

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ "Криворізький національний університет"

ГІРНИЧИЙ ВІСНИК

Науково-технічний збірник

Заснований у 1966 році

Випуск 99

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.; **Євтехов 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.

Випуск 99, 2015

Кривий Ріг

Зміст

| | |
|--|-----|
| <i>Здециц В.М., Сидоренко В.Д., Повар С.В., Глебенко В.В.</i> Волоконно-оптический сейсмограф с магнитной подвеской чувствительного элемента | 3 |
| <i>Близнюков В.Г., Баранов И.В., Луценко С.А.</i> Совершенствование методов определения границ карьеров | 8 |
| <i>Голик В.И., Комащенко В.И., Моркун В.С.</i> Современные способы эффективного подземного выщелачивания металлов | 13 |
| <i>Костянский А. Н., Яценко Б.Е.</i> Прогнозирование коэффициента вскрыши как показателя для определения глубины карьера с учетом затрат на энергоносители | 17 |
| <i>Рыбальченко М.А., Головки В.И., Верховская А.А., Папанов Г.А.</i> Моделирование векторного управления асинхронным электродвигателем затвора весовой воронки системы шихтоподачи доменной печи | 23 |
| <i>Тронь В.В., Маевський К.В.</i> Формування адаптивного керування процесом подрібнення залізорудної сировини в умовах невизначеності характеристик об'єкта | 27 |
| <i>Гуцин Д.В., Філіпп Ю.Б.</i> Визначення енергетичних показників електроприводів установок вакуумної металізації рулонних матеріалів | 33 |
| <i>Кондратец В.А., Мацуї А.Н.</i> Технологические предпосылки и экспериментальная основа создания средств идентификации характеристик измельчаемой руды | 35 |
| <i>Калиниченко В.О., Тарасютин В.М., Письменный С.В., Шепель О.Л.</i> Про питання зниження втрат руди на лежачому боці покладів | 42 |
| <i>Shatokha V.I., Retrenko A.L.</i> Higher engineering education for sustainable development | 45 |
| <i>Пищикова Е.В., Янова Л.А., Куценко В.А.</i> Усовершенствование процедуры получения допуска для выполнения ремонтных работ на технологическом оборудовании с электроприводом | 48 |
| <i>Хворост В.В.</i> К вопросу повышения эффективности динамического расчета несущих конструкций пролетных строений транспортных галерей при случайных колебаниях | 52 |
| <i>Паламар А.Ю., Лауфер Д.Д.</i> Аналіз методів прогнозування стійкості бортів кар'єрів та відвалів | 57 |
| <i>Гольшев А.М., Деньгуб Т.В.</i> Особенности аэродинамической устойчивости аспирационных систем и способы ее повышения | 61 |
| <i>Андрейчиков М.В.</i> Інноваційні розробки для підвищення ефективності сухого очищення повітря за допомогою ультразвуку | 65 |
| <i>Евстратенко Л. И.</i> Влияние гранулометрического состава пористой среды аэродинамических зон обрушений Кривбасса на режимы фильтрации воздуха | 69 |
| <i>Замицький О.В., Шепеленко М.І.</i> 3D-модельовання в теплоенергетиці | 75 |
| <i>Kiriyenko S. M.</i> Analysis of efficiency of biological treatment of domestic wastewater application at private locality near the southern mining and ore-dressing complex | 79 |
| <i>Суртаев В.В., Осипчук В.С.</i> Розвиток галузі геотермальної енергетики в Україні | 83 |
| <i>Шаповалов В.А.</i> Дослідження ізокінетичності руху потоку повітря в порожнині пілоприбирального насадка .. | 88 |
| <i>Осадчук Ю.Г., Козакевич И.А., Лисютенко И.Ю.</i> Анализ пульсаций электромагнитного момента двухфазного асинхронного двигателя | 95 |
| <i>Громадский А.С., Римарчук Б.И., Горбачев Ю.Г., Кузьменко Д.И.</i> Новая технология проведения подэтажных горизонтальных выработок | 99 |
| <i>Filatov S.V., Zhukov S.A., Girin I.V., Filatov A.S.</i> Decrease of iron-ore transportation cost price by supersize trucks at the expense of rolling coefficient reduction | 104 |
| <i>Максимов М.М., Філіпп Ю.Б., Рибкін Р.О.</i> Формування еквівалентного струму асинхронного двигуна з модуляцією керуючої дії | 107 |
| <i>Швагер Н.Ю., Заїкіна Д.П.</i> Сертифікація системи управління охороною праці як основа успішної політики в галузі охорони праці на підприємстві | 111 |
| <i>Губін Г.В., Губін Г.Г., Ярош Т.П.</i> До питання про переробку червоних шламів як комплексної залізовмісної техногенної сировини | 115 |
| <i>Шепель А.А.</i> Разработка энергосберегающих режимов процесса горячей прокатки широких полос | 119 |
| <i>Драбчук А.М., Калініченко Ю.П.</i> Потенціал залучення інформаційних технологій для підвищення надійності роботи конвеєрних систем | 124 |
| <i>Шмельцер Е.О., Лялюк В.П., Соколова В.П., Ляхова И.А., Кассим Д.А., Кормер М.В.</i> О влиянии качества подготовки угольных шихт на прочность и грансостав кокса | 128 |

| | |
|--|-----|
| <i>Барановская М.Л., Кузьменко А.С.</i> Анализ математических моделей распределительных сетей при ОЗЗ | 133 |
| <i>Нечаев В.П., Рязанцев А.А.</i> Анализ и оценка износа зубчатых передач рудоразмельных мельниц и разработка технологии повышения их срока службы | 139 |
| <i>Паршин А.В., Харченко С.А., Астахов В.И., Гирин И.В., Жуков С.А.</i> Исследование сопротивляемости элементов болтовых соединений хрупким разрушениям | 145 |
| <i>Тимошенко М.А.</i> Методи контролю якості руди в умовах гірничо-збагачувального комбінату | 150 |
| <i>Котов І.А.</i> Інтелектуалізація програмних систем для формування ефективних груп розробників програмного забезпечення | 154 |
| <i>Моркун В.С., Бурнас П.В.</i> Розробка системи управління ресурсами вишу при складанні розкладу занять | 159 |
| <i>Рудь Ю.С., Радченко И.С., Малиновская С.И., Белоножко В.Ю.</i> О влиянии формы и структуры наночастиц магния на спектры поглощения света | 165 |
| <i>Моркун В.С., Тронь В.В., Паранюк Д.И.</i> Интерпретация косвенной информации для построения модели геологической структуры при автоматизации процесса управления бурением разведочных скважин | 170 |
| <i>Олійник Т.А., Хмель І.В., Коржан І. А., Олійник М.О.</i> Особливості процесу рудопідготовки на ПАТ «ПівніГЗК» | 174 |
| <i>Шолох М.В., Капуста В.В., Сергеева А.А.</i> Геофізичні спостереження за стійкістю гірських порід на кар'єрі № 1 ПАТ «ЦГЗК» | 180 |
| <i>Анотації</i> | 187 |

В.М. ЗДЕЩИЦ, В.Д. СИДОРЕНКО, доктора техн. наук, проф.,
С.В. ПОВАР, канд. пед. наук, доц.,
В.В. ГЛЕБЕНКО, ассистент, Криворожский национальный университет

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ СЕЙСМОГРАФ С МАГНИТНОЙ ПОДВЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА

Разработан чувствительный волоконно-оптический сейсмограф на магнитной подвеске инерционной массы, которая размещается в области пересечения противоположно направленных силовых линий магнитного поля кольцевого магнита. Конструкция обеспечивает условия для равновесия чувствительного элемента сейсмического датчика без контакта с его корпусом и демпфирования при возникновении сейсмических колебаний. Основное назначение разработанного сейсмографа – дистанционное измерение микросмещений контролируемой поверхности и решения, таким образом, задачи регистрации микросейсмических колебаний. Помехоустойчивость к электромагнитным наводкам, устойчивость к радиационному излучению является достоинством разработанного волоконно-оптического сейсмографа. Это позволяет устанавливать его при необходимости в непосредственной близости от ядерной реакторной установки, а также в хранилищах радиоактивных и токсичных отходов. Волоконно-оптическая система передачи позволяет без ретрансляции доставлять аналоговую информацию на десятки километров без искажения. В работе приводится экспериментально определенная аналитическая зависимость между мощностью измеряемого отражённого светового потока и величиной смещения породы. Показано, что перпендикулярные измеряемому направлению колебания не вносят дополнительную погрешность в результаты измерений. В работе приведены также результаты метрологических испытаний опытного образца сейсмографа.

Ключевые слова: сейсмоприемник, волоконно-оптический сейсмограф, магнитная подвеска, микросейсмы, упругие волны, амплитудно-частотные характеристики.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Сейсмические датчики в настоящее время применяются для решения научных и практических задач в самых разных областях науки и производства. Так, при традиционной сейсморазведке в частотном диапазоне от 10 до 120 Гц сейсмоприемники используют для регистрации отраженных и преломленных волн. С их помощью исследуют прохождение в земной коре упругих волн с частотой в пределах 1 Гц, регистрируя волны до 2-3 кГц, определяют области залегания солей.

В последние годы возникла проблема поиска мест для захоронения радиоактивных и токсичных отходов с необходимостью контроля их долговременной устойчивости. Решение задачи прогнозирования возможных катастрофических геодинамических явлений, связанных с релаксацией горных пород в зоне хранилища, невозможно без применения сети сейсмических датчиков. Метод неразрушающего мониторинга устойчивости подземных хранилищ основан на дистанционном наблюдении кинетики накопления сейсмических событий с помощью сейсмических датчиков.

Подобные задачи решаются и в атомной промышленности. Для обеспечения аварийной остановки реактора при землетрясениях предусматривается применение помехоустойчивой системы сейсмометрического контроля с помощью регистрации колебаний на уровне подошвы здания реакторной установки, т.е. на значительном удалении от объекта повышенной опасности.

Для Кривбасса проблема прогноза опасных проявлений горного давления имеет социально-экономическое значение. В связи с переходом горных работ на более глубокие горизонты вовлечены в разработку месторождения железной руды с неблагоприятными горно-геологическими условиями, ведется выемка полезных ископаемых из целиков. В связи с чем увеличиваются нагрузки на очистной забой. Проявления горного давления отрицательно влияют на технико-экономические показатели работы шахт, повышают уровень риска обрушений в подземных выработках и провалов дневной поверхности. Решение этой проблемы во многом зависит от оперативности осуществления контроля за проявлением горного давления и размеров области мониторинга.

Применяемые в настоящее время механические (электродинамические) сейсмоприемники имеют столь высокую цену, что их применение для масштабного мониторинга нерентабельно. Разработка базовой конструкции сейсмоприемника на основе магнитного подвеса, которая явилась бы технологичной и универсальной для изготовления всех групп и типов сейсмоприемников, обладающих, в то же время, повышенной чувствительностью, точностью регистрируемых параметров и одновременно - невысокой стоимостью, является в настоящее время актуальной задачей.

Анализ исследований и публикаций. Образование трещин в несущих целиках или развитие карстовых полостей вызывает генерацию крайне слабых сейсмических событий, минимальная магнитуда которых достигает -2 [1].

Сейсмологический мониторинг является общепризнанным инструментом для контроля геодинамической ситуации. Он применяется на рудниках Южной Африки, Австралии, США, Канады, Франции, Польши, Великобритании, Германии и др. [2-4]. Возможность создания информационного центра для маркшейдерско-геодезического обеспечения горных работ в Криворожском бассейне рассматривалась еще в 1997 году [5]. В настоящее время в НИГРИ ведутся интенсивные разработки геоинформационной станции непрерывного слежения за геодинамической ситуацией в регионе [6].

Как показал опыт работы на рудниках и карьерах Южной Африки и Австралии [1, 7-14], принципиальными особенностями построения систем шахтного мониторинга являются:

- большое количество пространственно распределенных сейсмодатчиков (до 20 шт/км²);
- обеспечение регистрации сейсмических событий в диапазоне магнитуд: $-2.0 < M < +5.0$;
- динамический диапазон системы мониторинга - 180 дБ;
- диапазон частот регистрируемых событий [2]

$$v_o = \frac{2,34 v_s}{2\pi} \sqrt[3]{\frac{16 \Delta \sigma}{7 \mu P}} = 0,2 \div 500 \text{ Гц} , \quad (1)$$

где v_o - угловая частота, $\Delta \sigma$ – сброс напряжения, v_s - скорость S-волн.

Обеспечить покрытие такого широкого динамического диапазона при помощи преобразователя одного типа, как показывает практика, невозможно.

Характеристики некоторых сейсмических датчиков - велосиметров, применяемых в системе микросейсмического мониторинга, приведены в табл. 1:

В качестве велосиметров чаще всего применяют электродинамические сейсмоприемники – устройства, в которых происходит преобразование сейсмических колебаний в электрические сигналы вследствие перемещения катушки в магнитном поле постоянного магнита. Другие типы

Таблица 1

Характеристики сейсмических датчиков

| Датчик | Частотный диапазон, Гц | Коэффициент преобразования, В/(м/с) |
|---------------|------------------------|-------------------------------------|
| СМЗ-ОС | 0.02 – 10 | 2000 |
| СМЗ-КВ | 0.5 – 50 | 200 |
| Sercel L4C-3D | 1 – 70 | 250 |
| ISSI G4.5 | 4.5 – 2000 | 30 |
| GS20DX | 10 – 250 | 20 |
| ISSI G14HS | 14 – 2000 | 80 |

Датчики ISSI G4.5, ISSI G14HS, GS20DX можно устанавливать в скважины.

Уровень собственных шумов сейсмодатчиков - порядка 10^{-7} м/с (у GS20DX, применяемого в местах с высоким уровнем микросейсмического шума - 10^{-6} м/с).

Системы сейсмологического мониторинга обычно содержат:

- сейсмические датчики;
- регистратор для приема сигналов с датчиков;
- системы передачи данных;
- системы хранения данных и представления их для обработки.

Общемировой стандарт предполагает расположение регистратора непосредственно рядом с датчиком, преобразование сигнала с датчика в цифровой вид, привязку к единому времени и передачу цифровых данных в центр сбора. Опыт эксплуатации цифровых систем регистрации показал, что практически все они обладают тремя недостатками:

- случайная потеря временной синхронизации;
- зависание по причине помех на линии связи;
- низкая помехоустойчивость по отношению к питающему напряжению.

Для преодоления трудностей, связанных со сбором данных в условиях рудников, в работе [1] преобразование непрерывного сигнала с датчика проводилось в центре сбора данных с применением многоканальных аналого-цифровых преобразователей. Сигнал с подземных датчиков

передавался в центр сбора данных посредством телеметрии. Привязка к единому времени осуществлялась при оцифровке сигнала на поверхности, причем кроме времени GPS принимались во внимание внутренние часы компьютера и АЦП. В рамках этой концепции была разработана высоконадежная телеметрическая система передачи непрерывных сигналов с сейсмодатчиков ТМЗ.

Система обеспечивает частотный диапазон $0.2 \div 200$ Гц и динамический диапазон до 90 дБ. Телеметрия характеризуется высокой устойчивостью к электрическим помехам на линии питания и большой дальностью передачи сигнала (более 15 км). Требования к качеству линии минимальны: частотный диапазон $300 \div 3000$ Гц.

Опыт использования системы в течение более десяти лет показал надежную регистрацию и интерпретацию всех локальных сейсмических явлений с магнитудой от -0.5 до $+2$. Анализ спектра сигналов от локальных сейсмических явлений показывает, что их основная энергия распределена в диапазоне от 1 до 60 Гц.

Постановка задачи. Основные проблемы, возникающие при регистрации микросейсмических событий, - это микросейсмический шум от самых разных источников и электромагнитные помехи, влияющие как на работу сейсмического датчика так и на прохождение информационного сигнала от него до записывающей аппаратуры.

Обращает внимание на себя тот факт (см. табл. 1), что для измерения микросейсмических волн повсеместно используются велосиметры-измерители скорости колебаний. Собственно сейсмографов - сейсмических датчиков, которые могут дистанционно (за десятки километров) измерить смещение горной породы с микрометрической точностью, не существует. С целью полного исключения электромагнитных помех и возможности измерения микросейсмических колебаний с амплитудой порядка 1 мкм разработана система измерения и конструкция сейсмического датчика, основанная на волоконно-оптических технологиях.

Изложение материала и результаты. Как известно [15], оптические волокна не подвержены влиянию электромагнитного поля и могут передать аналоговую информацию на сотни километров без ретрансляции.

