовых гнейсов, выявлены преимущества и недостатки рассмотренных технологий обогащения графитовых руд. В результате исследования избрана оптимальная схема обогащения биотит-гранатовых гнейсов. Исследован минералогический и химический состав исследуемой пробы биотит-гранатового гнейса Завалевского месторождения. Исследована возможность получения готового концентрата с помощью гравитационного, мокрого и сухого магнитного обогащения. Установлена оптимальная технология переработки биотит-гранатового гнейса, по которой получен гранатовый концентрат, отвечающий требованиям промышленности. Представлены результаты обогащения графитовой руды по избранной схеме и при установленном реагентном режиме.

Передел выветренного биотит-гранатового гнейса в лабораторных условиях по схеме сухого магнитно-электрического обогащения, которая включала крупное, среднее и мелкое дробление исходного гнейса до 1 мм, основную магнитную сепарацию в поле высокой интенсивности, перечистки в магнитном поле этой же напряженности промпродукта, основной сепарации и электросепарации объединенного концентрата магнитной сепарации, что обеспечило получение гранатового концентрата с содержанием граната 92,51 % и биотита 1,7 % при изъятии граната 91,72 %, кварц-полевошпатный продукт с содержанием кварца 63,44 % и оксидом железа 9,76 % и полевошпатные для биотит-кварц хвосты в количестве 8,51 %.

Keywords: enriching, биотит-гранатовые гнейсы, concentrate.

Oliynyk T.J., Makachova A.I. Development of technology of the complex enriching of биотит -гранатовый gneis of Заваллевского of deposit

The article is sacred to the problem of the complex processing of raw material of Заваллевского of deposit. The analysis of the worked out and inculcated technologies of enriching of biotit-pomegranate gneis of is executed, advantages and lacks of the considered technologies of enriching of graphite ores are educed. As a result of research the optimal chart of enriching of biotit-pomegranate gneis is select. Mineralogical and chemical composition of the investigated test of биотит-гранатового gneis of Заваллевского of deposit is investigational. Possibility of receipt of the prepared concentrate is investigational by means of the gravity, wet and dry magnetic enriching. Optimal technology of processing of биотит of of -гранатовый gneis, which a pomegranate concentrate, answering the requirements of industry, is got on, is set. The results of enriching of graphite ore are presented on a select chart and at the set pearentном mode.

Redistribution of the driven биотит of -гранатовый gneis in laboratory terms on the chart of the dry magnetically - electric enriching, which included the large, AV and shallow crushing of initial gneis a to 1 mm, basic magnetic сепарацию of in the field of high intensity, перечистки of in the magnetic field of the same tension of промпродукта, basic сепарации of and электросепарации of of the incorporated concentrate of magnetic сепарации, that provided the receipt of pomegranate concentrate with content of pomegranate of 92,51 % and биотита of 1,7 % at the withdrawal of pomegranate 91,72 %, quartz - полевошпатный product with content of quartz 63,44 % and by the oxide of iron 9,76 % and полево шпатные for биотит is a quartz of tails in an amount 8,51 %.

Keywords: enriching, биотит-гранатовый гнейс, concentrate

УДК 622.34: 658.562

Шолох М.В. Моделювання процесів формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині рудного потоку
Виконано дослідження технологічних і структурних схем формування рудних потоків корисної копалини у рудній сировині і ідентифікація функцій елементів по їхньому відношенню до розглянутих типів елементарних перетворень, що дозволяє побудувати моделі формування (трансформації) якості руди і корисної копалини у рудній сировині. Визначена структура одиничного елемента рудного потоку корисної копалини у рудній сировині при генеральному і перспективному плануванні, що враховує схему розкриття і порядок відпрацювання родовища, покладу, рудного тіла або ділянки корисних копалин, горизонтів, поверхів, панелей, блоків. Доказано, що при поточному плануванні, структура одиничного елемента залежить від системи розробки, що застосовується, технології і організації доставки, транспортування, складування і відвантаження, а у ході виробничих процесів, відбувається часткове або повне злиття потоків руди і корисної копалини у рудній сировині, яка видобута з окремих очисних забоїв у єдиний потік руди і корисної копалини у рудній сировині. Розглянуто процес формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині з погляду теорії множин при якому все родовище, поклад, рудне тіло або ділянка корисних копалин розбивається на елементарні блоки відповідного об'єму, які характеризуються якістю руди і корисної копалини. Якісні характеристики родовища, покладу, рудного тіла або ділянки корисних копалин представлені у вигляді тимчасового динамічного ряду якості руди і корисної копалини у рудній сировині впорядкованого у просторі безліччю елементів. Викладений підхід розширює можливості методу прогнозування процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині в рудопотоках і дозволяє вірогідно оцінювати контрольовані якісні характеристики на періодах управління перевищуючи оперативні, істотно підвищуючи точність прогнозування.

Шолох Н.В. Моделирование процессов формирования качества руды и полезных ископаемых в рудном сырье рудного потока

Выполнены исследования технологических и структурных схем формирования рудных потоков полезного ископаемого в рудном сырье и идентификация функций элементов по их отношению к рассмотренным типам элементарных преобразований, позволяет построить модели формирования (трансформации) качества руды и полезных ископаемых в рудной сырье. Определена структура единичного элемента рудного потока полезного ископаемого в рудном сырье при генеральном и перспективном планировании, учитывающий схему раскрытия и порядок отработки месторождения, залежи, рудного тела или участка полезных ископаемых, горизонтов, этажей, панелей, блоков. Доказано, что при текущем планировании, структура единичного элемента зависит от системы разработки, применяется, технологии и организации доставки, транспортировки, складирования и отгрузки, а в ходе производственных процессов, происходит частичное или полное слияние потоков руды и полезных ископаемых в рудной сырье, которое добытая из отдельных очисных забоев в единый поток руды и полезных ископаемых в рудной сырье. Рассмотрен процесс формирования качества руды и полезных ископаемых в рудной сырье с точки зрения теории множеств при котором все месторождение, залежь, рудное тело или участок полезных ископаемых разбивается на элементарные бло-

ки соответствующего объема, которые характеризуются качеством руды и полезных ископаемых. Качественные характеристики месторождения, залежи, рудного тела или участка полезных ископаемых представлены в виде временного динамического ряда качества руды и полезных ископаемых в рудной сырье упорядоченного в пространстве множеством элементов. Изложенный подход расширяет возможности метода прогнозирования процесса формирования качества руды и полезных ископаемых в рудной сырье в рудопотоках и позволяет достоверно оценивать контролируемые качественные характеристики на периодах управления превышая оперативные, существенно повышая точность прогнозирования.

Sholokh M. V. Simulation of forming processes quality and ore useful minerals in ore ore flow

The research of technological and structural schemes forming ore minerals flows in ore and identification features elements on their relation to the considered types of elementary transformations, allowing to build a model of (transformation) as ores and minerals in the ore. The structure of a single element flow of ore minerals in the ore at the general and long-term planning that takes into account the scheme of disclosure and procedure testing field, put, station ore body or mineral horizons floors, panels, blocks. Proved that the current planning, the structure of a single item depends on the system design, applicable technology and organization of shipping, transportation, warehousing and shipping, and in the course of production processes, there is a partial or complete fusion fluxes ore and minerals in the ore, which extracted from individual production faces into a single stream of ore and minerals in the ore. The process of formation of quality ore and minerals in the ore in terms of set theory in which all deposit, deposit, ore body or mineral district is divided into basic blocks corresponding volume characterized by the quality of ores and minerals. Qualitative characteristics of deposit, deposit, ore body or station minerals presented as temporary time series as ores and minerals in the ore-ordered set of elements in space. The approach enhances the process of forming prediction method as ore and minerals in the ore in the ore flow and allows controlled reliably assess quality characteristics for periods exceeding the operational management, significantly increasing the accuracy of forecasting.

УДК 622.331

Стріха В.А., Жуков С.О., Наумова М.О. Аналіз і удосконалення технологічних процесів й інформаційного супроводу видобування та зневоднювання паливного торфу

В умовах розвалу торф'яної галузі в Україні загострюються енергетичні проблеми. У цьому зв'язку все більш актуальним стає пошук усіх доступних паливних джерел. Це обумовлює повернення інтересу до торфу як до палива. Тому виникла необхідність в інвентаризації торф'яного фонду, а також в оцінці сучасного стану торф'яних ресурсів та перспектив розвитку галузі в регіонах. Для структурування такої інформації створюються геоінформаційні бази даних. При їх розробці виконується систематизація торф'яного фонду, створюються електронні інтерактивні карти торф'яних родовищ у форматі ГІС, формується банк даних підприємств - можливих споживачів торф'яної продукції, розробляється приблизна схема територіального розвитку галузі, виділяються перспективні для видобутку торфу родовища по районах області. Бази даних - призначені для обліку, оцінки й оперативного інформування користувачів про стан торф'яних ресурсів і можуть застосовуватися у виробничій діяльності підприємств у сфері надрокористування, торфовидобутку і торфопереробки, при економічній оцінці варіантів використання торф'яних ресурсів та оцінці екологічного збитку. Наведено дані про експериментальні дослідження зневоднення фрезерного торфу і результатах цих експериментів. Обґрунтовано оптимальні умови сушіння торфу і відповідні їм технологічні рішення. Визначено напрямки подальших досліджень.

Ключові слова: геоінформаційні технології, бази даних, торф'яні ресурси, аналіз, зневоднення, валкування, шари торфу.

Стріха В.А., Жуков С.А., Наумова М.А. Анализ и совершенствование технологических процессов и информационного сопровождения добычи и обезвоживания топливного торфа

В условиях развала торфяной отрасли в Украине обостряются энергетические проблемы. В этой связи все более актуальным становится поиск всех доступных топливных источников. Это обуславливает возврат интереса к торфу как топливу. Поэтому возникла необходимость в инвентаризации торфяного фонда, а также в оценке современного состояния торфяных ресурсов и перспектив развития отрасли в регионах. Для структурирования такой информации создаются геоинформационные базы данных. При их разработке выполняется систематизация торфяного фонда, создаются электронные интерактивные карты торфяных месторождений в формате ГИС, формируется банк данных предприятий – возможных потребителей торфяной продукции, разрабатывается предположительная схема территориального развития отрасли, выделяются перспективные для добычи торфа месторождения по районам области. Базы данных предназначены для учета, оценки и оперативного информирования пользователей о состоянии торфяных ресурсов и могут применяться в производственной деятельности предприятий в сфере недропользования, тор-

фодобычи и торфопереработки, при экономической оценке вариантов использования торфяных ресурсов и оценке экологического ущерба. Приведены данные об экспериментальных исследованиях обезвоживания фрезерного торфа и результатах этих экспериментов. Обоснованы оптимальные условия сушки торфа и соответствующие им технологические решения. Определены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: геоинформационные технологии, базы данных, торфяные ресурсы, анализ, обезвоживание, валкование, слои торфа.

Strikha V.A., Zhukov S.A., Naumova M.A. Analysis and improvement of technological processes and information support of production and dehydration of fuel peat

In context of the peat industry collapse in Ukraine's energy problems are exacerbated. In this context, it is becoming increasingly important to search for all available sources of fuel. This makes the return of interest in peat as fuel. Therefore, for peat deposits data structuring and creating the plan of peat branch territorial development, an estimation of its perspectives in regions have been developed geoinformation databases. By development of databases ordering of peat fund has been executed, the electronic interactive map of peat deposits in format GIS was developed, the databank of the enterprises - possible consumers of peat production was generated, the presumable scheme of territorial development of peat branch on was developed, were allocated perspective peatlands for extraction of peat. Databases are intended for the account, an estimation of a condition and operative informing of users on a condition of peat resources of region, and can be applied in industrial activity of the enterprises in sphere of subsoil use, pear cutting and peat processing, at an economic estimation of variants of peat resources use, at an estimation of ecological damage. The data on experimental studies dehydration milled peat and the results of these experiments. Substantiated optimal conditions drying of peat and the corresponding technological solutions. The directions for further research.

Key words: GIS technology, database, peat resources, analysis, dehydration, swathings, layers of peat.

УДК 621.313.33

Воротеляк Е.А., Коломіц Г.В., Кузьменко А.С. Питання післяремонтної експлуатації глибокопазного асинхронного двигуна

Асинхронний двигун, це найпоширеніша електрична машина у світі. Режими роботи та експлуатації різноманітні, в наших умовах виробництва не завжди сприятливі до довгострокової роботи машини. Також не завжди витримуються рекомендовані заводом виробником навантаження на машину. У зв'язку з цим багато машин виходять з ладу по різним причинам пов'язаних з експлуатацією. Завдяки такій розповсюдженості на наших підприємствах, багато з них мають власні майстерні з ремонту цих машин. Коли надходить асинхронний двигун до ремонту, не завжди машина проходить повну дефектацію, що призводить до того що, асинхронні двигуни з незначними внутрішніми ушкодженнями проходять повний цикл ремонту. Це призводить до значних матеріальних затрат. У даній статті проаналізовані основні види відмов глибокопазних асинхронних двигунів та способи їх виявлення та дефектації в умовах виробництва. Проаналізовано причинні фактори, які впливають на надійність роботи, інтенсивність відказів післяремонтної експлуатації глибокопазного асинхронного двигуна. Дано рекомендації щодо ремонту глибокопазних асинхронних двигунів.

Якщо при цьому є достатня кількість станків та пристроїв для видалення і демонтажу обмоток з пазів, то це дозволяє персоналу, з урахуванням інших причин, зберегти параметри згідно паспортних даних. В іншому разі видаляють обмотку методом «випалювання». Це погіршує екологію у цеху, знижує магнітну проникливість електротехнічної сталі і робочі параметри машин. Звичайно величина магнітної індукції для ЕМ умежах $B_0=12\div 2$ Тл. Звідси струм навантаження номінальний по первинному паспорту може бути в два рази менше при зниженні магнітної індукції 30-50%. Тому при виконанні статора й ротора машин глибокопазних АД необхідна перевірка сталі та її втрат при термічній обробці в процесі випалювання.

Ключові слова: електрична машина, асинхронний двигун, магнітна індукція, статор, ротор.

Воротеляк Э. А., Коломиц Г.В., Кузьменко А.С. Вопрос послеремонтной эксплуатации глибокопазного асинхронного двигателя

Асинхронный двигатель, это самая распространенная электрическая машина в мире. Режимы работы и эксплуатации, в наших условиях производства, разнообразные, не всегда благоприятные к долгосрочной работе машины. Также не всегда выдерживаются рекомендованные заводом-производителем нагрузки на машину. В связи с этим многие машин выходят из строя по причинам, связанным с эксплуатацией. Благодаря такой распространенности на наших предприятиях, многие из них имеют собственные мастерские по ремонту этих машин. Когда поступает асинхронный двигатель в ремонт, не всегда машина проходит полную дефектацию, что приводит к тому, асинхронные двигатели с незначительными внутренними повреждениями проходят полный цикл ремонта. Это приводит к значи-

тельным материальным затратам. В данной статье проанализированы основные виды отказов глубокопазных асинхронных двигателей и способы их выявления и дефектации в условиях производства. Проанализированы факторы, влияющие на надежность работы, интенсивность отказов послеремонтной эксплуатации глубокопазного асинхронного двигателя. Даны рекомендации по ремонту глубокопазных асинхронных двигателей.