Конструкция волоконно-оптического сейсмографа с магнитной подвеской чувствительного элемента и система передачи сейсмической информации представлена на рис. 1 (устройство перспективных сейсмо-приемников отображено в [16-19]).

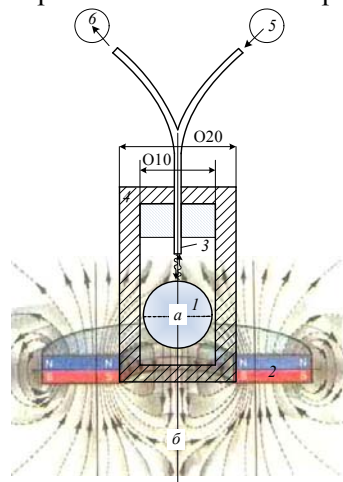


Рис. 1. Конструкция волоконно-оптического сейсмографа

Здесь цифрой 1 обозначен чувствительный элемент - железный шарик с зеркальной светоотражающей поверхностью, цифрой 2 - кольцевой постоянный магнит, 3 - оптическое волокно, 4 - корпус датчика, 5 - светоизлучающий диод (лазер) оптического тестера, 6 - фотоприемник. Железный шарик размещается в области (а или б) пересечения противоположно направленных силовых линий магнитного поля кольцевого магнита.

Принцип работы датчика заключается в измерении расстояния S между инерционной массой (шариком) свободно подвешенном в магнитном поле постоянного магнита и торцом оптического волокна, связанным с корпусом датчика. Расстояние S соответствует величине смещения ΔZ горной породы в месте установки датчика. График зависимости мощности светового излучения, падающего на фотоприемник после отражения от шарика, от величины зазора между шариком и торцом световода приведен на рис. 2.

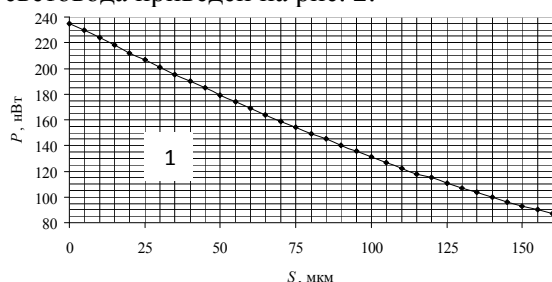


Рис. 2. Зависимость мощности светового излучения P , отраженного от шарика, от величины зазора S

Найденная зависимость мощности светового излучения с длиной волны $\lambda=0,85$ мкм, падающего на фотоприемник, квазилинейная в области $S \leq 130$ мкм (величина достоверности аппроксимации $R^2=0,9962$) и описывается выражением (при максимальной мощности $P_{\max}=231$ нВт)

$$P = P_{\max} + kS, \quad (2)$$

где $k = \frac{\Delta P}{\Delta S}$; $k = -1 \frac{\text{нВт}}{\text{мкм}}$.

Отсюда

$$S = k_1(P - P_{\max}), \quad (3)$$

где $k_1 = \frac{1}{k} \approx -1 \frac{\text{мкм}}{\text{нВт}}$.

Таким образом, открывается возможность по измеренной величине мощности света, отраженного от шарика, определять величину изменения зазора ΔS , что равнозначно смещению горной породы на ΔZ .

Как видно из графика, смещение корпуса датчика относительно инерционной массы на 1 мкм приводит к уменьшению световой мощности примерно на 1 нВт. Абсолютная погрешность измерения мощности светового излучения современными оптическими тестерами составляет величину $\Delta P = \pm 0,2$ нВт, что, безусловно, обеспечивает измерение смещений не хуже 1 мкм: $\Delta S = \frac{\Delta P}{k} = \mp 0,2$ мкм.

Рассмотрим принцип действия измерительной системы. Свет от источника светового излучения 5 по одному из рукавов волоконно-оптического разветвителя 3 достигает объединенного торца, выходит в зазор и, отразившись от поверхности шарика, попадает по другому рукаву разветвителя на фотоприемник 6, электрический сигнал с которого проходит в блок усиления и регистрации.

Как видно из графика (рис. 2), положение инерционной массы по отношению к торцу световода определяется однозначно. Изменение величины зазора S при колебаниях приведет к соответствующей модуляции потока отраженного от шарика света, измерив который мы получим зависимость смещения горной породы от времени.

На рис. 3 приведена зависимость интенсивности отраженного светового потока от ортогонального смещения шарика относительно оси световода на величину x . Диаметр шарика 0,5; 1; 2 мм проставлен возле каждого графика.

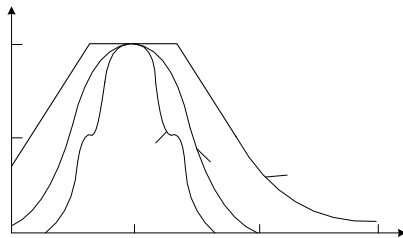


Рис. 3. График зависимости мощности светового потока от ортогонального смещения шарика

Как видно, увеличение радиуса шаровой поверхности приводит к уменьшению влияния ортогональных смещений шарика на измерение величины зазора и для диаметра 10 мм это влияние можно не учитывать.

Опытный образец разработанного волоконно-оптического сейсмографа (рис.4) прошел испытания в паре с метрологически аттестованным велосиметром СВ-10Ц и пьезоэлектрическим датчиком.

Рис. 4. Волоконно-оптический сейсмограф

паре с метрологически аттестованным



Результаты испытаний приведены на рис. 5.

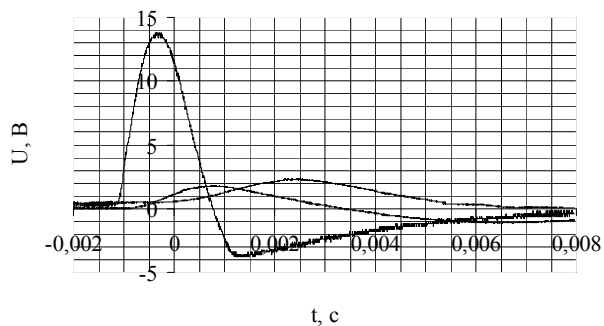


Рис. 5. Оциллограммы колебаний, зарегистрированные пьезодатчиком (1), волоконно-оптическим сейсмографом (2), закрепленных на корпусе велосиметра СВ-10Ц (3)

При длительности фронта ударной нагрузки 1 мс реакция волоконно-оптического сейсмографа наблюдается через 0,5 мс со сдвигом по фазе относительно велосиметра, чего и следует ожидать с физической точки зрения.

Выводы и направление дальнейших исследований. Разработанный волоконно-оптический сейсмограф соответствует своему предназначению, а именно дистанционному измерению слабых сейсмических сигналов.

Помехоустойчивость к электромагнитным наводкам, устойчивость к радиационному излучению также является его достоинством.

Дальнейшие исследования необходимо провести в плане изучения влияния переменных электромагнитных полей на стабильность рабочей точки и чувствительность сейсмографа.

Список литературы

1. **Бутырин П.Г.** Разработка многоуровневой системы сейсмологического мониторинга на территории Верхнекамского месторождения калийных солей / П.Г. Бутырин. – Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2012. – 23с.
 2. **Mendecki A.J.** Seismic monitoring in mines. – Cambridge: Chapman and Hall, 1997. – 270 с.
 3. **Маловичко Д.А., Линч Р.Э.** Микросейсмический мониторинг бортов карьеров / Вестник МГТУ, том 12, №4, 2009. с. 644-653.
 4. **Lynch R.A., Wuite, R., Smith B.S., Cichowicz A.** Micro-seismic monitoring of open pit slopes // Proc. of the 6th Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines, ed. Y.Potvin and M.Hudyma. – ACG: Perth, 2005. – pp.581-592.
 5. **Сидоренко В.Д.** О создании информационного центра для маркшейдерско-геодезического обеспечения горных работ / В.Д.Сидоренко // Проблемы горнодобывающей промышленности металлургического комплекса Украины: сб. научн. тр. – Кривой Рог: НИГРИ, 1997. – С. 56–59.
 6. **Вилкул Ю. Г., Ступник Н. И., Бабец Е.К., Сова А. А.** Создание региональной системы геомеханического мониторинга состояния массивов горных пород в зонах влияния пустот. Горный журнал. М., 2013. С. 98-101.
 7. **Иванова Ю.В.** Опыт исследования строения верхней части земной коры по низкочастотным микросейсам // Восьмая Уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. Пермь: Горный институт УрО РАН, 2007. С. 107-110.
 8. **Куксенко В.С.** Модель перехода от микро- к макроразрушению твердых тел // Физика прочности и пластичности. JL, 1986. С. 36-41.
 9. **Машатков Б.Ц., Мансуров В.А., Куксенко В.С., Савельев В.Н.** Связь между накоплением микротрещин и макродеформацией при одноосном сжатии горных пород. Физика и механика разрушения горных пород, Фрунзе, Илим, 1983, С.77-84.
 10. **Mansurov V. A.** Prediction of Rockbursts by Analysis of Induced Seismicity Data // Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sci., 2001. Vol. 38, №. 6. P. 893-901.
 11. **Hardy H.R.,** Application of AE technique to rock and rock structure, in: Acoustic Emission in Geotechnical Engineering Practice, (1981), pp4-92
 12. **Ma Zonglin, Fu Zhengxiang, Zhang Yingzhen et al.** Earthquake prediction. B. etc. Seismol. Press: Springer, 1989, 332 p
 13. **Wyss M., Habennann R.E.** Precursory seismic quiescence. PAGEOPH. 1988.Vol. 126. N2/4. P.319-332.
 14. **Th. Förster,** Experimentale und theoretische Untersuchung des zwischenmolekularen Übergangs von Elektronenanregungsenergie. Z. Naturforsch. Abf. A, (1949), Bd 4, S. 321-327
 15. **Окоси Т.** и др. Волоконно-оптические датчики – Л.:Энергоатомиздат, 1990 - 256с.
 16. **Андреев А.Г., Ермаков В.С., Петров Ю.П.** Построение перспективного класса сейсмоприемников на основе бесконтактных подвесов // Приборы и Системы. Управление. Контроль. Диагностика. № 11. М.: Науч.-техлитиздат, 2000. С. 46-49.
 17. А.С. 1436079 СССР, МКИ G 01 V 1/16. Сейсмоприемник / **Петров Ю.П., Мифтахутдинов Р.К., Новоселицкий В.М., Орлов Л.К., Петрова Л.С., Рочев С.С.** // Открытия. Изобретения. № 41. 1988. С. 186.
 18. **Башилов И.П., Волосов С.Г., Зубко Ю.Н., Королёв С.А., Николаев А.В.** Автономный портативный сейсмоприёмник с цифровой регистрацией для сейсмологических исследований // Вестник НЯЦ РК. Вып.3 (39). Курчатова: НЯЦ РК, 2009. С. 29-32.
 19. **Башилов И.П., Волосов С.Г., Зубко Ю.Н., Королёв С.А., Солдатенков А.М.** Приборы для исследований микросейсмического волнового поля в геосистемах. // Триггерные эффекты в геосистемах. М.: ГЕОС, 2010. С. 249-255.
- Рукопись поступила в редакцию 20.03.15

В.Г. БЛИЗНЮКОВ, д-р техн. наук, проф.,
И.В. БАРАНОВ, С.А. ЛУЦЕНКО, кандидаты техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ КАРЬЕРОВ

В статье рассматривается вопрос определения конечных контуров карьеров. Описана одна из проблем разработки железорудных месторождений на современном этапе развития открытых горных работ, которая заключается в том, что на большинстве карьеров их рабочие контуры по поверхности достигли проектных отметок. В этих условиях необходима переоценка возможностей сырьевой базы для дальнейшей работы горных предприятий. Выполнен анализ научных достижений в решении вопроса определения конечных контуров карьеров. Приведен общеизвестный принцип определения границ открытых горных работ, сущность которого заключается в определении границ на основе сравнения допустимой себестоимости добычи руды с ожидаемой по проектируемому карьере. На примере карьеров, которые отражают характерные особенности разработки крутопадающих месторождений Украины, продемонстрировано влияние текущих коэффициентов вскрыши действующих карьеров на граничный коэффициент вскрыши, который служит главным критерием при определении границ открытых горных работ для проектируемых карьеров. Разработана методика определения границ карьеров, которая предусматривает применения граничного коэффициента вскрыши как величины не постоянной, а изменяющейся во времени, и такой, которая зависит от изменения текущих коэффициентов вскрыши на карьерах-конкурентах. В результате усовершенствована теория в области определения конечных контуров карьеров. Новая методика отличается от известных учетом изменения граничного коэффициента вскрыши во времени, а также определением влияния технологических показателей карьеров-конкурентов на конечную глубину проектируемого карьера.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время, при разработке крутопадающих железорудных месторождений, на большинстве карьеров их рабочие контуры по поверхности достигли проектных отметок. Развитие горных работ происходит только при их понижении. В таких условиях разработки месторождений необходима оценка возможностей сырьевой базы для дальнейшего развития горного предприятия.

Как показывает практика, глубину и положение конечных контуров большинства крупных карьеров по мере отработки месторождений полезных ископаемых неоднократно пересматривают и корректируют. Однако обязательным является определение конечных контуров отработки карьеров, при которых разработка месторождений открытым способом будет эффективна. Особенно остро этот вопрос возникает при проектировании нового горного предприятия, когда уже работают подобные горнорудные предприятия.

Анализ исследований и публикаций. Значительные достижения [1-5] в теории проектирования границ открытых горных работ принадлежат В.В. Ржевскому, В.С. Хохрякову, А.И. Арсентьеву, М.С. Четверику, В.Г. Близнюкову. В последнее время проводились исследования по определению перспективных границ отработки карьеров: НИГРИ [6-7]; АГН Украины [8] и ГВУЗ «КНУ» [9]. В них определение граничного коэффициента вскрыши выполнялось на основе сравнения показателей работы исследуемого предприятия с показателями предприятий с подземным способом разработки, а также с показателями подобных горно-обогатительных комбинатов. Цена товарной руды (продукции), которая зависит от ее качества, всегда определяла границы открытых горных работ. Однако на различных горнодобывающих предприятиях товарная продукция одного и того же качества может иметь различную цену реализации, что в свою очередь может внести ошибку при определении конечных контуров карьеров. Поэтому в работе [10] было доказано влияние договорных факторов на цену товарной продукции, что делает неточным применение существующих методов определения конечных контуров карьеров. Разработанная методика позволяет привести цены по стоимости одного процента железа в тонне концентрата и избежать влияния субъективных факторов при определении границ открытых горных работ.

Постановка задач. При определении границ карьеров граничный коэффициент вскрыши рассчитывается по технико-экономическим показателям, которые достигнуты на момент проектирования и его величина является постоянной. Анализ работы горнообогатительных комбинатов показал, что их экономические показатели и коэффициенты вскрыши со временем изменялись.

Поэтому была поставлена цель доказать что граничный коэффициент вскрыши величина не постоянная, а изменяющаяся во времени и от этого будет существенно зависеть конечная глубина отработки карьера.

Изложение материалов и результаты. Экономической основой всех расчетных принципов определения границ карьеров является сравнение допустимой себестоимости добычи руды (c_d) с ожидаемой по проектируемому карьере c_{np} , которое выражается неравенством

$$c_d \geq c_{np}, \text{ грн/т.} \quad (1)$$

Следует отметить, что за допустимую себестоимость принимают себестоимость руды одного из базовых горнодобывающих предприятий-конкурентов с открытым способом разработки месторождений. Причем, допустимая себестоимость руды принимается таковой, какой она есть на момент проектирования нового карьера или реконструкции уже действующего. Ожидаемую себестоимость руды по проектируемому карьере рассчитывают в зависимости от величины коэффициента вскрыши n_{np} по формуле, грн/т

$$c_{np} = a + b \cdot n_{np}, \quad (2)$$

где a – себестоимость добычи руды без затрат на вскрышные породы, грн./т; b – затраты на вскрышу, грн./м³; n_{np} – коэффициент вскрыши в проектируемом карьере, м³/т.