Если при этом имеется достаточное количество станков и устройств для удаления и демонтажа обмоток из пазов, то это позволяет персоналу, с учетом вторых причин, сохранить параметры согласно паспортных данных. Иначе удаляют обмотку методом "выжигания". Это ухудшает экологию в цехе, снижает магнитную проницаемость электротехнической стали и рабочие параметры машин. Обычно величина магнитной индукции для ЭМ в пределах $B_0=12\pm 2$ Тл. Отсюда ток нагрузки номинальный по первичному паспорту может быть в два раза меньше при снижении магнитной индукции 30-50 %. Поэтому при выполнении статора и ротора машин глубокопазных АД необходима проверка стали и ее потеря при термической обработке в процессе выжигания.

Ключевые слова: электрическая машина, асинхронный двигатель, магнитная индукция, статор, ротор.

Vorotelyak E.A., Kolomits G.V., Kuzmenko A.S. Post-maintenance operation of cage induction motor

Induction motor, the most common electric machine in the world. Modes of operation and diverse in our production environment is not always conducive to long-term operation of the machine. There are not always met recommended by the manufacturer on the machine load. In this regard, many machines fail for many reasons related to the operation. With such prevalence in our facilities, many of them have their own repair shops these machines. When an induction motor to repair machine is not always complete defecation, leading to the fact that asynchronous motors with minor internal injuries are complete repair cycle. This leads to considerable expenses. This article analyzes the main failure modes cage induction motors and their methods of detection and defecation in a production environment. Reasons factors that affect the reliability of the intensity refuse after the repair operation cage induction motor. These recommendations for repair cage induction motors.

If here is a sufficient amount of machine-tools and devices for moving away and dismantling of обмоток from slots, then it allows personnel, taking into account the second reasons, to save parameters in obedience to passport data. Otherwise delete a puttee the method of "burning-out". It worsens ecology in a workshop, reduces the magnetic penetrating of electrical engineering steel and operating parameters of machines. Usually size of magnetic induction for EM scope $I_n=12\pm 2$ Тл. From here the current of loading is nominal on a primary passport can be in two times less than at the decline of magnetic induction of 30-50%. Therefore at implementation of статора and rotor of machines глубокопазных HELL verification is needed became and her losses at heat treatment in the process of burning-out.

Keywords: electric machine, asynchronous engine, magnetic induction, stator, rotor.

УДК 621.92.004.93

Артамонова Д.А., Дубровский С.С. Расчет линейных размерных цепей, нагруженных ударным импульсом

Проведено комплексное исследование различных факторов влияющих на роботу перфораторов. Выведена формула для расчета линейных размерных цепей переносных перфораторов, учитывающая все виды нагружения различных деталей, участвующих в процессе генерации ударного импульса. Определен допуск исходного звена в основной линейной размерной цепи на примере переносного перфоратора ПП50В1, обеспечивающий его долговечность и производительность.

Основой обеспечения этих важнейших эксплуатационных показателей служит определение оптимальных параметров деталей и узлов еще на стадии проектирования. На сегодня доминирующим фактором надежности является обеспечение высокой точности деталей и узлов. Для нормальной работы машин необходимо чтобы детали и их поверхности занимали определенное положение относительно друг друга, соответствующее функциональному назначению. На стадии проектирования и разработке технологических процессов, кроме расчетов деталей на прочность и жесткость, необходимо производить так называемый геометрический, размерный расчет. Расчет угловых и линейных размерных цепей, учитывающих все факторы, действующие в процессе работы машины, обеспечивают высокую производительность и долговечность уже на стадии проектирования, что позволит составить метрическую модель изделия и оптимизировать требования к точности геометрических параметров, с целью обеспечения показателей качества функционирования в заданных пределах при установленных затратах на производство.

Артамонова Д.А., Дубровский С.С. Розрахунок лінійних розмірних ланцюгів, навантажених ударним імпульсом

Проведено комплексне дослідження різних чинників що впливають на роботу перфораторів. Виведено формулу для розрахунку лінійних розмірних ланцюгів переносних перфораторів, що враховує усі види вантаження різних деталей, що беруть участь в процесі генерації ударного імпульсу. Визначено допуск початкової ланки в основному лінійному розмірному ланцюзі на прикладі переносного перфоратора ПП50В1, що забезпечує його довговічність і продуктивність.

Основою забезпечення цих найважливіших експлуатаційних показників служить визначення оптимальних параметрів деталей і вузлів ще на стадії проектування. На сьогодні домінуючим чинником надійності є забезпечення високої точності деталей і вузлів. Для нормальної роботи машин необхідно щоб деталі і їх поверхні займали певне положення один відносно одного, відповідне функціональному призначенню. На стадії проектування і розробці технологічних процесів, окрім розрахунків деталей на міцність і жорсткість, необхідно виробляти так званий геометричний, розмірний розрахунок. Розрахунок кутових і лінійних розмірних ланцюгів, що враховують усі чинники, діючі в процесі роботи машини, забезпечують високу продуктивність і довговічність вже на стадії проектування, що дозволить скласти метричну модель виробу і оптимізувати вимоги до точності геометричних параметрів, з метою забезпечення показників якості функціонування в заданих межах при встановлених витратах на виробництво.

Artamonova D.A., Dubrovsky S.S. Calculation of linear size chains, loaded with a shock impulse

Complex research of different factors is conducted influencing on to the robot of perforators. A formula is shown out for the calculation of linear size chains of portable perforators, taking into account all types of lading of different details, participating in the process of generation of shock impulse. Admittance of initial link is certain in a basic linear size chain on the example of portable perforator of ПП50В1, providing his longevity and productivity.

Basis of providing of these major operating indexes determination of optimal parameters of details and knots serves as yet on the stage of planning. The for today dominant factor of reliability is providing of high exactness of details and knots. For normal robots of machines it is necessary that details and their surfaces occupied certain position in relation to each other, corresponding to the functional setting. On the stage of planning and to development of technological processes, except for the calculations of details on durability and inflexibility, it is necessary to produce the so-called geometrical, size calculation. Calculation of angular and linear size chains, taking into account all factors, operating in the process of work of machine, provide a high yield and longevity already on the stage of planning, that will allow to make the metrical model of good and optimize requirements to exactness of geometrical parameters, with the purpose of providing of indexes of quality of functioning in the set limits at the set production inputs.

УДК 621.316.765:621.314.632

Файнштейн В.Г., Пирожено А.В. Лабораторний стенд для покращення практичних навичок під час підготовки спеціалістів в галузі електропривода

Існуюча практична підготовка спеціалістів в галузі електропривода визнана як недостатня, що не дозволяє їм самостійно проводити комплекс налагоджувальних робіт або робіт з усунення відмов. Усі відомі віртуальні методи дослідження електроприводів масштабуються у часі, тому у тих, хто навчається, не розвиваються навички щодо використання вимірювальних та реєструючих приладів під час роботи на реальній установці, а також навички під час роботи з реальними вузлами систем керування для налагодження заданих режимів привода. Запропонований стенд, який складається з реальної системи регулювання і моделі силової частини привода, який працює без масштабу часу, що дозволило значно наблизити лабораторну установку до реального привода. Детально розглянута структура лабораторного стенду на базі двигуна постійного струму незалежного збудження з реверсивним тиристорним перетворювачем. Доведено, що оптимальним алгоритмом моделювання трифазного мостового перетворювача, що працює на якірне коло, є алгоритм, який за номером тиристора, що вимикається, та стану інших тиристорів дозволяє вибрати розрахункову схему і виконати інтегрування рівнянь, що описують електричні процеси в схемі, визначити момент зміни стану тиристорів і перехід до іншої розрахункової схеми. Наведені дискретні моделі та розглянуті розрахункові схеми трифазного мостового перетворювача в нормальному режимі випрямлення, в режимі комутації тиристорів і аварійному режимі при помилковому вмиканні тиристора під час комутації. Математичний апарат моделі – розв'язання диференціальних рівнянь методом чисельного інтегрування Рунге-Кутти. Запропоноване апаратне забезпечення математичної моделі на базі мікро-ЕВМ сімейства ARM Cortex™ четвертого покоління.

Ключові слова: лабораторний стенд, методи дослідження електроприводів, масштаб часу, тиристорний перетворювач.

Файнштейн В.Г., Пирожено А.В. Лабораторный стенд для улучшения практических навыков при подготовке специалистов в области электропривода

Существующая практическая подготовка специалистов в области электропривода признана как недостаточная, не позволяющая им самостоятельно проводить комплекс наладочных работ или работ по устранению отказов. Все известные виртуальные методы исследования электроприводов масштабируются во времени, поэтому у обучающихся не развиваются навыки по использованию измерительных и регистрирующих приборов при работе на реальной установке, а также навыки по работе с реальными узлами систем управления для настройки заданных режимов привода. Предложен стенд, состоящий из реальной системы регулирования и модели силовой части привода, работающей

без масштаба времени, что позволило значительно приблизить лабораторную установку к реальному приводу. Детально рассмотрена структура лабораторного стенда на базе двигателя постоянного тока независимого возбуждения с реверсивным тиристорным преобразователем. Доказано, что оптимальным алгоритмом моделирования трехфазного мостового преобразователя, работающего на якорную цепь, является алгоритм, который по номеру включаемого тиристора и состоянию остальных тиристоров позволяет выбрать расчетную схему и выполнить интегрирование уравнений, описывающих электрические процессы в схеме, определить момент изменения состояния тиристоров и переход к другой расчетной схеме. Приведены дискретные модели и рассмотрены расчетные схемы трехфазного мостового преобразователя в нормальном режиме коммутации тиристоров и аварийном режиме при ложном включении тиристора во время коммутации. Математический аппарат модели - решение дифференциальных уравнений методом численного интегрирования Рунге-Кутты. Предложено аппаратное обеспечение математической модели на базе микро-ЭВМ семейства ARM CortexTM четвертого поколения.

Ключевые слова: лабораторный стенд, методы исследования электроприводов, масштаб времени, тиристорный преобразователь.

V.G. Feinstein, A.V. Pirozhenko. Laboratory stand for improvement of practical skills at training of specialists in the field of the electric drive

The existing practical training of specialists in the field of the electric drive is recognized as insufficient, not allowing them to conduct independently a complex of adjustment works or works on elimination of refusals. All known virtual methods of research of electric drives are scaled in time therefore at the trained skills on use of the measuring and registering devices during the work on real installation don't develop, and also skills on work with real knots of control systems for control of the set drive modes. We propose a stand consisting of a real system of regulation and the model of the power drive to work without time scale, thus significantly closer to the actual laboratory setting drive. The structure of the laboratory stand on the basis of the engine of a direct current of independent excitement with the reversible thyristor converter is in details considered. It is proved that an optimal algorithm for the simulation of three-phase bridge converter operating at anchor chain is an algorithm which rooms include a thyristor and of the remaining thyristors allows you to choose the design scheme and carry out the integration of equations describing electric processes in the circuit detect a change in state of the thyristors and the transition to other design scheme. Given the discrete model and considered design scheme of three-phase bridge Converter in a normal mode switching thyristors and emergency mode, if false turn on of the thyristor during commutation. Mathematical model of the device - the solution of differential equations by numerical integration of the Runge-Kutta. Proposed hardware mathematical model based on the family of microcomputer ARM CortexTM fourth generation.

Keywords: laboratory stand, methods of research of electric drives, time scale, thyristor converter.

УДК 622.788: 005.591.6

Рудь Ю.С., Кучер В.Г., Белоножко В.Ю. Выбор параметров системы автоматической оптимизации влажности агломерационной шихты

Цель работы - исследование возмущающих факторов, снижающих эффективность работы системы автоматической стабилизации влажности шихты (САОВ), и разработка рекомендаций, направленных на уменьшение их вредного воздействия.

По мнению авторов работы наиболее перспективной САОВ шихты является система, предложенная коллективом Ново-Криворожского ГОКа. Рассматриваемая система реализует способ спекания шихты, особенность которого состоит в том, что при автоматическом регулировании законченности процесса спекания шихты одновременно регулируется ее влажность. При этом в качестве задающего импульса принимается скорость движения тележек агломерационной машины. Агломератчик вручную выбирает подачу необходимого количества воды для увлажнения шихты, которое связано с текущим содержанием в ней возврата, и включает в работу системы автоматической стабилизации высоты слоя шихты и температурно-теплого режима зажигания. После выхода на установившийся режим работы, когда текущие фактические параметры заданных величин соответствуют заданным значениям, включается работу система автоматической оптимизации влажности шихты САОВ.

В развитие этой системы авторами предложена новая система автоматической оптимизации влажности агломерационной шихты (САОВ), в которой осуществляется коррекция задания регулятору по содержанию в шихте возврата. При этом достигается минимизация продолжительности процесса спекания шихты за счет изменения скорости движения агломерационной ленты, осуществляемой после стабилизации места окончания процесса спекания.

Использование предлагаемой авторами системы автоматической оптимизации влажности шихты САОВ позволяет обеспечить оптимальные условия для процесса спекания агломерата и за счет этого увеличить производительность агломерационных машин.

Рудь Ю.С., Кучер В.Г., Білоножко В.Ю. Вибір параметрів системи автоматичної оптимізації вологості агломераційної шихти

Мета роботи - дослідження збурюючих чинників, що знижують ефективність роботи системи автоматичної стабілізації вологості шихти (CAOW), і розробка рекомендацій, спрямованих на зменшення їх шкідливого впливу.

На думку авторів роботи найбільш перспективною CAOW шихти є система, запропонована колективом Ново-Криворізького ГЗК. Розглянута система реалізує спосіб спікання шихти, особливість якого полягає в тому, що при автоматичному регулюванні закінченості процесу спікання шихти одночасно регулюється її вологість. При цьому в якості задаючого імпульса приймається швидкість руху візків агломераційної машини. Агломератчик вручну вибирає подачу необхідної кількості води для зволоження шихти, яке пов'язане з поточним значенням в ній поверненого матеріалу, і включає в роботу системи автоматичної стабілізації висоти шару шихти та температурно-теплогового режиму запалювання. Після виходу на сталий режим роботи, коли поточні фактичні параметри заданих величин відповідають заданим значенням, включається роботу система автоматичної оптимізації вологості шихти CAOW.

В розвиток цієї системи авторами запропонована нова система автоматичної оптимізації вологості агломераційної шихти CAOW, в якій здійснюється корекція завдання регулятора за вмістом у шихті поверненого матеріалу. При цьому досягається мінімізація тривалості процесу спікання шихти за рахунок зміни швидкості руху агломераційної стрічки, здійснюваної після стабілізації закінчення процесу спікання.