После подстановки ожидаемого значения себестоимости добычи руды и преобразования неравенства (1), формула (2) примет следующий вид, м³/т

$$\frac{c_d - a}{b} = n_{np}. \quad (3)$$

Левая часть в выражении (3) определяет величину граничного коэффициента вскрыши $n_{г}$ и тогда с учетом выражений (1,2,3) получим неравенство, м³/т

$$n_{г} \geq n_{np}. \quad (4)$$

Исходя из изложенного, условие конкурентоспособности проектируемого карьера можно сформулировать следующим образом: *коэффициент вскрыши по проектируемому карьере не должен превышать граничного коэффициента вскрыши.*

Следует отметить, что в нормативных документах, регламентирующих работу горнодобывающих предприятий с открытым способом разработки [11], расчетный граничный коэффициент вскрыши для определения конечной глубины карьера принимается величиной постоянной.

Приняв для расчета граничного коэффициента вскрыши показатели одно из действующих горнодобывающих предприятий открытым способом (предприятие-конкурент), по выражению (3) получили значение граничного коэффициента вскрыши равное 1,08 м³/т или 3,6 м³/м³ (для дальнейших исследований будем принимать величину граничного коэффициента вскрыши с размерностью м³/м³).

Однако это базовое предприятие-конкурент продолжает свою работу, и с течением времени будут изменяться его экономические показатели, в нашем случае - себестоимость руды.

Причиной этому является изменение текущих коэффициентов вскрыши в большую или меньшую стороны.

Рассмотрим на примере двух условных базовых карьеров-конкурентов возможные изменения текущих коэффициентов вскрыши (рис. 1,2).

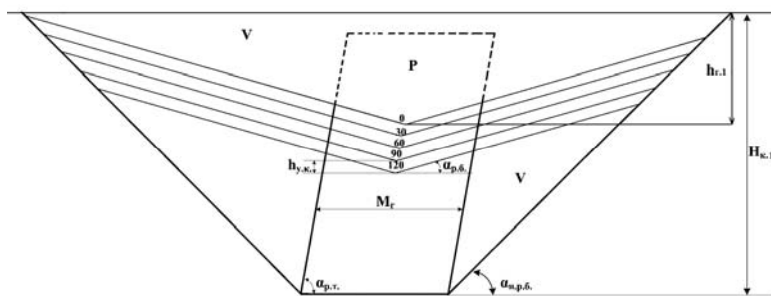


Рис. 1. Карьер-конкурент № 1: V - вскрышные породы; P - руда; $h_{г.1}$ - современная глубина горных работ; $h_{у.к.}$ - шаг понижения горных работ; $\alpha_{р.б.}$ - угол откоса рабочего борта карьера; $\alpha_{н.р.б.}$ - угол откоса проектного борта карьера; $\alpha_{р.т.}$ - угол падения рудной залежи; $M_{г1}$ - горизонтальная мощность залежи; $H_{к1}$ - конечная глубина карьера; 0, 30, 60, 90, 120 - этапы понижения горных работ в карьере

Условный базовый карьер-конкурент № 1 разрабатывает рудную залежь, у которой: угол падения составляет 80°; горизонтальная мощность - 350 м; протяженность - 2700 м. Параметры этого карьера составляют: угол откоса рабочего борта - 16°; угол откоса проектного борта - 45°; конечная глубина карьера 630 м.

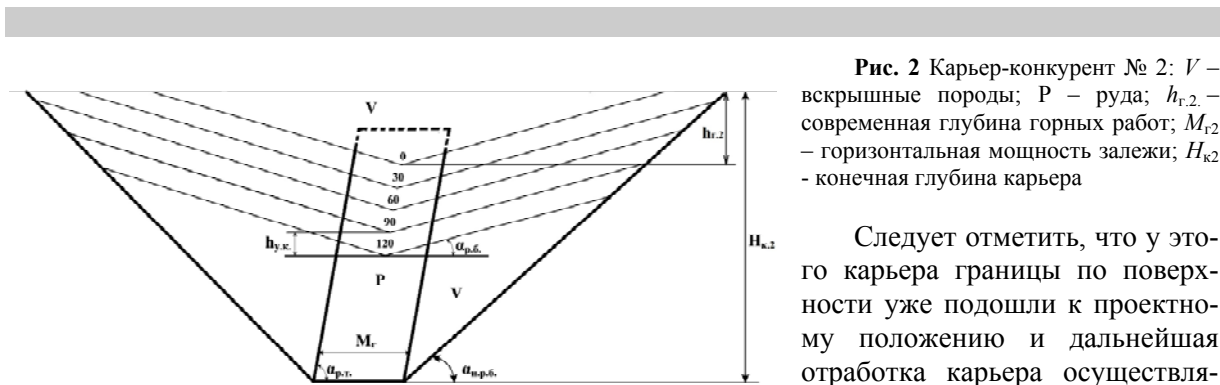


Рис. 2 Карьер-конкурент № 2: *V* – вскрышные породы; *P* – руда; $h_{г.2.}$ – современная глубина горных работ; $M_{r,2}$ – горизонтальная мощность залежи; $H_{к,2}$ – конечная глубина карьера

Следует отметить, что у этого карьера границы по поверхности уже подошли к проектному положению и дальнейшая отработка карьера осуществляется с развитием горных работ

только в глубину.

Условный базовый карьер-конкурент № 2 (рис. 2) разрабатывает рудную залежь, у которой: угол падения составляет 80° ; горизонтальная мощность - 120 м; протяженность - 4500 м. Параметры этого карьера составляют: угол откоса рабочего борта - 16° ; угол откоса проектного борта - 45° ; конечная глубина карьера - 345 м.

У условного базового карьера-конкурента № 2, в отличие от рассматриваемого условного базового карьера-конкурента № 1, границы по поверхности еще не подошли к проектному положению и дальнейшая отработка карьера осуществляется с развитием горных работ, как в горизонтальном направлении, так и в глубину.

На представленных рис. 1 и 2 цифрами 0, 30, 60, 90, 120 обозначены этапы понижения горных работ в условных базовых карьерах-конкурентах через каждые 30 м. Положение рабочего борта карьера на этапе «0» характеризует текущее состояние горных работ в карьере и служит отправной точкой для дальнейших исследований их развития.

Причем положение рабочих бортов условных базовых карьеров-конкурентов на нулевом этапе подобраны так, чтобы рудные тела были подсечены на всю горизонтальную мощность, а величина текущих коэффициентов была такой же, как и величина рассчитанного граничного коэффициента вскрыши.

Для определения конечной глубины отработки будущего (условного проектируемого) карьера выбран характерный разрез по месторождению, намеченному для эксплуатации у которого: угол падения составляет 80° ; горизонтальная мощность - 230 м; протяженность - 3200 м.

Как на условных базовых карьерах-конкурентах № 1 и № 2, так и для условного проектируемого карьера от положения рабочих бортов на нулевом этапе отстраиваем их дальнейшее положение по этапам развития горных работ через каждые 30 м по глубине. На каждом этапе выполняем замеры объемов руды и вскрышных пород с определением текущих коэффициентов вскрыши.

Строится график изменения текущих коэффициентов вскрыши по этапам понижения горных работ условных базовых и условного проектируемого карьеров (рис. 3). Также на графике отстраиваем линию рассчитанного граничного коэффициента вскрыши (линия 1).

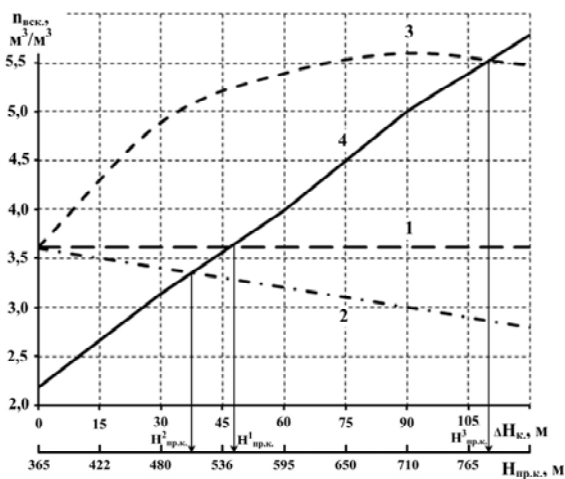


Рис. 3 График зависимости коэффициентов вскрыши от понижения горных работ по этапам углубки карьеров с определением конечной глубины отработки условного проектируемого карьера: 1 – граничный коэффициент вскрыши; 2 – текущий по условному базовому карьеру № 1; 3 – текущий коэффициент вскрыши по условному базовому карьеру № 2; 4 – текущий коэффициент вскрыши по условному проектируемому карьеру

Исходя из принятых горно-геологических условий разработки условных месторождений, текущий коэффициент вскрыши при дальнейшей работе условного базового карьера № 1 будет уменьшаться. При дальнейшей работе условного базового карьера № 2 будет увеличиваться до достижения проектных границ карьера по поверхности, а затем постепенно снижаться. Такое изменение текущих коэффициентов вскрыши показано на рис. 3 линиями 2 и 3.

В данных случаях текущие коэффициенты вскрыши условных базовых карьеров № 1 и № 2 будут также являться граничными коэффициентами для условного проектируемого карьера.

Пересечение этих линий (линии 1,2,3 на рис. 3) с линией текущих коэффициентов вскрыши по условному проектируемому карьере (линия 4 на рис. 3) дает решение определения конечной глубины отработки условного проектируемого карьера.

Как видно из представленного графика (см. рис. 3) для условного проектируемого карьера существует три значения конечной глубины его отработки: $H_{пр.к}^1$ - конечная глубина отработки карьера, определенная по граничному коэффициенту вскрыши и составляет 560 м; $H_{пр.к}^2$ - конечная глубина отработки карьера, определенная по текущим коэффициентам вскрыши условного базового карьера № 1 и составляет 485 м; $H_{пр.к}^3$ - конечная глубина отработки карьера, определенная по текущим коэффициентам вскрыши условного базового карьера № 2 и составляет 800 м.

Графическое решение определения конечной глубины отработки условного проектируемого карьера представлено на рис. 4.

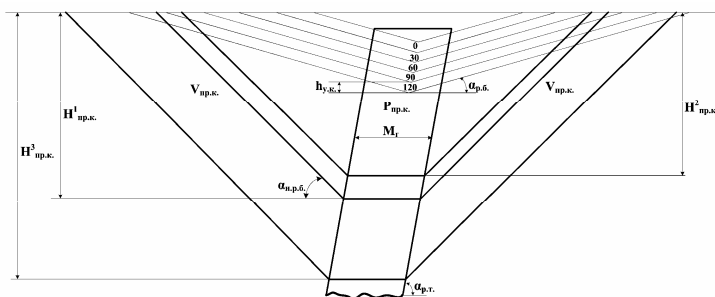


Рис. 4 Поперечный разрез месторождения, которое будет разрабатываться условным проектируемым карьером: $V_{пр.к.}$ – вскрышные породы в проектных контурах карьера; $P_{пр.к.}$ – руда в проектных контурах карьера; $H_{пр.к.}^1$ – конечная глубина отработки карьера, определенная по граничному коэффициенту вскрыши; $H_{пр.к.}^2$ – конечная глубина отработки карьера, определенная по текущим коэффициентам вскрыши условного базового карьера-конкурента № 1; $H_{пр.к.}^3$ – конечная глубина отработки карьера, определенная по текущим коэффициентам вскрыши условного базового карьера-конкурента № 2

отработки карьера, определенная по текущим коэффициентам вскрыши условного базового карьера-конкурента № 2

Из этого следует, что отклонение конечной глубины отработки условного проектируемого карьера, определенной на основе сравнения его текущих коэффициентов вскрыши с текущими коэффициентами вскрыши условных базовых карьеров-конкурентов, от конечной глубины отработки определенной по граничному коэффициенту вскрыши составляет от 14 до 45 %.

Из изложенного следует, что для определения границ проектируемого карьера граничный коэффициент вскрыши необходимо определять с учетом возможного изменения объемов выемки вскрышных пород и добычи руды на базовых предприятиях-конкурентах, т.е. с учетом изменения их текущих коэффициентах вскрыши.

Для подтверждения этого были проанализированы проектные данные по карьерам Кривбасса, которые представлены в таблице.

Таблица

Текущие коэффициенты вскрыши на карьерах Кривбасса в 2010-2020 гг.

| Карьер | Годы эксплуатации | | | | | | | | | | |
|--------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| ИнгОК | 0,40 | 0,40 | 0,45 | 0,56 | 0,60 | 0,66 | 0,73 | 0,81 | 0,85 | 0,92 | 0,95 |
| АМКР | 0,29 | 0,29 | 0,29 | 0,29 | 0,28 | 0,29 | 0,28 | 0,28 | 0,27 | 0,26 | 0,26 |
| АМКР №2-бис | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,23 | 0,22 | 0,23 | 0,21 | 0,21 | 0,20 | 0,17 | 0,16 |
| АМКР №3 | 0,33 | 0,33 | 0,32 | 0,32 | 0,31 | 0,32 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 0,31 |
| ЮГОК | 0,37 | 0,30 | 0,26 | 0,22 | 0,22 | 0,19 | 0,19 | 0,16 | 0,16 | 0,13 | 0,13 |
| ЦГОК | 1,36 | 1,46 | 1,56 | 1,60 | 1,73 | 1,73 | 1,73 | 1,69 | 1,69 | 1,69 | 1,69 |
| ЦГОК №1 | 1,19 | 1,19 | 1,24 | 1,29 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,60 |
| ЦГОК №3 | 1,07 | 1,30 | 1,40 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 |
| ЦГОК №4 | 3,00 | 2,98 | 3,25 | 3,07 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| СевГОК | 1,07 | 1,01 | 1,03 | 1,05 | 1,14 | 1,07 | 1,01 | 1,00 | 0,97 | 0,93 | 0,87 |
| Анновский | 1,68 | 1,50 | 1,54 | 1,55 | 1,53 | 1,40 | 1,33 | 1,31 | 1,26 | 1,18 | 1,10 |
| Первомайский | 0,77 | 0,77 | 0,78 | 0,80 | 0,94 | 0,90 | 0,85 | 0,85 | 0,83 | 0,80 | 0,76 |

Как видно из представленных таблицы и графика (рис. 5), текущие коэффициенты вскрыши на базовых предприятиях постоянно изменяются с течением времени. Кроме того, видно,

что показатели каждого отдельного предприятия подвержены разным трендам: они могут расти, уменьшаться или изменяться незначительно.

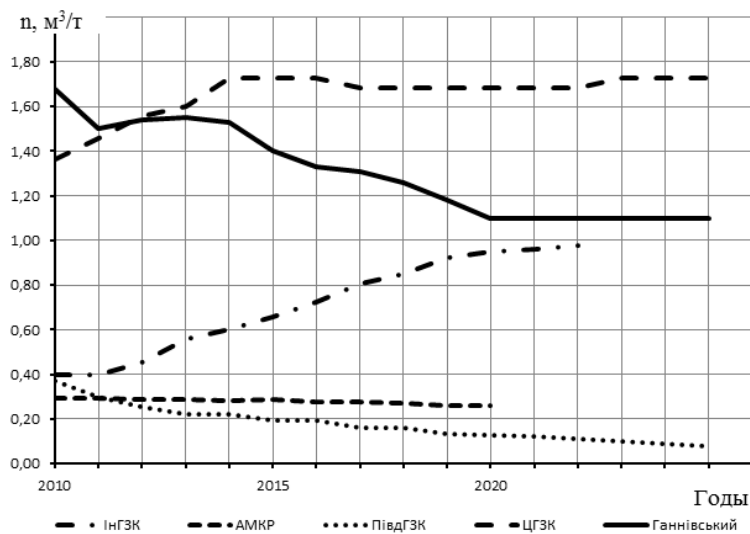


Рис. 5 Динамика текущих коэффициентов вскрыши на карьерах Кривбасса по годам эксплуатации

Это зависит от того, достигли карьеры своих контуров по поверхности, и проводится ли реконструкция или расконсервация бортов карьеров.

Выводы и направление дальнейших исследований. Разработана новая методика определения конечных контуров отработки карьеров, которая отличается от известных учетом изменения граничного коэффициента вскрыши во времени, а

также определением влияния технологических показателей карьеров-конкурентов на конечную глубину проектируемого карьера.

Доказано, что отклонение конечной глубины отработки условного проектируемого карьера, определенной на основе сравнения его текущих коэффициентов вскрыши с текущими коэффициентами вскрыши условных базовых карьеров-конкурентов, от конечной глубины отработки определенной по граничному коэффициенту вскрыши может составлять от 14 до 45 %.