Використання запропонованої авторами системи автоматичної оптимізації вологості шихти CAOW дозволяє забезпечити оптимальні умови для процесу спікання агломерату і за рахунок цього збільшити продуктивність агломераційних машин.

Rud' Yu. S., Kucher V.G., Belonozhko V.Yu. Setting the system humidity automatically optimize the sinter mix

Purpose - research disturbing factors that reduce the effectiveness of the system of automatic stabilization humidity charge (SAOW), and develop recommendations aimed at reducing their harmful effects.

According to the authors the most promising SAOW charge system is proposed collective Novo-Krivoy Rog GOK. The system implements a method of firing charge, a feature of which is that the automatic regulation of the charge completeness firing process is regulated by its humidity. At the same time as setting the pulse speed of cars taken sintering machine. The operator manually selects the required supply of water to moisten the mixture, which is associated with the current value in it returning the material, and includes the operation of the system of automatic stabilization layer height and the charge temperature and thermal regime of ignition. After reaching the steady operation when the current actual parameters specified values correspond to a given value, is included in the system of automatic optimization humidity charge CAOW.

In developing this system, the authors proposed a new system of automatic optimization humidity sintering charge SAOW in which the correction task for the regulator content in the charge material returned. At the same time minimize the duration of the burning charge by changing the speed of the sinter belt exercised after the end firing process stabilization.

Use of the authors of the proposed system of automatic optimization humidity CAOW charge ensures optimal conditions for the process of preparing agglomerate and thus increase productivity sintering machines.

УДК 622.647.2: 681.518.54

Кондратенко М.М. Математична модель пускових режимів стрічкового конвеєра для аналізу стану роликів і барабанів

Для зменшення витрат на ремонти, міжремонтне обслуговування конвеєрів, а також для своєчасного виявлення і заміни зношених роликів запропонований метод діагностики стану роликів і барабанів. Він ґрунтований на експрес-аналізі динамічних навантажень, що виникають в електроприводі в пусковому режимі, оцінці енерговитрат на ці процеси. Дослідження витрат електроенергії на динамічні процеси, що виникають при несправності роликів або барабанів, можливо на основі математичної моделі для процесів пуску з урахуванням мас роликів і їх стану. Оцінка динамічних характеристик конвеєра виконується шляхом моделювання залежностей, що зв'язують швидкості, шлях переміщення стрічки на головних і допоміжних барабанах, роликах, динамічне зусилля в стрічці з величиною і характером зміни рушійного зусилля, що розвивається електроприводом під час діагностики і при еталонних випробуваннях. Діагностика по запропонованому методу виконується в період часу, коли по черзі залучаються до обертання роликів вантажної гілки конвеєра. У момент початку обертання стрічкою хвостового барабана буде отримана повна інформаційна картина стану елементів вантажної гілки, що обертаються, а можливість діагностики за цим методом припиниться.

Кондратенко М.Н. Математическая модель пусковых режимов ленточного конвейера для анализа состояния роликов и барабанов

Для уменьшения затрат на ремонты, межремонтное обслуживание конвейеров, а также для своевременного обнаружения и замены изношенных роликоопор предложен метод диагностики состояния роликов и барабанов. Он основан на экспресс-анализе динамических нагрузок, возникающих в электроприводе в пусковом режиме, оценке энергозатрат на эти процессы. Исследование затрат электроэнергии на динамические процессы, возникающие при неисправности роликов или барабанов, возможно на основе математической модели для процессов пуска с учетом масс роликов и их состояния. Оценка динамических характеристик конвейера производится путем моделирования зависимостей, связывающих скорости, путь перемещения ленты на головных и вспомогательных барабанах, роликах, динамическое усилие в ленте с величиной и характером изменения движущего усилия, развиваемого электроприводом во время диагностики и при эталонных испытаниях. Диагностика по предложенному методу производится в период времени, когда поочередно вовлекаются во вращение ролики грузовой ветви конвейера. В момент начала вращения лентой хвостового барабана будет получена полная информационная картина состояния вращающихся элементов грузовой ветви, а возможность диагностики по данному методу прекратится.

Kondratenko M.N. Mathematical model of the belt conveyor starting modes for the analysis of belt idlers and drums

In order to reduce the repair costs, conveyors time between overhaul (TBO), as well as for early detection and replacement of worn belt idler a diagnostics method of the rollers and drums state is proposed. It's based on the express analysis of dynamic loads encountered in the drive at starting mode, and on the energy consumption evaluation for these processes. Evaluation of the conveyor dynamic characteristics is made by modeling of dependencies connecting the speed, path of the belt traveling on head and auxiliary drums, rollers, the dynamic force in the tape with the size and nature of the change of the driving force developed by the electric drive during the diagnostics and benchmarking. Diagnostics by the proposed method is made in the period of time when the rollers of the load branch of the conveyor are alternately involved in rotation. At the start of the rotation the complete picture of the state of the rotating load branch elements will be obtained by the tail drum belt, and possibility of diagnostics by this method will stop.

УДК 519.237.7: 621.771.065

Герасимова К.В., Ткаченко Г.І., Шепель А.А., Самойлюк О.А. Дослідження впливу опору деформації на технологічні параметри процесу гарячої прокатки широких смуг

Для дослідження впливу опору деформації на технологічні параметри процесу гарячої прокатки широких смуг з використанням комплексу прикладних програм була побудована математична модель і здійснений планований чисельний експеримент. Виконано розрахунок енергосилових параметрів гарячої прокатки. Встановлено залежності опору деформації від температури прокатки для найбільш використовуваних марок сталі, що дозволило скорегувати їх оптимальний хімічний склад з урахуванням температурного режиму прокатки.

Температурний режим прокатки в безперервних станах виявляє суттєвий вплив на механічні властивості, опір деформації, структуру і якість прокату. Одночасно температурний режим впливає на напружений стан, стійкість і профіль валків, визначаючи точність прокату. Аналіз технічної літератури та патентної документації дозволяє стверджувати, що до 80 % патентів і публікацій присвячені техніці та технології управління температурним режимом прокатки примусовим охолодженням заготовки водою, повітрям і водо-повітряними сумішами. В інших джерелах представлені матеріали по техніці і технології управління температурним режимом прокатки зниженням температури нагріву металу перед прокаткою або зміною кількості використовуваних робочих клітей (безперервної листової прокатки).

Ключові слова: прокатка, температурний режим, технологічні параметри, математична модель.

Герасимова Е.В., Ткаченко Г.И., Шепель А.А., Самойлюк Е.А. Исследование влияния сопротивления деформации на технологические параметры процесса горячей прокатки широких полос

Для исследования влияния сопротивления деформации на технологические параметры процесса горячей прокатки широких полос с использованием комплекса прикладных программ была построена математическая модель и осуществлен планируемый численный эксперимент. Выполнен расчет энергосиловых параметров горячей прокатки. Установлены зависимости сопротивления деформации от температуры прокатки для наиболее используемых марок стали, что позволило скорректировать их оптимальный химический состав с учетом температурного режима прокатки.

Температурный режим прокатки в непрерывных состояниях выявляет существенное влияние на механические свойства, сопротивление деформации, структуру и качество проката. Одновременно температурный режим влияет на напряженное состояние, стойкость и профиль валков, определяя точность проката. Анализ технической литературы и патентной документации позволяет утверждать, что до 80 % патентов и публикаций посвящены технике и технологии управления температурным режимом прокатки принудительным охлаждением заготовки водой, воздухом и

водо-воздушными смесями. В других источниках представлены материалы по технике и технологии управления температурным режимом прокатки снижением температуры нагрева металла перед прокаткой или изменением количества используемых рабочих клетей (непрерывной листовой прокатки).

Ключевые слова: прокатка, температурный режим, технологические параметры, математическая модель.

Gerasymova K.V., Tkashenko G.I., Shepel A.A., Samoiluk O.A. Research of influence of resistance of deformation on the technological parameters of process of the hot rolling of wide stripes

For of research of influence of resistance of deformation on the technological parameters of process of the hot rolling of wide stripes with the use of complex of the application programs a mathematical model was built and the planned numeral experiment is carried out. The of calculation of energy power parameters of the hot rolling is executed. Dependences of of resistance of deformation are set on the temperature of rolling for the most used brands became, that had allowed to correct their optimal chemical composition taking into account the temperature condition of rolling.

The temperature condition of rolling in the continuous states is exposed by substantial influence on mechanical properties, resistance of deformation, structure and quality of rent. At the same time a temperature condition influences on the tense state, firmness and type of rollers, determining exactness of rent. The analysis of technical literature and patent documentation allows to assert that to 80 % patents and publications are sacred to the technique and technology of management the temperature condition of rolling the forced hydrocooling of purveyance, by air and air-and-water mixtures. In other sources the presented materials on a technique and technology of management the temperature condition of rolling the decline of temperature of heating of metal before rolling or change of amount of the used working cages (continuous sheet rolling).

Keywords: rolling, temperature condition, технологические параметры, mathematical model.

УДК 691.322

Валовой О.І., Єрьоменко О.Ю., Валовой М.О. Корозійна стійкість бетонів на заповнювачах з відходів металургійної промисловості

На теперішній час в будівництві активно використовують багатокомпонентні дрібнозернисті бетони. Однією з переваг останніх є можливість використання місцевих матеріалів, в тому числі відходів промисловості.

Натурні спостереження показують, що бетонні будівельні конструкції та споруди в процесі експлуатації стають не придатними до подальшої експлуатації раніш відведеного терміну, внаслідок дії агресивного середовища. В свою чергу це приводить до додаткових витрат на їх ремонт, а також на будівництво нових споруд. Підвищити корозійну стійкість таких конструкцій можна за рахунок раціонального вибору в'язучих та застосування активних заповнювачів. Ефективними методами підвищення корозійної стійкості бетонів і конструкцій на їх основі є застосування заповнювачів з відходів гірничорудної та металургійної промисловості. Останні дозволяють зменшити матеріаломісткість виробництва заповнювачів, поліпшити якість, зменшити собівартість продукції, частково вирішити питання утилізації промислових відходів. Наразі, в літературі, немає чітких науково-обґрунтованих рекомендацій щодо раціонального застосування бетонів з різними активними заповнювачами в тих агресивних середовищах, де їхня перевага проявляється найбільшою мірою.

Підвищити стійкість бетону по відношенню до дії основних видів корозії можна шляхом використання таких активних заповнювачів, як доменні шлаки, а також шлаки фосфорного виробництва. Аналіз існуючих, на теперішній час, експериментальних даних, стосовно опору дрібнозернистих бетонів на відходах гірничорудної та металургійної промисловості, дії агресивного середовища дозволяє зробити наступні, попередні, висновки:

заміна граніту на заповнювач із гідралічно-активних матеріалів, наприклад, доменний гранульований шлак, підвищує корозійну стійкість бетонів в розчинах сульфатів натрію і магнезії, а також в кислих середовищах;

використання відходів мінераловатного виробництва, в якості заповнювача, призводить до підвищення опору бетону дії сірководневого агресивного середовища в порівнянні з бетонами на "класичних", інертних заповнювачах. В той же час, їх опір даним впливам, при тривалих

Валовой А.И., Ерёмченко А.Ю., Валовой М.А. Коррозионная стойкость бетонов на заполнителях из отходов металлургической промышленности

На настоящее время в строительстве активно используют многокомпонентные мелкозернистые бетоны. Одним из преимуществ последних есть возможность использования местных материалов, в том числе отходов промышленности.

Натурные наблюдения показывают, что бетонные строительные конструкции и сооружения в процессе эксплуатации становятся не пригодными к дальнейшей эксплуатации раньше отведенного срока, в результате действия агрессивной среды. В свою очередь это приводит к дополнительным расходам на их ремонт, а также на строительство новых сооружений. Повысить коррозионную стойкость таких конструкций можно за счет рационального выбора вяжущих и

применения активных заполнителей. Эффективными методами повышения коррозионной стойкости бетонов и конструкций на их основе являются применения заполнителей из отходов горнорудной и металлургической промышленности. Последние позволяют уменьшить материалоемкость производства заполнителей, улучшить качество, уменьшить себестоимость продукции, частично решить вопрос утилизации промышленных отходов. Теперь, в литературе, нет четких научно-обоснованных рекомендаций относительно рационального применения бетонов с разными активными заполнителями в тех агрессивных средах, где их преимущество проявляется в наибольшей степени.

Повысить стойкость бетона по отношению к действию основных видов коррозии можно путем использования таких активных заполнителей, как доменные шлаки, а также шлаки фосфорного производства. Анализ существующих, на настоящее время, экспериментальных данных, относительно сопротивления мелкозернистых бетонов на отходах горнорудной и металлургической промышленности, действия агрессивной среды позволяет сделать следующие, предыдущие, выводы:

замена гранита на заполнитель из гидравлически-активных материалов, например, доменный гранулированный шлак, повышает коррозионную стойкость бетонов в растворах сульфатов натрия и магния, а также в кислых средах; использование отходов минераловатного производства, в качестве заполнителя, приводит к повышению сопротивления бетона действия сероводородной агрессивной среды по сравнению с бетонами на "классических", инертных заполнителях.

Valovoj A.I., Eremenko A.U., Valovoj M.A. A probabilistic approach to assessing the reliability of building structures.

On a present tense in building actively use multicomponent fine-grained concretes. One of advantages last there is possibility of the use of local materials, including. wastes of industry.

Model supervisions show that concrete building constructions and building in the process of exploitation become not suitable to further exploitation before the taken term, as a result of action of aggressive environment. In turn it results in additional charges on their repair, and also on building of new building. Promoting corrosive firmness of such constructions is possible due to the rational choice of astringent and application of active fillers. The effective methods of increase of corrosive firmness of concretes and constructions on their basis are applications of fillers from wastes of mining and metallurgical industry. The last allow to decrease resource-demanding of production of fillers, improve quality, decrease an unit cost, partly to decide the question of utilization of industrial wastes. Now, in literature, there are not clear scientifically-reasonable recommendations in relation to rational application of concretes with different active fillers in those aggressive environments, where their advantage shows up in a most degree.

Promoting firmness of concrete in relation to the action of basic types of corrosion is possible by the use of such active fillers, as domain slags, and also slags of phosphoric production. Analysis of existing, on a present tense, experimental data, in relation to resistance of fine-grained concretes on wastes of mining and metallurgical industry, the actions of aggressive environment allows to do followings, previous, conclusions:

substituting of granite by a filler from hydraulically-active materials, for example, domain granular slag, promotes corrosive firmness of concretes in solutions of sulfates of sodium and magnesium, and also in sour environments;

utilization of wastes of минераловатного production, as a filler, results in the increase of resistance of concrete of action of sulphuretted hydrogen aggressive environment as compared to concretes on "classic", inert fillers.