Список литературы

1. **Арсентьев А.И.** Определение производительности и границ карьеров, М.: - Недра, 1970.
2. **Близнюков В.Г.** Определение главных параметров карьера с учетом качества руды, М.: - Недра, 1978.
3. **Арсентьев А.И., Полищук А.К.** Развитие методов определения границ карьеров. Л.: - Наука, 1967.
4. **Ржевский В.В.** Проектирование контуров карьеров. М.: - Metallurgizdat, 1956.
5. **Хохряков В.С.** Проектирование карьеров. М.: - Недра, 1980.
6. Определение перспективных границ и производительности карьера Ингулецкого горно-обогатительного комбината //Отчет о НИР (промежут.), ГП «ГНИГРИ», № ГР 0107U00563 – Кривой Рог, 2007. – 65 с.
7. Определение перспективных границ Анновского карьера ОАО «СевГОК»: Отчет о НИР (заключит.)//Государственное предприятие «Научно-исследовательский горнорудный институт. № ГР 0109U007562.- Кривой Рог. 2010.- 79 с.
8. Определение перспективных границ и производительности Первомайского карьера ПАО «СевГОК»: Отчет о НИР (заключит. Том I)//Академия горных наук Украины. № ГР 0115U002577.-Кривой Рог. 2014.- 93 с.
9. Определение перспективных границ карьера, обеспечивающих конкурентоспособность железорудной продукции Полтавского ГОКа: Отчет о НИР (заключит.)//Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет». № ГР 011U003099.-Кривой Рог. 2014.-115 с.
10. **Близнюков В.Г.** Исключение субъективных факторов при определении конечных контуров железорудных карьеров в составе ГОКов / **Близнюков В.Г., Баранов И.В., Савицкий А.В.** // Вісник Криворізького національного університету: Кривий Ріг. - КНУ, 2012. – Вип. 31. - С.3–6.
11. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с открытым способом разработки месторождений полезных ископаемых, К.: - Министерство промышленной политики Украины, 2007.

Рукопись поступила в редакцию 20.03.15

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

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ЭФФЕКТИВНОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Приведены краткие сведения о теории выщелачивания металлов из руд. Охарактеризованы способы повышения активности минералов, в том числе механоактивацией. На примере промышленного использования технологий на предприятиях России и Казахстана систематизированы и приведены результаты вариантов технологий. Сделан вывод о технологической возможности и экологической целесообразности выщелачивания металлов с ликвидацией хранилищ на земной поверхности. Приведены краткие сведения о теории выщелачивания металлов из руд. Охарактеризованы способы повышения активности минералов, в том числе механоактивацией. Сформулировано направление экологизации горного производства путем минимизации объема извлекаемых из недр на земную поверхность минеральных ресурсов. Определено, что отходы добычи, обогащения и выщелачивания металлических руд могут быть использованы при управлении массивом с закладкой пустот твердеющими смесями, изготовленными из продуктов переработки хвостов обогащения и с использованием массивов из хвостов подземного выщелачивания металлов, которые под влияние химических процессов приобретают прочность. Сформулированы задачи развития механохимической технологии и указаны защищенные патентами направления решения проблемы.

Ключевые слова: железные руды, металлы, кристаллы, разрушение, обогащение, механоактивация, минеральное сырье, технология добычи, твердеющая закладка, прибыль, технология разработки, извлечение металлов, выщелачивающий раствор, дезинтеграция, механохимия.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Основной задачей современной науки и практики становится не увеличение объемов добычи, а использование уже добытого и разведанного в недрах некондиционного для сегодняшних технологий минерального сырья. В идеале необходимы такие технологии, хвосты которых были бы пригодны к утилизации в смежных отраслях хозяйства, к примеру, в строительстве.

К таким технологиям относятся способы выщелачивания металлов с извлечением в раствор не только отдельных целевых, а всей гаммы содержащихся в руде металлов. Технологии с выщелачиванием становятся инструментом реализации пионерных ресурсо- и природосберегающих технологий [1].

Возможность уменьшения затрат предоставляют технологии с использованием продуктов утилизации хвостов обогащения и хвостов подземного выщелачивания руд. Непременным условием реализации этих возможностей становится извлечение металлов их некондиционного сырья до норм ПДК [2].

Анализ исследований и публикаций. При разработке месторождений полезных ископаемых эксплуатационные и капитальные затраты с понижением горных работ растут, а содержание полезных компонентов в извлекаемых балансовых запасах все менее обеспечивает рентабельную работу. В ряде случаев эффективной оказывается добыча металлов с применением специальных методов. Чаще всего это металлы: уран, медь, цинк и свинец.

Реагентом выщелачивания являются химические вещества и природные компоненты: вода, воздух и рудовмещающие породы.

Горно-химическая технология по сравнению с традиционными горными способами позволяет существенно сократить капитальные затраты, исключить из технологического процесса дорогостоящие и трудоемкие операции, уменьшить объем проходки горных выработок, улучшить технико-экономические показатели.

В отдельных случаях производительность труда рабочих по готовой продукции возрастает в 1,4-2,0 раза, а себестоимость 1 кг, например, урана снижается на 30-35 % в сравнении с себестоимостью добычи его традиционными технологиями.

Условием успешного протекания процесса выщелачивания при этом является наличие в растворе конкурирующих ионов, обладающих большим потенциалом, чем ионы извлекаемых металлов. При извлечении цветных металлов такими ионами являются ионы железа и водорода [2,4,5].

Перколяционное выщелачивание длится месяцы и даже годы. Наиболее успешно процесс идет, если материал при выщелачивании разрушается.

Кучное выщелачивание по сравнению с автоклавным и другими активными методами более экономично. Удельные затраты сокращаются в этом случае в 2-5 раз.

Естественная растворимость минералов используется для интенсивного выщелачивания одного из них и предотвращения извлечения в раствор другого.

Подземное выщелачивание урана из отбитых руд применяют на месторождениях, характеризующихся активной пористостью (менее 5%) и плохой фильтрационной способностью руд ($K_f < 0,1$ м/сут). При этом наиболее эффективна предварительная скважинная отбойка и magazинирование руд на месте залегания в условиях зажатой среды с применением короткозамедленного взрывания, когда при наложении волн сжатия и растяжения улучшается качество дробления руд. При выборе параметров буровзрывных работ и определении необходимой кусковатости отбитых руд учитывают их структуру и текстуру, характер распределения минерализации, степень трещиноватости массива и другие факторы [6].

Постановка задания. Проблема возвращения в производство потерянных руд весьма актуальна. Ее решение улучшает полноту использования недр, повышает эффективность затрат и снижает ущерб окружающей среде. Это особенно важно в современных условиях дефицита капитальных средств и других ресурсов. В связи с этим актуальными проблемами являются создание, внедрение и промышленное освоение добычи полезных ископаемых комбинированными технологиями выщелачивания на основе оптимизации комбинированной разработки балансовых запасов традиционной технологией добычи и переработки, а потерянных ранее и балансовых руд - с помощью подземного блокового выщелачивания.

При системе разработки с magazинированием руды и последующим выщелачиванием в камерах рудную залежь разделяют на эксплуатационные блоки, проходят подготовительные и нарезные выработки. Оформляют отрезную щель и плоское днище камеры.

Обустройство производится параллельными веерами скважин диаметром 50-85 мм из поэтажных выработок. Частичный (до 30%) самотечный выпуск осуществляют через выпускные выработки в нижней части блока.

После magazинирования руды монтируют оросительную систему, состоящую из комплекта труб, форсунок и скважин для подачи выщелачивающих растворов, а в нижней - оборудуют выработки для сбора продуктивных растворов. Подачу выщелачивающего раствора в камеры производят до момента достижения его кондиционной концентрации в продуктивном растворе [7].

Отличительной особенностью взрывной отбойки руд для выщелачивания является использование энергии взрыва на основе предельной энергоёмкости дробления горных пород. Повышенные затраты на бурение и взрывание компенсируются повышением извлечения металла из руд.

Изложение материала и результаты. Наиболее широко применяются схемы выщелачивания из проницаемых руд через скважины и с предварительным дроблением скальных руд взрывами с использованием горных выработок для подачи и отвода растворов (рис. 1).

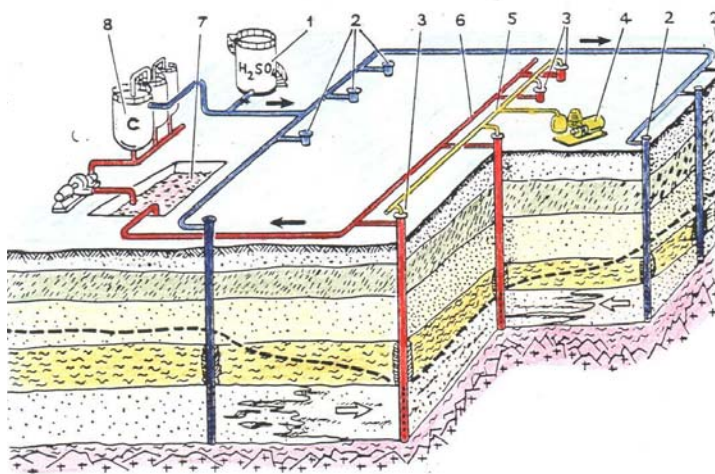


Рис. 1. Принципиальная схема подземного скважинного выщелачивания: 1 – узел приготовления раствора; 2 – скважины для подачи реагентов; 3 – скважины для откачки продуктивного раствора; 4 – компрессор; 5 – трубопровод сжатого воздуха для эрлифтов; 6 – трубопровод для продуктивного раствора; 7 – отстойник; 8 – узел переработки раствора

Этой технологией отработано урановое месторождение Украины «Девладово» (Днепропетровская область) и участки подземного выщелачивания урана «Братское» и «Сафоновское» (Николаевская область) [8].

По данной схеме месторождение вскрывается системой скважин, располагаемых рядами, многоугольниками, кольцами.

В скважины подают растворитель, который, фильтруясь по залежи, выщелачивает полезные компоненты и откачивается через другие скважины.

Преимущества способа ПВ включают в себя повышение эффективности использования недр за счет вовлечения в эксплуатацию рудной минерализации в зоне циркуляции растворов. С его помощью эксплуатируются весьма бедные месторождения.

Так, на руднике «Бык» (г. Лермонтов, Ставропольский край) с 1968 г. освоено подземное и кучное выщелачивание урана из забалансовых руд системой разработки этажным принудительным обрушением с отбойкой руды глубокими скважинами в условиях зажатой среды, магазинированием и выщелачиванием металла инфильтрационным потоком реагента.

При разработке урановых месторождений камерными системами с закладкой потери руды составляют 5 %, а в отдельных случаях и более.

Разубоживание находится на уровне 30-35 % с тенденцией к увеличению [9].

В качестве критерия оценки технических решений и определения параметров горного предприятия авторами используют величину дисконтированной прибыли, которая будет получена в течение расчетного периода за вычетом капитальных вложений на освоение новой технологии, поддержание его производственных мощностей с учетом процентной ставки за кредиты для выполнения капитальных работ и времени их выполнения.

Ценность металлов, извлекаемых из потерянных руд технологиями с участием выщелачивания, ден. ед./т

$$Ц_{Дт} = 0,01 \sum_{i=1}^n C_{ri} \varepsilon_{ri} \varepsilon_{zi} C_{mi} + \sum_{i=1}^{n_0} C_{\text{ори}} \varepsilon_{\text{ори}} \varepsilon_{\text{зби}} C_{\text{мби}},$$

где n и n_0 - число извлекаемых металлов; C_{ri} и $C_{\text{ори}}$ - содержание i -го металла, извлекаемого в раствор, %; ε_{ri} и $\varepsilon_{\text{ори}}$ - извлечение i -го металла в раствор, доли ед.; ε_{zi} и $\varepsilon_{\text{зби}}$ - извлечение i -го металла из раствора, доли ед.; C_{mi} и $C_{\text{мби}}$ - цена i -го металла, извлекаемого из раствора, ден. ед./т.

Затраты на подготовку запасов к выщелачиванию, извлечение в раствор, транспортировку до завода и переработку на заводе, в расчете на 1 т разрабатываемых запасов методами выщелачивания, ден. ед./т

$$C_{ДГ} = C_{\text{под}} + C_{\text{выщ}} + K_p (C_{\text{тр}} + C_{\text{зс}}),$$

где $C_{\text{под}}$ - затраты на подготовку к выщелачиванию, ден. ед./т; $C_{\text{выщ}}$ - затраты на выщелачивание металлов из 1 т запасов, ден. ед./т; K_p - коэффициент выхода продукции при разработке 1 т запасов, доли ед.; $C_{\text{тр}}$ - затраты на транспортировку до завода, ден. ед./т; $C_{\text{зс}}$ - затраты на переработку на заводе, ден. ед./т.

Затраты на получение продукта добычи и переработки, ден. ед./м³

$$C = C_m + C_3 + C + C_m,$$

где C_m, C_3, C, C_m - соответственно, удельные затраты, ден. ед./м³, на материалы, энергию, заработную плату, транспорт.

Полная стоимость продукта

$$C = K_m \{C_{\text{д}} + [C_c + C_n (1 - K)]\} + K_3 \cdot C_3 + K_3 \cdot C + K_m \cdot C_m,$$

где K_m, K_3, K_3, K_m - коэффициенты затрат на материалы, энергию, заработную плату и транспорт, доли ед.

Применение технологий выщелачивания позволяет извлечь, из ранее потерянных запасов до 70-80 % металлов, обеспечивает дополнительный выпуск металлов на 25-30 % и повышает полноту использования недр до уровня, обусловленного современным состоянием науки и техники.

При отбойке горной массы скважинными зарядами в твердых горных породах с заданным качеством дробления и выходом негабарита не более 5 % коэффициент сближения, расстояние между скважинами и линия наименьшего сопротивления является функцией диаметра скважин.

Объем компенсационного пространства при подготовке руды к выщелачиванию составляет не менее 4-7% объема блока.

Обеспечение нормального процесса выщелачивания с достаточной полнотой извлечения, достигается при коэффициенте разрыхления 1,15-1,18.

Расположение компенсационной щели определяется из условий максимально допустимого расстояния от щели до последнего ряда взрывных скважин блока и принимается не более 25 м, а ширина компенсационной щели - не менее 5 м.

Лучшая полнота извлечения обеспечивается при дроблении руды до 150 мм [10].

Обоснование оптимальных технологий подземной разработки металлических руд осуществляется на основе системного анализа при рассмотрении во взаимосвязи всех этапов технологической схемы добычи и переработки, начиная от разведки запасов до реализации продукции, включая геотехнологические способы переработки потерянных руд с учетом возможного снижения воздействия горных работ на окружающую среду.

Выводы и рекомендации. 1. Перспективы развития горнодобывающих предприятий России во многом зависят от успеха реализации технологической диверсификации горного производства в форме конверсии технологий разработки месторождений и переходе от открытого способа на подземный.

2. Заслуживает внимания направление изготовление закладочных смесей с заменой дорогостоящего и дефицитного промышленных вяжущих и природных заполнителей техногенными компонентами после извлечения из них металлов.

3. Важным и перспективным направлением извлечения металлов из хвостов обогащения является механохимическая активация их в аппаратах, где выщелачивающий раствор запрессовывается в образующиеся трещины, и извлечение металлов происходит одновременно с разрушением кристаллов.

5. Важным направлением является создание и разработка современных комплексных безотходных замкнутых систем разработки месторождений при получения конечных продуктов переработки.

6. Комбинирование традиционных и инновационных технологий представляет собой новое направление охраны недр и природных систем при нарастающем воздействии горных работ на окружающую природную среду.

Список литературы

1. Голик В.И., Комащенко В.И., Леонов И.В. Горное дело и окружающая среда - М.: Академический проект. Культура, 2011.С.-235.
2. Комащенко В.И., Голик В.И., Дребенштедт К. Влияние деятельности геолого-разведочной и горнодобывающей промышленности на окружающую среду - М.: КДУ, 2010.С-556.
3. Молчанов В.И., Селезнева О.Г., Жирнов Б.Н. Активация минералов при измельчении. - М.: Недра, 1988 г.
4. Исмаилов Т.Т. Комащенко В.И., Голик В.И., Техногенное воздействие на природно-технические геосистемы. - М.: ГИАБ. 2009. №4. - С. 45-52.
5. Голик В.И., Комащенко В.И., Страданченко С.Г., Масленников С.А. Механо-химико-активационная технология извлечения металлов из скальных руд.- М.: ГИАБ. №9.2012.С. 14-20.
6. Комащенко В.И., Ерохин И.В. Техногенное воздействие процессов добычи и переработки руд на природно-технические геосистемы окружающей среды. Труды -V Международная научная конференция. «Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах», г. Белгород, 2013 года. - С. 73-78.
7. Ракишев Б.Р., Сиваракша Д.М., Молдабаев С.К., Шулаева Н.А. Стратегия снижения риска опасного загрязнения окружающей среды на открытых разработках // Горный журнал Казахстана, 2010. - № 6. – С. 36-
8. Голик В.И., Комащенко В.И., Заалишвили В.Б. Способ извлечения металлов из хвостов обогащения. Патент № 2011105254/02(007422) от 25 мая 2012.
9. Golik V.I., Komashchenko V.I., Rasorenov Y.I. Activation of Technogenic Resources in Disintegrators. DC 10.1007/978-3-319-02678-7_107, Springer International Publishing Switzerland, 2013.
10. Ляшенко В.И., Голик В.И. Природоохранные технологии подземной разработки урановых месторождений // Горный журнал. 2006. №2. С.89-92.