УДК 624.042.7

Валовой О.І., Охрімчук В.Л. Оцінка технічного стану протяжних кам'яних будівель в умовах сейсмонезбезпечних територій

Щороку на території України сейсмологи фіксують до 100 землетрусів з незначною магнітудою. За прогнозами вчених з інституту геофізики НАН України існує велика ймовірність землетрусу інтенсивністю до 9 балів за шкалою Ріхтера. Питанню сейсмостійкості будівель останнім часом приділяється велика увага. Існуючі будівлі вимагають ретельного дослідження їх технічного стану і розробки ефективної схеми реконструкції та підсилення.

Метою дослідження є визначення та аналіз технічного стану існуючих протяжних кам'яних будівель, виявлення пошкоджень та дефектів конструкцій для оцінки необхідності підсилення їх сейсмостійкості.

Для оцінки технічного стану об'єктів дослідження застосовувалося натурне обстеження з фотофіксацією, аналіз наявної документації, планів.

Для оцінки технічного стану протяжних кам'яних будівель, що експлуатуються в умовах сейсмонезбезпечних територій було розглянуто декілька споруд в різних регіонах України: житловий будинок у м. Виноградів (Закарпатська обл.), будівля залізничного вокзалу у м. Козятин (Вінницька обл.) та адміністративна будівля ЦОСПП у м. Одеса.

Вивчаючи питання забудови території України, можна зробити висновок, що значна частина протяжних кам'яних будівель була збудована до 1970-х років минулого століття. Це споруди різного призначення - промислові, житлові,

адміністративні та ін. До них також належать архітектурно-історичні пам'ятки Одеси, Львову та інших міст. Вразливість протяжних кам'яних будівель до сейсмічних впливів, пошкодження конструкцій в процесі експлуатації, наявність технологічних процесів і великої кількості людей в разі землетрусу можуть стати причиною не лише значних матеріальних збитків, а і людських втрат.

В ході дослідження стану існуючих протяжних кам'яних будівель отримано результати, які підтверджують необхідність їх ретельного обстеження, підтвердженого розрахунками та розробки ефективних методів підсилення. З огляду на недостатнє вивчення проблеми постає багато нових задач для подальшого дослідження.

Ключові слова: сейсмостійкість, кладка, конструкція.

Валовой А.И., Охримчук В.Л. Оценка технического состояния протяженных каменных зданий в условиях сейсмоопасных территорий

Ежегодно на территории Украины сейсмологи фиксируют до 100 землетрясений с незначительной магнитудой. По прогнозам ученых из института геофизики НАН Украины существует большая вероятность землетрясения интенсивностью до 9 баллов за шкалой Рихтера. Вопросу сейсмостойкости зданий в последнее время уделяется большое внимание. Существующие здания требуют тщательного исследования их технического состояния и разработки эффективной схемы реконструкции и усиления.

Целью исследования является определение и анализ технического состояния существующих протяжных каменных зданий, выявления повреждений и дефектов конструкций для оценки необходимости усиления их сейсмостойкости.

Для оценки технического состояния объектов исследования применялось натурное обследование с фотофиксацией, анализ имеющейся документации, планов.

Для оценки технического состояния протяжных каменных зданий, которые эксплуатируются в условиях сейсмоопасных территорий было рассмотрено несколько сооружений в разных регионах Украины: жилой дом в г. Виноградів (Закарпатская обл.), здание железнодорожного вокзала в г. Козятин (Винницкая обл.) и административное здание ЦОСПП в г. Одесса.

Изучая вопрос застройки территории Украины, можно сделать вывод, что значительная часть протяжных каменных зданий была построена до 1970-х годов прошлого века. Это сооружения разного назначения - промыслу, жилищные, административные и др. К ним также принадлежат архитектурно-исторические достопримечательности Одессы, Львову и других городов. Уязвимость протяжных каменных зданий к сейсмическим влияниям, повреждению конструкций в процессе эксплуатации, наличие технологических процессов и большого количества людей в случае землетрясения могут стать причиной не только значительных материальных убытков, но и человеческих потерь.

В ходе исследования состояния существующих протяжных каменных зданий получены результаты, которые подтверждают необходимость их тщательного обследования, подтвержденного расчетами и разработки эффективных методов усиления. Учитывая недостаточное изучение проблемы появляется много новых задач для дальнейшего исследования.

Ключевые слова: сейсмостойкость, кладка, конструкция.

Valovoy A.I., Okhrimchuk V.L. Estimation of the technical state of extensive lithoidal building in the conditions of сейсмоопасных territories

Annually on territory of Ukraine seismologists fix to 100 earthquakes with insignificant. On of the prognoses of scientists from the institute of geophysics of НАН of Ukraine there is large probability of earthquake intensity to 9 bulk - tankers after a scale Rikhtera. Large attention is lately spared the question of seismo of firmness of of building. Existent building require careful research of their technical state and development of effective chart of reconstruction and strengthening.

A research purpose is determination and analysis of the technical state of the existent prolonged lithoidal building, exposures of damages and defects of constructions for the estimation of necessity of strengthening of their сейсмостойкости.

For of the estimation of the technical state of research objects a model inspection was used with photo fixing, analysis of present documentation, plans.

For the estimation of the technical state of the prolonged lithoidal building which are exploited in the conditions of сейсмоопасных territories a few building was considered in the different regions of Ukraine,: dwelling - house in Виноградів (Transcarpathian of обл.), building of the railway station in Козятин (Vinnytsya of обл.) and administrative building of ЦОСПП in Odesa.

Studying the question of land of Ukraine development, it is possible to draw conclusion, that considerable part of the prolonged lithoidal building was built to 1970 th of the last century. It building of the different setting - to trade, housing, administrative and other. Architectonically-historical sights of Odesa belong also to them, to Lviv and other cities. Vulnerability of the prolonged lithoidal building to seismic influences, damage of constructions in the process of exploitation, presence of technological processes and plenty of people in the case of earthquake can become reason of not only considerable material losses but also human losses.

During research of the state of the existent prolonged lithoidal building results, which confirm the necessity of their careful inspection, confirmed by calculations and developments of effective methods of strengthening, are got. Taking into account the insufficient study of problem many new tasks appear for further research.

Keywords: seismic resistance, masonry, construction.

УДК 681.513.54: 622.788

Рубан С.А. Адаптивне прогнозує керування процесом термічної обробки обкотишів з оперативним оцінюванням параметрів процесу з використанням рекурсивного алгоритму найменших квадратів

У статті розглянуто питання розробки системи адаптивного прогнозує керування процесами термічної обробки обкотишів з оперативним оцінюванням параметрів процесу з використанням рекурсивного алгоритму найменших квадратів. Розроблено модель для дослідження ефективності застосування рекурсивного алгоритму найменших квадратів у складі системи адаптивного прогнозує керування процесом термічної обробки обкотишів та виконано її моделювання у пакеті Simulink. Отримана система продемонструвала високу якість оперативного оцінювання параметрів процесу, що дозволяє рекомендувати розроблений метод формування адаптивного прогнозує керування для керування процесами термічної обробки обкотишів.

Ключові слова: адаптивне прогнозує керування, термічна обробка обкотишів, оперативне оцінювання параметрів, рекурсивний алгоритм найменших квадратів

Рубан С.А. Адаптивное прогнозирующее управление процессом термической обработки обкотишів с оперативным оцениванием параметров процесса с использованием рекурсивного алгоритма наименьших квадратов

В статье рассмотрен вопрос разработки системы адаптивного прогнозирующего управления процессами термической обработки обкотишів с оперативным оцениванием параметров процесса с использованием рекурсивного алгоритма наименьших квадратов. Разработана модель для исследования эффективности применения рекурсивного алгоритма наименьших квадратов в составе системы адаптивного прогнозирующего управления процессом термической обработки обкотишів и выполнено ее моделирование в пакете Simulink. Полученная система продемонстрировала высокое качество оперативного оценивания параметров процесса, что позволяет рекомендовать разработанный метод формирования адаптивного прогнозирующего управления для управления процессами термической обработки обкотишів.

Ключевые слова: адаптивное прогнозирующее управление, термическая обработка обкотишів, оперативное оценивание параметров, рекурсивный алгоритм наименьших квадратов

Ruban S.A. Adaptive model predictive control of thermal treatment of iron-ore pellets with online parameter estimation using recursive least square algorithm

In the article the question of developing of adaptive model predictive control system for thermal treatment of iron-ore pellets with online parameter estimation using recursive least square algorithm is considered. The model for the research of effectiveness of application of recursive least squares algorithm in the adaptive model predictive control system for thermal treatment of iron-ore pellets is developed and simulation of developed model is performed. The resulting system has demonstrated a high quality of estimation process parameters that allows us to recommend the developed method of forming adaptive predictive control for thermal treatment of iron-ore pellets.

Key words: Adaptive model predictive control, thermal treatment of iron-ore pellets, online parameter estimation, recursive least square algorithm

УДК 624.015

Паливода О.А., Жуков С.О. Дослідження сумісної роботи оболонки та ядра трубобетонних елементів зі зміцненням осердя

У даний час необхідно посилювати режим економії, ефективність використання ресурсів, знижувати матеріаломісткість в будівництві. Сучасні будівельні конструкції повинні відповідати всім вимогам економічності, ресурсозбереження, які пред'являються до будівництва. Основний напрямок їх розвитку – це скорочення витрати сталі (14-16 %), економія цементу (10-12%) і економія лісових матеріалів (12-14 %). Ці завдання можна вирішувати, в тому числі і за рахунок зниження матеріаломісткості та зменшення поперечного перерізу конструкцій, за рахунок раціонального поєднання бетону і сталі при їх спільній роботі та за рахунок застосування високоміцних матеріалів. Цим вимогам задовольняють будівельні конструкції з трубобетону. При відносно малому поперечному перерізі такі конструкції здатні витримувати значні зусилля, при цьому бетон за рахунок об'ємного напруженого стану сприймає напруги, що значно перевищують призмову міцність, що економить сталь і бетон. Застосовуючи високоміцні бетони, бетони, ущільнені пресуванням, центрифугуванням, можна отримати значну економію цементу, так як за рахунок індустріальних технологічних факторів ущільнення бетонної суміші міцність бетону значно підвищується. Підвищити міцність бетону можна і за рахунок застосування непрямого армування, що дозволяє при малій витраті сталі значно підвищити міцність конструкцій.

Удосконалення відомих ефективних способів зміцнення бетону стосовно трубобетонних конструкцій зі зміцненням осердя, придатних до індустріалізації, є актуальною і важливою задачею.

Метою представлених в даній статті досліджень було експериментальне вивчення трубобетонних елементів з бетонними ядрами, зміцненими різними методами; розробити методи розрахунку несучої здатності і напружено-деформованого стану трубобетонних елементів зі зміцненими ядрами.

Ключові слова: трубобетон, зміцнене бетонне ядро, сталева оболонка, напруження, деформації, міцність.

Паливода А.А., Жуков С.А. Исследование совместной работы оболочки и ядра трубобетонных элементов с усиленным ядром

В настоящее время необходимо усиливать режим экономии, эффективность использования ресурсов, снижать материалоемкость в строительстве. Современные строительные конструкции должны отвечать всем требованиям экономичности, ресурсосбережения, которые предъявляются к строительству. Основное направление их развития — это сокращение расхода стали (14-16%), экономия цемента (10-12%) и экономия лесных материалов (12-14%). Эти задачи можно решать, в том числе и за счет снижения материалоемкости и уменьшения поперечного сечения конструкций, за счет рационального сочетания бетона и стали при их совместной работе и за счет применения высокопрочных материалов. Этим требованиям удовлетворяют строительные конструкции из трубобетона. При относительно малом поперечном сечении такие конструкции способны выдерживать значительные усилия, при этом бетон за счет объемного напряженного состояния воспринимает напряжения, значительно превышающие призменную прочность, что экономит сталь и бетон. Применяя высокопрочные бетоны, бетоны, уплотненные прессованием, центрифугированием, можно получить значительную экономию цемента, поскольку за счет индустриальных технологических факторов уплотнения бетонной смеси прочность бетона значительно повышается. Повысить прочность бетона можно и за счет применения косвенного армирования, что позволяет при малом расходе стали значительно повысить прочность конструкций. Совершенствование известных, поддающихся индустриализации эффективных способов упрочнения бетона применительно к бетонным ядрам трубобетонных строительных конструкций является актуальной и важной задачей. Целью представленных в данной статье исследований было экспериментальное изучение трубобетонных элементов с бетонными ядрами, упрочненными различными методами; разработать методы расчета несущей способности и напряженно-деформированного состояния трубобетонных элементов с упрочненными ядрами.

Ключевые слова: трубобетон, упрочненное бетонное ядро, стальная оболочка, напряжения, деформации, прочность.

Palyvoda A.A., Zhukov S.A. Engineering calculation method of bearing capacity of the concrete filled steel tubular elements with reinforced cores

Currently, it is necessary to strengthen the economy mode, resource efficiency, reduce material consumption in the construction. Modern building construction must meet all requirements of profitability, resource that apply to construction. The main direction of development – is reducing the consumption of steel (14-16%), saving of cement (10-12%) and saving forest materials (12-14 %). These problems can be solved, including by reducing the consumption of materials and reduce the cross-sectional designs, by the judicious combination of concrete and steel when they work together, and through the use of high-strength materials. Satisfy these requirements of the concrete filled steel tubular structures constructions. With a relatively small cross-section of such structures are able to withstand considerable effort, with concrete due to the volume of stress state perceives tension significantly above the prism strength that saves steel and concrete. Applying high-strength concretes, concretes, compacted by pressing, centrifugation, can be obtained significant cement savings, since due to the industrial technology factors compacting concrete strength of the concrete is significantly increased. Increase the strength of concrete and can be due to the use of lateral reinforcement, which allows low-flow significantly increase the strength of steel structures. Perfection of known, measurable industrialization effective ways of hardening concrete in relation to the concrete cores concrete filled steel tubular structures constructions is an urgent and important task.

The purpose of this article presented research was an experimental study of concrete filled steel tubular structures elements with concrete cores, hardened by various methods; develop methods for calculating the bearing capacity and the stress-strain state of the concrete filled steel tubular structures elements with hardened cores.

Keywords: concrete filled steel tubular structures, reinforced concrete core, steel shell, stress, deformation, strength.

Гірничий вісник

Науково-технічний збірник

Випуск 100

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. 24,0 Тираж 100 прим.
Замовл. № 4. Укр., рос.*

Надруковано:
ФОП Бутова Оксана Анатоліївна
Свідоцтво ДП № 159-р від 26.03.13.
50084 м. Кривий Ріг, мкр. Ювілейний, 10/104
Тел. 401-04-29

Адреса видавництва та виготівника: 50002, Кривий Ріг, вул. Пушкіна, 44
ДВНЗ «Криворізький національний університет», науково-дослідна частина