Рукопись поступила в редакцию 20.03.15

А. Н. КОСТЯНСКИЙ, канд. техн. наук, Б.Е. ЯЩЕНКО
НИГРИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВСКРЫШИ КАК ПОКАЗАТЕЛЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ КАРЬЕРА С УЧЕТОМ ЗАТРАТ НА ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ

Основной задачей при проектировании открытых горных работ является определение конечных контуров карьера. Для карьеров разрабатывающих наклонные и крутопадающие залежи последовательно по глубине открытым и подземным способом границы определяют как границу перехода от открытых к подземным горным работам. Как известно, особенностью эксплуатации глубоких карьеров является то, что при доставке горной массы значительная доля затрат приходится на энергоносители. Производственные затраты, которые включают энергоносители влияют на себестоимость как руды, так и товарной продукции комбината. Пределом возможного удорожания себестоимости руды служит максимальный эксплуатационный коэффициент вскрыши. Для изучения влияния энергозатрат через себестоимость на коэффициент вскрыши получена зависимость изменения стоимости энергоносителей для конкретных условий по фактическим данным за рассмотренный период для условий СевГОКа, что позволило ориентировочно прогнозировать затраты на энергоносители. По величине максимального эксплуатационного коэффициента вскрыши, при определении которого учтены затраты на энергоносители, устанавливается глубина карьера для определения его параметров. При этом на основании геологических данных о разведанности определяют возможную ошибку- риск, как опасность невыполнения утвержденных решений, уровень которого оценивают и затем корректируют расчетное значение максимального эксплуатационного коэффициента вскрыши. Приведенные зависимости могут найти применение для обоснования глубины карьера при его реконструкции.

Ключевые слова: карьер, эксплуатационный коэффициент вскрыши, энергоносители

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Основной задачей при проектировании открытых горных работ является определение конечных контуров карьера. Допустимая глубина карьера ограничивается соотношением вскрышных пород и руды, поскольку увеличение его глубины прежде всего отражается на объемах выемки пустых пород.

Конечная глубина современных железорудных карьеров, разрабатывающих мощные месторождения составляет 500-600 м. В процессе добычи руды, производится непрерывная углубка карьера, изменяется качество руды, извлекаются значительные объемы горной массы, нередко составляющие более 50 млн т в год и вследствие этого, изменяется себестоимость товарной продукции. Разработка таких объемов горной массы требует больших капитальных и эксплуатационных затрат. Особенностью эксплуатации глубоких карьеров является то, что при доставке горной массы с нижних горизонтов существенную долю затрат составляют энергоносители.

В этой связи, при обосновании показателя для определения параметров карьера, следует учитывать влияние энергоносителей, что в современных условиях является актуальной задачей.

Анализ исследований и публикаций. Показателем, определяющим область экономической эффективности предприятия с открытым способом разработки, является максимальное значение коэффициента вскрыши [1]. От этой величины зависит целесообразная глубина отработки месторождения открытым способом или перехода на подземный, она учитывается при проектировании реконструкции глубоких карьеров. Методы определения граничных коэффициентов вскрыши развивались в направлении усложнения формул за счет учета все большего числа факторов, влияющих на границы открытых разработок [2]. В большинстве случаев при определении этого показателя устанавливают допустимую себестоимость полезного ископаемого, которая обеспечивает его безубыточную добычу и переработку [3], хотя добываемая руда не является товарной продукцией ГОКа.

Вопрос о целесообразности инвестиций особенно остро встает при выполнении проектов реконструкции карьера или переходе на комбинированную отработку.

Для карьеров разрабатывающих наклонные и крутопадающие залежи, границы устанавливают по контурному коэффициенту численно равному граничному [3]. Но поуступный анализ объемов горной массы и коэффициентов вскрыши неудобен тем, что если в процессе проектирования изменяются исходные условия, то возникает необходимость в повторении трудоемких работ по пересчету объемов.

Для глубоких и мощных карьеров более удобным представляется метод, когда границы открытых разработок, в том числе и глубину карьера, устанавливают путем доведения текущих коэффициентов вскрыши до граничной величины [4]. Как отмечают в исследованиях, несмотря на то, что граничный коэффициент вскрыши в общем случае разработки месторождения открытым способом не является постоянным [5,6], основным условием при его определении является экономичность открытых разработок [2].

В период работы карьера с наибольшим эксплуатационным коэффициентом вскрыши себестоимость добычи полезного ископаемого возрастает до предельной величины. Поскольку в различные периоды работы карьера эксплуатационный (текущий) коэффициент вскрыши имеет различную величину, конечную глубину карьера определяют по его максимальному значению. В связи с этим вопрос определения величины этого показателя при условии безубыточной работы ГОКа является актуальным.

Постановка задачи. Для решения задачи требуется найти зависимость, определяющую максимальный эксплуатационный коэффициент вскрыши с учетом затрат в себестоимости на энергоносители (топливо и электроэнергию) при выполнении производственных процессов в карьере, для установления и уточнения глубины карьера.

Решение указанной задачи аналитическими методами позволит исследовать целесообразность дальнейшей углубки карьера, учитывая, что увеличение его параметров влияет на объем извлекаемой горной массы и коэффициент вскрыши. На разных ГОКах существуют различные горно-технические условия добычи полезного ископаемого, поэтому для установления глубины открытых горных работ выбирают зависимость, наиболее полно соответствующую поставленным задачам и условиям работы карьера.

Изложение материала и полученные результаты. Проведенные исследования показали, что величину максимального коэффициента вскрыши можно определить как сумму текущего коэффициента вскрыши и его приращения [6], полученного за счет разницы между ценой и себестоимостью товарной продукции. При этом величина приращения эксплуатационного (текущего) коэффициента вскрыши тесно связана с такими показателями работы карьера и обогатительных фабрик как себестоимость, цена, затраты на 1 грн. товарной продукции, ее выход из руды, себестоимость вскрышных пород и др.

Экономически максимальный коэффициент вскрыши соответствует безубыточной работе комплекса карьер-фабрика, предполагая, что прибыль от реализации товарной продукции расходуется на вскрышные работы.

Себестоимость товарной продукции является обобщающим показателем, на ее величину влияет размер затрат связанных с производством, которые в значительной степени формируют энергоносители (топливо и электроэнергия).

Одним из основных элементов в себестоимости добычи являются «энергозатраты», которыми характеризуется любой производственный процесс: стоимость топлива и электроэнергии, расходуемых на производственно-технические нужды предприятия. Как правило, показатели себестоимости руды и вскрышных пород на 20-30 % определяются затратами на транспортирование вынутых объемов горной массы. При этом в энергозатратах выделяются такие виды энергоносителей как топливо и электроэнергия [7]. Начиная с 1994 г цены на энергоресурсы возросли практически до уровня мировых, в отдельных регионах СНГ существенно их превысили. Экономические показатели работы ГОКов резко ухудшились, отдельные предприятия стали убыточными [8].

По экономическому элементу «топливо» в себестоимости единицы вскрышных пород учитывается расход дизельного топлива на производственно-технические нужды горного предприятия, такие как доставку горной массы автосамосвалами к перегрузочным площадкам и вывозка вскрышных пород на отвалы автомобилями или тепловозной тягой, а по элементу «электроэнергия» ее расход на работу экскаваторов, буровых станков, а также при наличии электрифицированного железнодорожного пути - доставка горной массы от перегрузочных площадок к конечным пунктам разгрузки электрифицированным железнодорожным транспортом. О значении этих элементов затрат говорит тот факт, что доля только железнодорожного транспорта в себестоимости 1 м³ вскрышных пород превышает 20 %, а технологического автотранспорта - достигает 30 %, из которых 30-40 % составляют затраты на топливо для работы автосамосвалов горно-транспортного цеха.

При переработке руды в концентрат по элементу «электроэнергия» учитывается расход электроэнергии на работу дробильно-обогатительного оборудования и другого оборудования

РОФ при производстве концентрата. Таким образом, исходными данными формирующими в значительной степени себестоимость единицы вынудой горной массы, являются стоимости энергоносителей - дизельного топлива и электроэнергии. Перечисленные элементы затрат в дальнейшем также включаются в себестоимость товарной продукции. При этом прибыль ГОКа зависит от величины упомянутой себестоимости, а последняя- от стоимости энергоносителей. При проектировании карьеров значение исходных показателей для расчетов брали по фактическим данным действующих карьеров предполагая их постоянную величину.

Однако в настоящее время стоимость энергоносителей не является стабильной величиной. Так в информационных сообщениях по вопросу стоимости энергоносителей отмечается, что «топливо подорожало сегодня его стоимость на 41,2 % выше, чем год назад, и на 43,6 % выше, чем в начале года» [9].

Запишем себестоимость 1 м³ вскрышных пород через i лет в зависимости от цен на энергоносители, грн./ м³

$$C_{\theta(t+i)} = C_{\theta t} \cdot \left(1 - n_m \left(1 - \frac{U_{m(t+i)}}{U_{mt}}\right)\right) \cdot \left(1 - n_{\theta} \left(1 - \frac{U_{\theta(t+i)}}{U_{\theta t}}\right)\right), \quad (1)$$

где $C_{\theta(t+i)}$ - себестоимость 1 м³ вскрышных пород после изменения цен на энергоносители в расчетном $(t+i)$ году, грн./м³; $C_{\theta t}$ - себестоимость 1 м³ вскрышных пород в t -м году, грн./м³; n_m - доля стоимости дизельного топлива в себестоимости 1 м³ вскрышных пород, доли ед.; $U_{mt}, U_{m(t+i)}$ - стоимость дизельного топлива соответственно в текущем (t) -м и через i лет в расчетном $(t+i)$ годах, грн./т; $U_{\theta t}, U_{\theta(t+i)}$ - стоимость электроэнергии (кВт·ч) соответственно в текущем (t) -м и через i лет в расчетном $(t+i)$ годах, грн./кВт·ч; n_{θ} - доля стоимости электроэнергии в себестоимости 1 м³ вскрышных пород, доли ед.; t - календарный год.

Себестоимость концентрата после подорожания энергоносителей и дизельного топлива также изменится, ее величина составит, грн./т

$$C_{\kappa(t+i)} = C_{\kappa t} \cdot \left(1 - n_{\text{эк}} \cdot \left(1 - \frac{U_{\theta(t+i)}}{U_{\theta t}}\right)\right) \cdot \left(1 - n_{\text{мк}} \cdot \left(1 - \frac{U_{m(t+i)}}{U_{mt}}\right)\right), \quad (2)$$

где $C_{\kappa t}$ - себестоимость товарной продукции (концентрата) в t году, грн./т; $n_{\text{эк}}$ - доля электроэнергии в себестоимости 1 т концентрата, доли ед.; $n_{\text{мк}}$ - доля затрат на топливо в себестоимости 1 т концентрата, доли ед.

Для изучения характера функции $U_m = \varphi(t+i)$ найдем вид уравнения и его коэффициенты по фактическим данным для условий СевГОКа за период с 2006 г. по 2014 г. (рис. 1а).

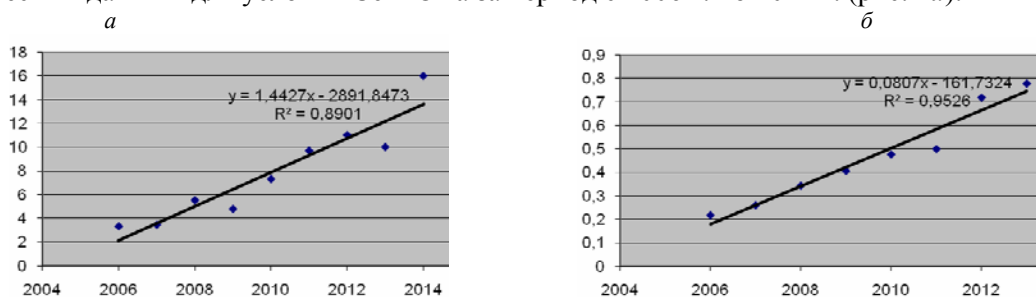


Рис. 1. а - изменение стоимости 1 л дизельного топлива по годам (по оси X- годы, Y- стоимость топлива, грн./л); б - изменение стоимости электроэнергии по годам (ось X-годы, Y-стоимость 1 квт·ч электроэнергии, грн.)

За рассмотренный период [10-13] стоимость дизельного топлива описывается как, грн./л

$$U_{mt} = a_m \cdot t + b_m = 1,4427 \cdot t - 2891,8, \quad (3)$$

где a_m, b_m - эмпирические коэффициенты линейного уравнения.

Представим соотношение стоимостей единицы топлива в расчетном году $(t+i)$ к его стоимости в текущем t -м году

$$\frac{U_{m(t+i)}}{U_{mt}} = \frac{a_m \cdot (t+i) + b_m}{a_m \cdot t + b_m} = 1 + \frac{a_m \cdot i}{a_m \cdot t + b_m}. \quad (4)$$

Аналогично определим зависимость изменения стоимости 1 кВт·ч электроэнергии за период с 2006 г. по 2013 г. [10-15] (рис.1б), которая описывается линейным уравнением, грн./кВт·ч

$$U_{\theta t} = a_{\theta} \cdot t + b_{\theta} = 0,0807 \cdot t - 161,7 \quad (5)$$

где a_3, b_3 - коэффициенты линейного уравнения.

Представим соотношение стоимости кВт·ч электроэнергии в расчетном ($t+i$) и текущем t годах как

$$\frac{U_{э(t+i)}}{U_{эt}} = \frac{a_3 \cdot (t+i) + b_3}{a_3 \cdot t + b_3} = 1 + \frac{a_3 \cdot i}{a_3 \cdot t + b_3}. \quad (6)$$

Полученные формулы подставим в установленную ранее зависимость, определяющую величину коэффициента вскрыши [6,16,17] в $t+i$ году, $\text{м}^3/\text{т}$

$$K_{э.м.} = \frac{\gamma \cdot (C_{к(t+i)} - C_{к(t+i)}) \cdot (1-k_t) \cdot (1-n)}{C_{э(t+i)} \cdot (2-d_{y.неп})} + K_{mt} = \frac{\gamma \cdot C_{к(t+i)} \cdot (1-3_{m.n.(t+i)}) \cdot (1-k_t) \cdot (1-n)}{3_{m.n.(t+i)} \cdot C_{э(t+i)} \cdot (2-d_{y.неп})} + K_{mt}, \quad (7)$$

где $U_{э}, C_{к}$ - цена и себестоимость товарной продукции (концентрата), грн./т; K_{mt} -текущий коэффициент вскрыши в t - м году, $\text{м}^3/\text{т}$; γ -выход концентрата, доли ед.; $d_{y.неп}$ - условно-переменные затраты в себестоимости товарной продукции (концентрата), доли ед.; k_t - показатель инфляции (средняя величина показателя с 2000 г. по 2014 г. составляет 0,12-0,13), доли ед.; n -налог на прибыль ($n=0,2$), доли ед.; $3_{m.n.}$ -затраты по комбинату на одну гривну товарной продукции, грн./грн.

Значительные инвестиции были направлены на развитие горнодобывающего комплекса СевГОКа, в том числе вскрытие нижних горизонтов Первомайского карьера и вовлечение в эксплуатацию южной части Анновского карьера.

Определим как изменится величина максимального эксплуатационного коэффициента вскрыши после подорожания энергоносителей. Подставив в формулу (7) выражение (1) и (2), получим, $\text{м}^3/\text{т}$

$$K_{э.м.} = \frac{\gamma \cdot C_{кt} \cdot (1-3_{m.n.}) \cdot (1-n_{эк} \cdot (-\frac{a_3 \cdot i}{a_3 \cdot t + b_3})) \cdot (1-n_{мк} \cdot (-\frac{a_m \cdot i}{a_m + b_m})) \cdot (1-k_t) \cdot (1-n)}{3_{m.n.} \cdot C_{эt} \cdot (2-d_{y.неп}) \cdot (1-n_m \cdot (-\frac{a_m \cdot i}{a_m \cdot t + b_m})) \cdot (1-n_э \cdot (-\frac{a_3 \cdot i}{a_3 \cdot t + b_3}))} + K_{mt}, \quad (8)$$

Если рассматривать исходные технико-экономические показатели в этой формуле как постоянные величины, то соотношение $\varphi(t) = U_{m(t+i)}/U_{mt}$ (где $t+1$ - расчетный год), можно принять переменной, физический смысл которой отражает величину, во сколько раз произошло подорожание топлива. Таким образом, определив функцию отражающую изменение стоимости топлива в течение определенного времени, установим влияние этой переменной через себестоимость товарной продукции на максимальный эксплуатационный коэффициент вскрыши.

Подставив в уравнение (8) данные по СевГОКу за 2006 г. с текущим коэффициентом вскрыши для Анновского карьера, а также зависимости отражающие изменение стоимости энергоносителей (3,5), и упростив выражение, получим, $\text{м}^3/\text{т}$

$$K_{э.м.} = \frac{9,56442 \cdot (1 + \frac{0,017 \cdot i}{t-2003,717}) \cdot (1 + \frac{0,01 \cdot i}{t-2004,44})}{23,35788 \cdot (1 + \frac{0,07 \cdot i}{t-2004,436}) \cdot (1 + \frac{0,05 \cdot i}{t-2003,717})} + 1,18$$

По полученному выражению максимальный расчетный эксплуатационный коэффициент вскрыши в 2020 году (при $t=2006$ и $i=14$) составит, $\text{м}^3/\text{т}$

$$K_{Jэ.м.} = 0,23 + 1,18 = 1,41.$$

Аналогично определим показатель $K_{э.м.}$ по формуле (8) приняв за основу исходные данные за 2008 г.

Стоимость электроэнергии за период с 2008 г. по 2013 г. [11-15] описывается линейной зависимостью, грн./кВт·ч

$$U_{эt} = 0,0899 \cdot t - 180,12.$$

За аналогичный период с 2008 г. [10-13] стоимость дизельного топлива описывается как, грн./л

$$U_{mt} = 1,6334 \cdot t - 3275,508.$$

Подставив полученные зависимости в уравнение (8) и упростив выражение, получим, $\text{м}^3/\text{т}$

$$K_{э.м.} = \frac{22,49984 \cdot (1 + \frac{0,015 \cdot i}{t-2005,33}) \cdot (1 + \frac{0,007 \cdot i}{t-2004,45})}{19,95 \cdot (1 + \frac{0,07 \cdot i}{t-2005,33}) \cdot (1 + \frac{0,05 \cdot i}{t-2004,45})} + 1,49 = 2,29.$$

При значениях $t=2008$ и $i=12$, максимальный расчетный эксплуатационный коэффициент вскрыши составит $K_{2э.м.}=2,29 \text{ м}^3/\text{т}$. Увеличение максимального эксплуатационного коэффициента вскрыши при исходных показателях, взятых за 2008 г. по сравнению с 2006 г. объясняется

уменьшением затрат на 1 грн. товарной продукции в 2008 г. на 34% за счет благоприятной конъюнктуры рынка железорудного сырья (ЖРС). Таким образом, в рассмотренном случае величина максимального эксплуатационного коэффициента вскрыши не является постоянной величиной [16,17], в значительной степени зависит от стоимостных показателей товарной продукции [18], которая зависит от конъюнктуры рынка ЖРС в рассматриваемом этапе.

Глубина карьера, например, при его реконструкции может обосновываться величиной эксплуатационного коэффициента вскрыши [19]. При этом принимаемые технические решения нередко содержат элемент неопределенности, связанный с возможными изменениями относительно ожидаемого результата, например запасов руды. При этом появляется риск- опасность невыполнения утвержденных решений в условиях некоторой неопределенности исходных данных. Уровень риска может быть оценен на основе вероятности выполнения решения по какому-либо показателю.

Как известно, степень достоверности геологических данных в настоящее время оценивается так называемой категорией разведанности. В контуры карьера попадают полезные ископаемые разной категории разведанности. Основных категорий четыре А,В,С₁,С₂. Каждая из категорий обладает определенным уровнем погрешности [20]. Тогда возможная средняя ошибка в подсчете количества запасов, доли ед.

$$\varepsilon_o = \varepsilon_a \cdot k_a + \varepsilon_b \cdot k_b + \varepsilon_{c1} \cdot k_{c1} + \varepsilon_{c2} \cdot k_{c2},$$

где $\varepsilon_a, \varepsilon_b, \varepsilon_{c1}, \varepsilon_{c2}$ – возможные погрешности по категориям; k_a, k_b, k_{c1}, k_{c2} – доли запасов по категориям. Инструкцией ГКЗ (1997г.) выделяется четыре группы месторождений. Однако предшествующие исследования, нормативные документы и многолетняя практика геологоразведочных работ так или иначе ориентируются на следующие величины погрешностей для категории «А»- не более 10%, для «В» 25% и для «С»- 50% [21]. В рассмотренном случае запасы по Анновскому карьере были разведаны только по категориям В и С. После подстановки данных (при $k_a = 0$), получим, доли ед.

$$\varepsilon_o = 0,25 \cdot 0,45 + 0,5 \cdot 0,55 = 0,3875$$

В случае необходимости выбора одного варианта реконструкции карьера возникает потребность оценить перспективность его отработки в разных условиях с помощью обобщающего показателя. Им может служить максимальный эксплуатационный коэффициент вскрыши, который в рассмотренном примере в зависимости от исходных данных ($t_1 = 2006$ г., $t_2 = 2008$ г.) имел значения- $K_{1 \text{ э.м}}$ и $K_{2 \text{ э.м}}$. Предположим, что искомый показатель $K_{\text{э.м}}$, по которому нужно принять решение, в силу неопределенности изменяется от $K_{1 \text{ э.м}}$ до $K_{2 \text{ э.м}}$. Если, уменьшая уровень риска, расчетный коэффициент вскрыши снизить до $K_{1 \text{ э.м}}$ (при $K_{2 \text{ э.м}} > K_{1 \text{ э.м}}$), то будет соблюдаться условие [20], м³/т

$$K_{2 \text{ э.м}} = K_{1 \text{ э.м}} \cdot (1 + \delta_i),$$

откуда определяется коэффициент $\delta_i = (K_{2 \text{ э.м}} - K_{1 \text{ э.м}}) / K_{1 \text{ э.м}} = (2,29 - 1,41) / 1,41 = 0,6$ доли ед. Для принятого технического решения при нормальном распределении по известному δ_i может быть определен уровень риска R (табл. 1 [20]).

Если на основании геологических данных о разведанности определена возможная ошибка в запасах руды, то на основе правила трех сигм можно найти среднее квадратичное отклонение- $\sigma = \varepsilon_o / 3 = 0,13$. Как видно из табл.1 при постоянной величине σ с увеличением δ_i риск увеличивается. В рассмотренном случае уровень риска при $K_{2 \text{ э.м}} = 2,29$ м³/т составляет $R = 0,5$. Для уменьшения величины R рассчитаем соответствующее значение максимального эксплуатационного коэффициента вскрыши, которое с учетом коэффициента δ_i [20], составит, м³/т

$$K_{\text{э.м}} = \frac{K_{\text{э.м}1} + 1}{(1 + \delta_i) \cdot (1 - 3 \cdot \sigma)} - 1 = \frac{1,41 + 1}{(1 + 0,6) \cdot (1 - 3 \cdot 0,13)} - 1 = 1,5$$

Таблица 1

| Значения коэффициента δ_i и соответствующего ему уровня риска R | | | | | | | |
|--|----------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ε | σ | Уровень риска R , % | | | | | |
| | | 0 | 2,3 | 15,9 | 25,0 | 50,0 | 75,0 |
| 15 | 0,05 | 0 | 0,059 | 0,118 | 0,137 | 0,176 | 0,216 |
| 21 | 0,07 | 0 | 0,089 | 0,177 | 0,206 | 0,266 | 0,326 |
| 24 | 0,08 | 0 | 0,105 | 0,211 | 0,245 | 0,316 | 0,387 |
| 30 | 0,10 | 0 | 0,143 | 0,286 | 0,332 | 0,429 | 0,525 |
| 42 | 0,14 | 0 | 0,241 | 0,483 | 0,561 | 0,724 | 0,887 |
| 45 | 0,15 | 0 | 0,273 | 0,545 | 0,634 | 0,818 | 1,002 |
| 51 | 0,17 | 0 | 0,347 | 0,694 | 0,807 | 1,041 | 1,275 |

В этом случае $R \rightarrow 0$. Таким образом, снижение уровня риска в сопоставимых условиях достигается при уменьшении значения максимального эксплуатационного коэффициента вскрыши за счет изменения производительности карьера по вскрышным породам. Можно отметить, что для повышения надежности иногда создают резервы при определении запасов, несколько за-

нижая глубину карьера. В дальнейшем в процессе эксплуатации, обычно уточняются объемы рудных запасов в контуре карьера. При проектировании поэтапной разработки для следующего этапа учитывают уже уточненные запасы руды.

Выводы. Приведенные зависимости могут найти применение для обоснования глубины карьера при его реконструкции путем сравнения эксплуатационного (текущего) коэффициента вскрыши с его максимально возможной величиной, с учетом значимых влияющих факторов, таких как энергоносители для применяемых видов горно-транспортного оборудования, которые влияют на величину себестоимости добычи руды. При этом пределом возможного удорожания себестоимости добычи служит максимальный эксплуатационный коэффициент вскрыши. Предлагаемый подход найдет применение для установления глубины карьера и определения рациональной области применения открытых горных работ при реконструкции или переходе на комбинированную разработку железорудных месторождений.

При расширении или углубке железорудных карьеров предлагаемый подход позволит с учетом возрастающих затрат на энергоносители прогнозировать область эффективного применения открытых горных работ для оперативной оценки основных параметров контура карьера.

Список литературы

1. **Арсентьев А.И.** Определение производительности и границ карьера/ **А.И. Арсентьев** // Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу. М., 1961. - 242 с.
2. **Н.В.Мельников** Теория и практика открытых разработок/ **Мельников Н.В., Арсентьев А.И.** и др. // М., Недра, 1973. - 636 с.
3. Норми технологичного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. / Київ. Міністерство промислової політики України. - 2007. - 279 с.
4. **Ржевский В.В.** Проектирование контуров карьеров/ **В.В. Ржевский.** // Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии. М., 1956, 229 с.
5. **Атамась П.А.** Определение целесообразных границ карьера при переменном значении граничного коэффициента вскрыши / **П.А. Атамась, С.В. Лозовой** // Сб. научн. трудов. К. «Наукова думка», НИГРИ, 1970- Вып. X. - С. 187-194.
6. **Костянский А.Н.** Прогнозирование максимально-допустимого коэффициента вскрыши в рыночных условиях работы карьера в составе ГОКа./ **А.Н. Костянский** // Сб. научн. трудов. Кривой Рог. - ГП «НИГРИ», 2009-С.21-25.
7. **Резавов М.А.** Экономика, организация производства и планирование на открытых горных работах/ **М.А. Резавов, Ю.А. Маляров.** // Учебн.-М.: Недра, 1980.-391 с.
8. **Воробьев Н.К.** / Повышение технико-экономических показателей работы горно-обогатительных комбинатов/ **Н.К. Воробьев, А.Н. Воробьев** // Сборник научных трудов. «Новое в технике и технологии переработки минерального сырья». Кривой Рог.-ПАО НИПИ «Механобчермет», 2013- С.3-12.
9. Рост цен продолжает набирать скорость / Газета «Пульс». Кривой Рог. - 09.07.2014- №28(313).
10. Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины. в 2005-2006 г.г. Кривой Рог. ГП «НИГРИ», 2007. - 156 с.
11. Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины в 2006-2007 г.г. Кривой Рог. ГП «НИГРИ», 2008. - 146 с.
12. Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины в 2008-2009 г.г. Кривой Рог. ГП «НИГРИ», 2010. - 164 с.
13. **Погорелов С.** Ценовые качели: итоги года на рынке бензина. / **С. Погорелов** // [Электронный ресурс] Информационное агенство, Ліга. Бізнес. Економіка. - 28.12.2011.
14. РБК «Україна».06.04.2012р. со ссылкой на «Коммерсант Украины», постановление НКРЭ.
15. Постанова Кабінету Міністрів України від 15.08.2005 №745 «Про перехід до єдиних тарифів на електричну енергію, що відпускається споживачам» та постанова НКРЕ від 25.12.2009 р. №1529.
16. **Костянский А.Н., Чепурной В.И.** Оценка параметров реконструкции карьера при расширении его границ/ **А.Н. Костянский, В.И. Чепурной** // Вісник Криворізького національного університету. Кривий Ріг.-ДВНЗ «КНУ», 2013- Вып. 35. - С. 23-26.
17. **Бабец Е.К., Дядечкин Н.И., Костянский А.Н.** и др. Влияние параметров реконструкции железорудного карьера на технико-экономические показатели его работы. / **Е.К. Бабец, Н.И. Дядечкин, А.Н. Костянский.** // Зб. наук. праць. Кривий Ріг.- Науково-дослідний гірничорудний інститут ДВНЗ «КНУ», 2013- №54, - С. 201-207.
18. **Азарян В.А.** Анализ влияния технологических факторов на себестоимость производства железорудных ГО-Ков Украины / **В.А. Азарян** // Разраб. рудн. месторожд.. Кривой Рог. - КТУ, 2010 - Вып. 93. - С.33-36.
19. **Ю.П. Астафьев, В.Г. Близнюков, О.Г. Шекун.** Горное дело / **Астафьев Ю.П., Близнюков В.Г., Шекун О.Г.** // Учебн. - М: Недра, 1980. - 368 с.
20. **Арсентьев А.И.** Производительность карьеров / **А.И. Арсентьев** // Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 2002. - 85 с.
21. **Порцевский П.К.** Систематизация признаков сложноструктурных месторождений / **П.К. Порцевский** // Горный журнал, 2006. - №1. - С. 30-33.

Рукопис подано до редакції 17.04.15

М.А. РЫБАЛЬЧЕНКО, аспирант, В.И. ГОЛОВКО, д-р техн. наук, проф.,
А.А. ВЕРХОВСКАЯ, канд. техн. наук, доц., Г.А. ПАПАНОВ, ст. преподаватель
ГВУЗ «Национальная металлургическая академия Украины»,
ГВУЗ «Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ЗАТВОРА ВЕСОВОЙ ВОРОНКИ СИСТЕМЫ ШИХТОПОДАЧИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

В статье рассмотрены характеристики векторной и скалярной систем управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором. Показано, что для получения высоких динамических показателей и высокой точности поддержания скорости наиболее предпочтительной является векторная система управления электроприводом. При разработке математической модели привода затвора весовой воронки использовался принцип ориентации системы координат по вектору потокосцепления ротора. В этом случае модель асинхронного двигателя приобретает сходство со структурной схемой машины постоянного тока, где возможно раздельное управление магнитным состоянием и моментом на валу двигателя. Выполнено моделирование работы электропривода затвора весовых воронок шихтоподачи доменной печи объемом 5000 м³ в среде MATLAB Simulink. Установлено, что применение системы векторного управления асинхронным двигателем затвора весовой воронки позволит реализовать формирование многокомпонентной порции шихты на доменном конвейере в любой последовательности разгрузки весовых воронок.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Особенностью технологии загрузки современных доменных печей с конвейерной подачей шихты на колошник является возможность управления смешиванием различных видов материалов по длине порции, формируемых на конвейере с целью повышения эффективности распределения в доменной печи и увеличения производительности агрегата в целом [1].

Формирование многокомпонентных порций можно осуществить с помощью ЭВМ системы шихтоподачи в процессе разгрузки материалов из весовых воронок на доменный конвейер [2,3].

Для получения требуемых параметров порций необходим регулируемый выпуск шихтовых материалов из весовых воронок с одновременным контролем геометрических параметров шихты на конвейере.

Ранее для управления выпуском магнитных материалов использовались устройства [4-6]. Положительные результаты применения электромагнитного регулятора расхода шихтового материала отмечены в работе [7]. А его использование при формировании смешанной железорудной порции описано в [8].

Однако данные устройства не позволяют регулировать расход шихты при разгрузке из весового бункера в широком диапазоне, с большой точностью и высоким быстродействием. Для решения такой задачи эффективным является применение управляемого электропривода затворов весовых воронок.

Анализ исследований и публикаций. Управление выпуском материала на современных доменных печей осуществляется в основном затвором секторного типа.

Его открытие (закрытие) осуществляется поворотом тяги, связанной с кривошипом, при его повороте на угол 180° после подачи напряжения на электродвигатель. Одновременно подается (снижается) напряжение на электромагнитный тормоз для расторможения (торможения) быстроходно вала редуктора.

В качестве приводного двигателя применяют асинхронный двигатель (АД) с короткозамкнутым ротором, который реализован на базе силовой полупроводниковой техники с применением микропроцессорного управления. Его возможности позволяют организовать регулирование выходных координат электропривода (ЭП) в широком диапазоне, с высоким быстродействием и большой точностью. В качестве силового преобразователя используется преобразователь частоты (ПЧ).

Различают векторное и скалярное управление ЭП.

Характеристики векторной системы и скалярной управления ЭП сведены в табл. 1.

| Показатель | СВУЭП | | Скалярная СУЭП | |
|---------------------------|---|-------------------------|---|-------------------------|
| | без датчика скорости | инкрементальный энкодер | без датчика скорости | инкрементальный энкодер |
| Точность регулирования | 0,2% | 0,02% | 20% | 10% |
| Диапазон регулирования | 1:100 | 1:1000 | (6-10):1 | $\approx 2/S_k$ |
| Метод регулирования | $\psi^2 = \text{const}$ | | $U/f = \text{const}$ | $U/f = \text{const}$ |
| Перегрузочная способность | Постоянная во всем диапазоне частот вращения ротора | | Низкая в области малых частот вращения ротора | |

В таблице обозначено: СВУЭП – система векторного управления электроприводом; S_k - критическое скольжение двигателя; ψ_2 - потокосцепление ротора; U – напряжение на статоре; f – частота напряжения на статоре

Как следует из таблицы, для получения высоких динамических показателей, высокой точности поддержания скорости наиболее предпочтительной является векторная система управления электроприводом. В источниках [9-14] описаны принципы построения системы векторного управления по ориентации потокосцепления ротора. В [12,14] есть примеры синтеза регуляторов, которые можно применить при построении системы управления по структурной схеме [9,11].

Наиболее полно принципы системы векторного управления изложены в [12,14]. В указанных источниках есть сведения о современном построении систем векторного управления, проблемы возникающие при построении таких систем, способы реализации моделей потока и скорости.

Постановка задачи. Целью работы явилась разработка системы управления асинхронным двигателем затвора весовой воронки шихтоподачи доменной печи с конвейерной подачей шихты на колошник для регулирования выпуска материалов на конвейер в процессе формирования многокомпонентных порций.

Изложение материала и исследований. Идея векторной системы управления асинхронным двигателем заключается в реализации раздельного управления скоростью и потокосцеплением. Ток двигателя измеряется в неподвижной системе координат x - y и преобразуется во вращающуюся систему координат α - β (рис. 1).

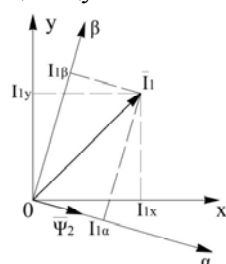


Рис. 1. Система координат α - β в системе координат x - y

При ориентации оси α по вектору потокосцепления ротора одна проекция вектора тока определяет величину потокосцепления, а вторая проекция пропорциональна скорости вращения вала двигателя.

В теории систем управления асинхронными электроприводами нашел место уникальный принцип ориентации системы координат по вектору потокосцепления ротора. В данном случае имитационная модель АД приобретает определенное сходство со структурной схемой машины постоянного тока, где возможно раздельное управление магнитным состоянием и моментом на валу двигателя.

Математически условие ориентации выражается следующим образом

$$\psi_{ry} = 0; \frac{d\psi_{ry}}{dt} = 0; \psi_{rx} = \psi_r \quad (1)$$

где ψ_{ry} и ψ_{rx} - проекции потокосцепления ротора.

Уравнения, описывающие АД в системе координат с принудительной ориентацией по вектору потокосцепления ротора.

$$\begin{cases} \frac{di_{sx}}{dt} = \frac{1}{l_e} (u_{sx} - r_e i_{sx} + k_r a_r \psi_r + l_e \omega_k i_{sy}) \\ \frac{di_{sy}}{dt} = \frac{1}{l_e} (u_{sy} - r_e i_{sy} - k_r \omega_r \psi_r - l_e \omega_k i_{sx}) \\ \frac{d\psi_r}{dt} = r_r k_r i_{sx} - a_r \psi_r; \quad 0 = r_r k_r i_{sy} - \beta_k \psi_r \\ m = k_m \psi_r i_{sy}; \quad \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} (m - m_{напр}) \end{cases} \quad (2)$$

где $i_{sx}, i_{sy}, u_{sx}, u_{sy}$ – составляющие векторов тока и напряжения статора; r_r, a_r, k_r, k_m – коэффициенты, учитывающие параметры АД; r_e - эквивалентное активное сопротивление двигателя

ля; l_e - эквивалентная индуктивность рассеивания двигателя; J, ω_r, m – момент инерции, частота вращения и момент, развиваемый на валу АД; $m_{нагр}$ – момент приложенный к валу двигателя со стороны нагрузки.

В системе β_k представляет собой скольжение системы координат, а ω_k соответственно скорость ее вращения. Данные параметры определяются в соответствии со следующими выражениями

$$\beta_k = \frac{r_r k_r i_{sy}}{\psi_r}; \omega_k = \omega_r + \beta_k . \quad (3)$$

В системе уравнений переменные с индексами «x» и «y» соответствуют компонентам пространственного вектора в координатной системе с ориентацией по вектору потокосцеплений ротора ψ_r . С помощью правил создания и преобразования структурных схем, принятых в теории автоматического управления, представим систему уравнений в виде структурной схемы. На рис. 2 представлена структурная схема, имитационной модели АД в системе координат с ориентацией по вектору потокосцепления ротора ψ_r .

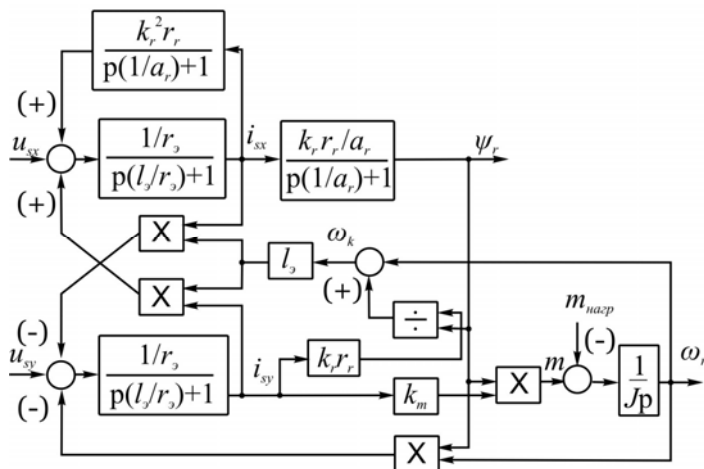


Рис. 2. Структурная схема имитационной модели АД в системе координат с ориентацией по вектору потокосцепления ротора ψ_r

ра, частотой вращения, положением вала двигателя использовался метод определения желаемой передаточной функции с настройкой на модульный оптимум.

При расчете контура управления частотой вращения (в данном случае объект управления содержит интегральное звено) возникла необходимость использования пропорционального регулятора при настройке на модульный оптимум, что делает невозможным получение системы астатической по возмущению. Именно поэтому выполнен расчет двукратно - интегрирующей системы регулирования скорости, а для приближения характеристик контура к характеристикам, соответствующим настройке на модульный оптимум на входе контура установим фильтр в виде аperiодического звена.

Общая схема управления АД представлена на рис. 3.

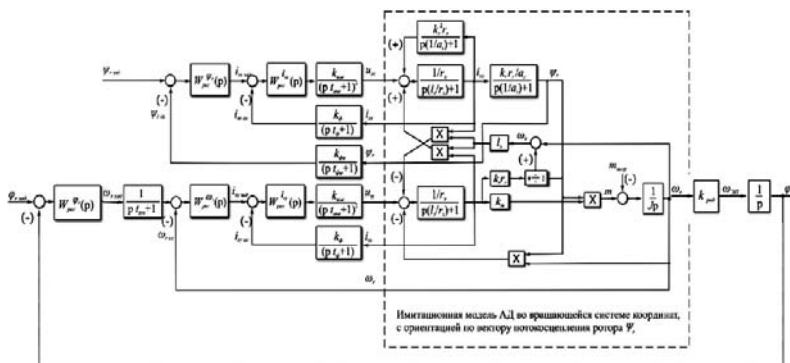


Рис. 3. Общая схема управления АД с векторным управлением с принудительной ориентацией по потокосцеплению ротора

Модель АД, изложенная выше, удобна для реализации и расчета в любом из прикладных программных продуктов, поддерживающих объектно-структурное моделирование систем (Simulink-Matlab, Windora и т.д.).

Моделирование работы электропривода весовых воронок шихтоподачи доменной печи (ДП) объемом 5000 м³ ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог», проведено в среде MATLAB Simulink, обладающей широкими возможностями выполнения математического моделирования, создавая модель из простых

блоков. Также в среде Simulink содержатся блоки, которые позволяют визуализировать процессы моделирования.

На шихтоподаче указанной ДП работают асинхронные двигателя с короткозамкнутым ротором типа АР.

Технические характеристики двигателя АР 83-12: синхронная частота 500 об/мин; номинальная частота вращения 460 об/мин; число пар полюсов 6; мощность 6,7 кВт; пусковой момент 392 Н·м; максимальный момент 395 Н·м; пусковой ток 70А; номинальный ток 17А; $\cos\varphi=0.72$; КПД 83%; $J_{дв}=1.925\text{кг/м}^2$.

Общая схема моделирования в среде Matlab Simulink представлена на рис.4.

На рис. 5 представлены результаты моделирования.

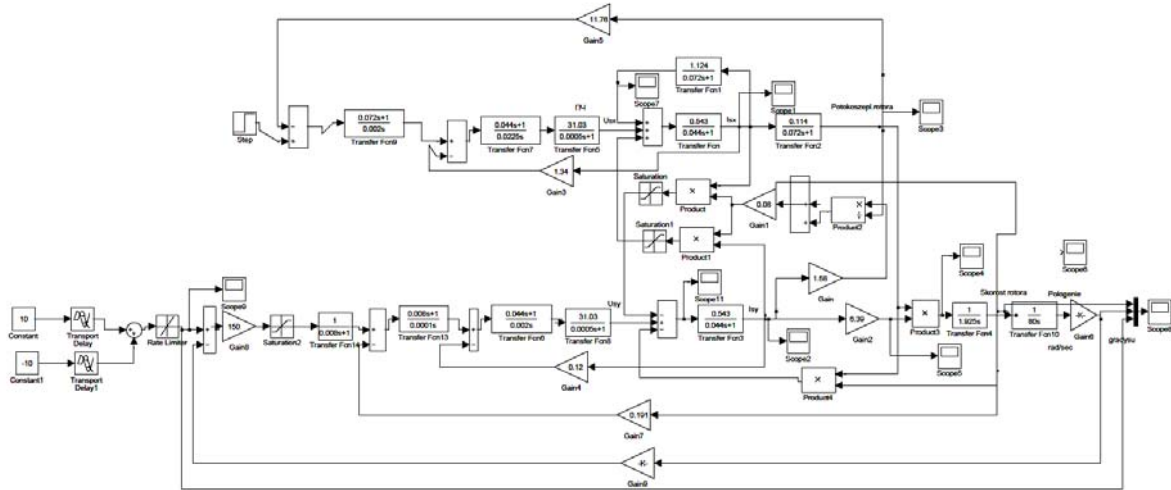


Рис. 4.Общая схема моделирования системы векторного управления АД с ориентацией по потокоцеплению ротора в среде Matlab/Simulink

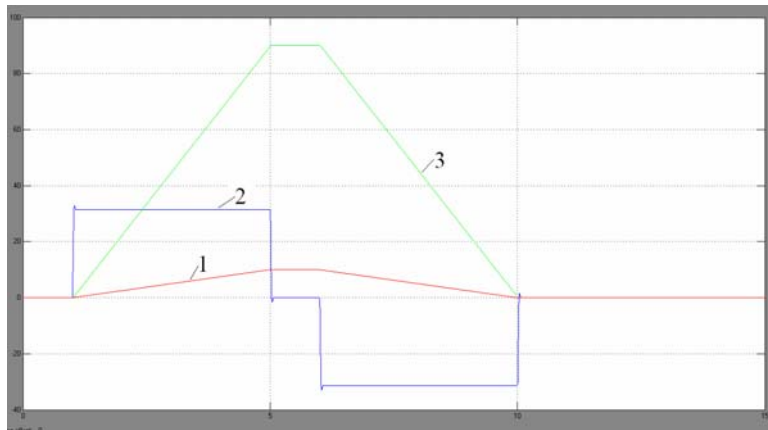


Рис. 5. Результаты моделирования: 1-задание; 2-скорость двигателя; 3-угол перемещения

Результаты работы обеспечивают анализ процессов в электродвигателе при векторном управлении в момент пуска от задатчика интенсивности, работе в установившемся режиме и торможении.

Анализ графиков показывает, что разгон двигателя до установившейся скорости и его торможение составляет 0.1с, перерегулирование 3,8%, статическая ошибка равна 0.

График изменения положения затвора плавно подходит к заданному значению, что обеспечивает отсутствие перерегулирования, а, следовательно, выполняется технологическое требование о точной остановке технологического механизма.

Таким образом, для электропривода весовых воронок доменной печи с конвейерной подачей шихты на колошник наилучшим является векторное управление с ориентацией по потокоцеплению ротора.

Его возможности позволяют организовать регулирование выходных координат электропривода в широком диапазоне, с высоким быстродействием и большой точностью.

Применение такой системы управления позволит реализовать формирование многокомпонентной порции шихты на доменном конвейере в любой последовательности разгрузки весовых воронок.

Список литературы

1. **Большаков В.И.** Теория и практика загрузки доменных печей / **В.И. Большаков.** – М.: Металлургия, 1990. – 255 с.
2. **Праздников А. В.** Системы шихтоподачи в доменном производстве: монография [для инж.-техн. И науч. Работников] / **А. В. Праздников, Е. Я. Клоцман, В. И. Головки.** – М.: Металлургия, 1980. – 200 с.
3. **Клоцман Е.Я.** Системы шихтоподачи доменных печей / **Е.Я. Клоцман.** – Днепропетровск: Пороги, 2007. – 204 с
4. **Гиршман Ю.И., Головки В.И., Дмитриев Э.М. и др.** «Затвор бункера» Авторское свидетельство СССР № 918188. МПК В65Д 90/58. Заявка № 2861017. Приоритет изобретения 02.01.1980. Опубликовано 07.04.1982. Бюллетень №13.
5. **О.Н.Кукушкин, Е.Я.Клоцман, В.И.Головки, Н.Г.Иванча, Э.М.Дмитриев** «Устройство для выпуска ферромагнитных сыпучих материалов из бункера». Авторское свидетельство СССР № 971885. МПК С21В7/20. Заявка № 2979044. Приоритет изобретения 08.07.1980. Опубликовано 07.11.1982. Бюллетень №41
6. **О.Н.Кукушкин, Е.Я.Клоцман, В.И.Головки, Н.Г.Иванча, Н.С.Антипов** «Способ подачи магнитных материалов на доменный конвейер». Авторское свидетельство СССР № 1027217. МПК С21В7/20. Заявка № 3360846. Приоритет изобретения 27.11.1981. Опубликовано 07.07.1983. Бюллетень №25
7. Освоение системы загрузки современной доменной печи/**В.И.Большаков, А.Ю.Зарембо, Н.Г. Иванча** и др.(Обзор.информ.). – М.:Ин-т Черметинформация, 1989. – 53 с.
8. **О.Н.Кукушкин, Е.Я.Клоцман, Н.Г.Иванча и др.** «Способ подачи железорудных материалов на доменный конвейер». Авторское свидетельство СССР № 1539207. МПК С21В7/20. Заявка № 4240722.. Опубликовано 30.01.1990. Бюллетень №4.
9. **Терехов В.М.** Системы управления электроприводов: учебник для студ.вузов/ **В.М. Терехов, О.И. Осипов;** под ред. В.М. Терехова. - 3-е изд., стер. - М.:Издательский центр "Академия", 2008. - 304 с.
10. **Чиликин М. Г.** и др. Теория автоматизированного электропривода: Учеб.пособие для вузов /**Чиликин М. Г., Ключев В. И., Сандлер А. С.** —М.: Энергия, 1979. — 616 с
11. **Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г.** Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. - Л.: Энергоиздат., 1982. - 392с.
12. **Виноградов А.Б.** Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУ ВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина". - 2008. - 298с.
13. **Рудаков В. В.** и др. Асинхронные электроприводы с векторным управлением / **В.В. Рудаков, И.М. Столяров, В.А. Даргау.** - Л.: Энергоатомиздат, 1987. - 136 с.
14. **Соколовский Г.Г.** Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учебн. зав. **Г.Г. Соколовский.** - М.: Академия, 2006. – 272 с.
15. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник. **А.Э. Кравчик, М.М.Шлаф** – М.: Энергоиздат, 1982 – 504 с.

Рукопись поступила в редакцию 20.03.15

УДК 681.513.6: 622.7: 622.34

В.В. ТРОНЬ, канд. техн. наук, доц., К. В. МАЄВСЬКИЙ, магістрант,
Криворізький національний університет

ФОРМУВАННЯ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПОДРІБНЕННЯ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТА

Наведено результати дослідження методів формування автоматизованого керування технологічним процесом подрібнення в умовах нестабільності характеристик залізорудної сировини та невизначеності параметрів технологічного процесу.

Проаналізовано моделі та методи керування процесом подрібнення руди, представленої технологічними різновидами для забезпечення заданої продуктивності технологічних агрегатів.

Розглянуто роботу класичних та адаптивних регуляторів у системі керування завантаженням млина першої стадії подрібнення.

Побудовано модель кульового млина у середовищі імітаційного комп'ютерного моделювання MATLAB/Simulink. Досліджено роботу моделі у системі керування з використанням класичного ПІД-регулятора. Для підвищення якості керування подрібненням досліджено роботу адаптивних регуляторів, що засновані на модернізованих методах Зіглера-Нікольса.

Представлено результати застосування у системі керування адаптивних регуляторів, заснованих на фільтрації диференційного компонента з використанням апроксимації Тастина, методу прямокутної та трапецієвидної дискретизації. У результаті проведених досліджень встановлено, що найкращим регулятором для процесів керування подрібненням технологічних різновидів залізорудної сировини з урахуванням нестационарності характеристик ре-

ального об'єкту керування є адаптивний регулятор Зіглера-Нікольса для процесів третього порядку з фільтрацією диференційного компонента з використанням апроксимації Тастина.

Використання даного регулятора забезпечує меншу похибку керування порівняно з класичним ПІД-регулятором та розглянутими адаптивними регуляторами, яка знаходиться у межах 0,01-0,81%, і забезпечує такі усереднені значення показників якості керування: перерегулювання - 16,7, тривалість перехідного процесу - 69,5 с.

Ключові слова: автоматизація, адаптивне керування, подрібнення руди, ПІД-регулятор.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Процес подрібнення є найбільш енергоємним серед процесів переробки залізорудної сировини на рудозбагачувальній фабриці. Завданням даного процесу є поступове скорочення крупності сировини до необхідного класу (-0,074, -0,05, 0,045 мм), залежно від стадії подрібнення.

Перша стадія подрібнення є визначною в питанні подальшої якості продукту, тому підвищення ефективності автоматизованого керування та модернізація обладнання, а саме: млина, живильників, трубопроводів є основним завданням для забезпечення необхідної якості й зниження собівартості концентрату [1].

Як узагальнений критерій ефективності процесу подрібнення зазвичай використовують кількість рудного матеріалу, необхідного класу крупності у зливі класифікатора, що працює у замкнутому циклі з млином.

Цей показник залежить від ряду факторів, які постійно змінюються, зокрема, характеристик сировини, режимних параметрів керування.

Кульовий млин потребує чіткого та налагодженого алгоритму завантаження сировини, що дає можливість ефективного використання, як самого млина, так і сировини, що перероблюється [2]. Одним із шляхів підвищення ефективності процесів керування подрібненням є застосування методів адаптивного керування.

Адаптивні системи керування пристосовують регулюючі впливи до зміни параметрів системи та керують об'єктом враховуючи нові умови та зміну параметрів, наприклад, мінливість характеристик залізорудної сировини, що подається на подрібнення до кульового млина [3].

Досвід застосування адаптивних систем показує доцільність їх впровадження при керуванні технологічними процесами гірничорудних підприємств, що дозволяє підвищити точність та стійкість систем керування і, як наслідок, покращити показники якості технологічних процесів переробки залізорудної сировини [4-8].

Аналіз досліджень та публікацій. Методи оперативного контролю якості залізорудної сировини на різних етапах її переробки з використанням сучасних методів досліджувались у працях [9,10].

Під час процесу видобутку залізорудної сировини виробляється неоднорідна руда, що приводить до нестійкості характеристик мінеральної сировини, яка надходить на збагачення [11,4,7-8].

Завдання формування автоматизованого керування з урахуванням факторів енергоефективності, екологічної безпеки та економічної продуктивності гірничозбагачувального комбінату розглянуто у роботах [4-8,12-14].

Для ефективної роботи кульових млинів необхідно дотримуватися певного співвідношення між величиною куль і шматків руди, що завантажуються до робочої ємності млина [13,14].

Для кульового млина керуючими впливами є продуктивність по вихідній руді, витрати води.

Впливами збурення є зміни характеристик сировини (твердість, подрібнюваність, гранулометричний склад тощо), витрата піску (т/г), стан тіл, що подрібнюють, футерування.

Вихідними показниками процесу подрібнення є: щільність пульпи, склад готового класу (% класу -0,074 мм), продуктивність по готовому класу в зливі млина, потужність, яку споживає електродвигун [14-15].

У роботі [4] технологічний процес збагачення магнетитових кварцитів запропоновано розглядати як багатовимірну дискретну систему у матрично-векторній формі.

Для ідентифікації технологічних процесів (ТП) збагачення як багатозв'язних нелінійних динамічних об'єктів запропоновано використовувати багатовимірні аналоги нейромережевих предикторів: NNARX, NNARXMAX, NNOE.

Для автоматизованого керування локальними процесами, переважну більшість яких складають схеми типу SISO (один вхід - один вихід), використовуються інверсні динамічні моделі.

У основу запропонованого у праці [6] методу синтезу адаптивних ARMA-систем керування технологічними процесами покладено застосування структури різницевої моделі $ADL(p,q)$.

Адаптивні властивості таких моделей отримано за рахунок застосування розробленого методу нейроморфного настроювання вагових коефіцієнтів $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ у дискретній адаптивній структурі ARMABiS, яка розроблена на базі визначення еталонного значення $y^*(t)$ вихідної координати об'єкта керування $y(t)$ у дискретній $MA(q)$ -моделі з розподіленим лагом порядку $(0, q)$.

У роботі [8] запропоновано гібридну математичну модель замкнутого циклу подрібнення руди, аналітична частина якої описує рудопотоки і змінення гранулометричного складу перероблюваної руди в технологічних агрегатах, а для формування функцій розділення і подрібнення використовуються нечіткі правила Такагі-Сугено.

Відзначається, що основним завданням керування роботою збагачувального обладнання, зокрема, гідроциклону, є забезпечення такого режиму функціонування, який гарантує необхідний для ефективного розкриття вкраплень корисного компонента гранулометричний склад рудного матеріалу.

Отже, застосування адаптивних систем зі складними алгоритмами функціонування у процесі керування процесами переробки залізородної сировини забезпечується високим рівнем розвитку сучасних засобів обчислювальної техніки.

Разом з тим, такий підхід не виключає складнощів забезпечення достатньо якісного керування показниками ефективності технологічних процесів та необхідності забезпечення стабільності роботи системи при змінненні її параметрів.

Тому, доцільно розглянути методи адаптивного керування, що використовують оперативні дані про внутрішній стан об'єкта і апріорну інформацію про закономірності подрібнення у поєднанні з класичними методами регулювання.

Постановка завдання. Дослідити роботу адаптивних регуляторів у системі керування завантаженням кульового млина в умовах дії на систему параметричних та координатних збурень.

Викладення матеріалу та результати. Система автоматичного керування (САК) млином працює у відповідності до принципу керування за відхиленням дійсного значення вихідної величини об'єкта від заданого значення.

Як об'єкт дослідження використано математичну модель процесу подрібнення в кульовому млині, представлену у роботі [14].

Залежність між виходом заданого класу крупності та витратою руди в млині нелінійні. На схемі (рис. 1) позначено: $X_{шм}$ - кількість класу 0.074 мм у подрібненні руді.

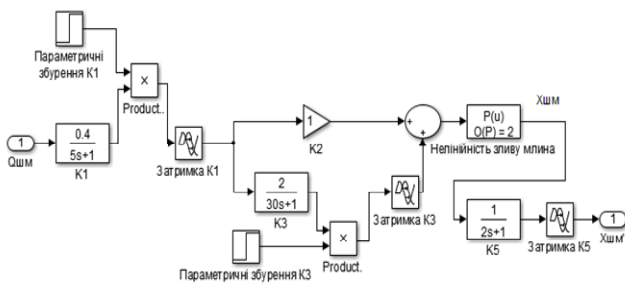


Рис. 1. Модель кульового млина в Simulink

параметричних та координатних збуреннях.

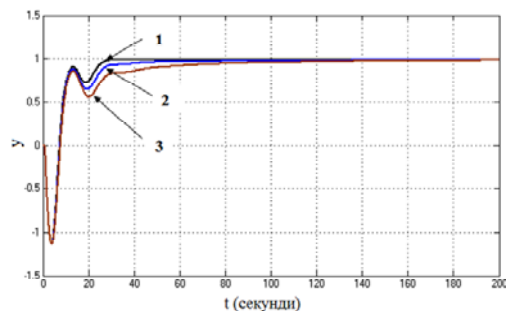


Рис. 2. Регулювання роботи САК процесу подрібнення ПІД-регулятором зі зміною коефіцієнтів $K1$ та $K3$, відповідно: 1-максимальні, 2-середні, 3-мінімальні значення

Параметричні збурення реалізовано у вигляді зміни коефіцієнту в передаточних функціях $K1$ та $K3$ (див. рис. 1).

Значення змінювались в межах, зазначених у праці [14].

ПІД-регулятор має кращі показники регулювання у випадку, коли значення коефіцієнтів $K1$ та $K3$ наближаються до максимальних, для яких він і був налагоджений. При дії на систему випадкових параметричних збурень система виходить з рівноваги.

На рис. 1 за допомогою блоку «Параметричні збурення К1» та «Параметричні збурення К3» реалізовано можливість імітування випадкових змін параметрів у межах $\pm 10\%$ від номінального значення, а саме зміну коефіцієнтів «К1» та «К3» відповідних передаточних функцій.

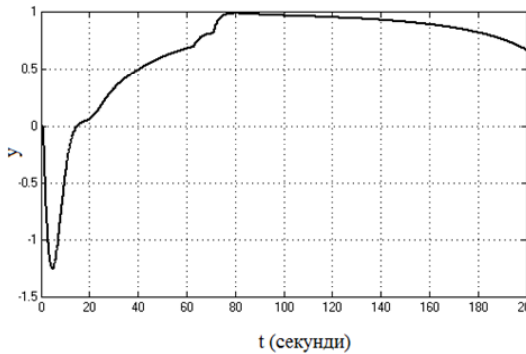


Рис. 3. Перехідний процес моделі подрібнення із випадковою зміною коефіцієнтів К1 та К3

Аналіз роботи ПІД-регулятора (рис. 3) показує доцільність використання в контурі управління адаптивного регулятора, який дозволив би у ході технологічного процесу оцінювати змінні параметри та за результатами оцінок коригувати параметри регулятора для того, щоб у всіх можливих режимах роботи млина гарантовано забезпечувати стійке та якісне регулювання.

Тому було розглянуто систему керування з застосуванням декількох різновидів адаптивних регуляторів, запропонованих у праці [16].

Математичний опис адаптивних регуляторів має наступну форму.

Контролер Зіглера-Нікольса (ЗН) для процесів 3 порядку з фільтрацією диференційного компонента (ФДК) з використанням апроксимації Тастина.

Закон керування [16]

$$u_k = q_0 e_k + q_1 e_{k-1} + q_2 e_{k-2} - p_1 u_{k-1} - p_2 u_{k-2},$$

де e_k - похибка керування ($e_k = w_k - y_k$). Параметри регулятора розраховуються за формулами

$$q_0 = K_p \frac{1 + 2(c_f + c_d) + \frac{c_i}{2}(1 + 2c_f)}{1 + 2c_f}; \quad q_1 = K_p \frac{\frac{c_i}{2} - 4(c_f + c_d)}{1 + 2c_f}; \quad q_2 = K_p \frac{c_f(2 - c_i) + 2c_d + \frac{c_i}{2} - 1}{1 + 2c_f}; \quad (1)$$

$$p_1 = \frac{-4c_f}{1 + 2c_f}; \quad p_2 = \frac{2c_f - 1}{1 + 2c_f}; \quad c_f = \frac{T_f}{T_o}; \quad c_i = \frac{T_o}{T_i}; \quad c_d = \frac{T_D}{T_o}; \quad (2)$$

$$K_p = 0,6K_{pu}; \quad T_i = 0,5T_u; \quad T_D = 0,125T_u; \quad T_f = \frac{T_D}{\alpha}; \quad (3)$$

де K_{pu} - кінцеве підсилення, T_u - кінцева частота, T_o - період опитування регулятора, T_D - постійна часу диференціювання, T_i - постійна часу інтегрування, α - коефіцієнт фільтрації для вихідного сигналу (приймається в межах $3 < \alpha < 20$). Коефіцієнти c_f, c_i, c_d - введено для зручності зображення формул.

Закон керування ПІД-регулятора ЗН для процесів 2 порядку, що заснований на методі прямої прямокутної дискретизації (ППД) має такий вигляд [16]

$$u_k = K_p \left[e_k - e_{k-1} + \frac{T_o}{T_i} e_{k-1} + \frac{T_D}{T_o} (e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}) \right] + u_{k-1}, \quad (4)$$

де e_k - похибка керування ($e_k = w_k - y_k$). Цей закон керування може бути трансформований до форми зворотного зв'язку

$$u_k = q_0 e_k + q_1 e_{k-1} + q_2 e_{k-2} + u_{k-1} \quad (5)$$

Параметри регулятора розраховуються за формулами

$$q_0 = K_p \left((1 + T_D/T_o) \right); \quad q_1 = -K_p \left(\left(1 - \frac{T_o}{T_i} + 2 \frac{T_D}{T_o} \right) \right); \quad q_2 = K_p \frac{T_D}{T_o}; \quad (6)$$

$$K_p = 0,6K_{pu}; \quad T_i = 0,5T_u; \quad T_D = 0,125T_u, \quad (7)$$

де K_{pu} - кінцеве підсилення, T_u - кінцева частота, T_o - період опитування регулятора, T_D - постійна часу диференціювання, T_i - постійна часу інтегрування.

Закон керування ПІ-регулятора ЗН для процесів 2 порядку на основі методу *трапецевидної* дискретизації (ТД) визначається залежністю [16]

$$u_k = K_p \left[e_k - e_{k-1} + \frac{T_o}{T_I} \cdot \frac{e_k - e_{k-1}}{2} \right] + u_{k-1}, \quad (8)$$

де e_k - похибка керування ($e_k = w_k - y_k$). Цей закон керування може бути трансформований до форми зворотного зв'язку

$$u_k = q_0 e_k + q_1 e_{k-1} + u_{k-1}. \quad (9)$$

Параметри регулятора розраховуються за формулами

$$q_0 = K_p \left(1 + \frac{T_o}{2T_I} \right); \quad q_1 = -K_p \left(1 - \frac{T_o}{2T_I} \right); \quad K_p = 0.6K_{Pu}; \quad T_I = 0.5T_u, \quad (10)$$

де K_{Pu} - кінцеве підсилення, T_u - кінцева частота, T_o - період опитування регулятора, T_I - постійна часу інтегрування.

Перехідні процеси адаптивних регуляторів, що були дослідженні під час керування роботи моделі кульового млина відображені на одному графіку та відображено на рис.4.

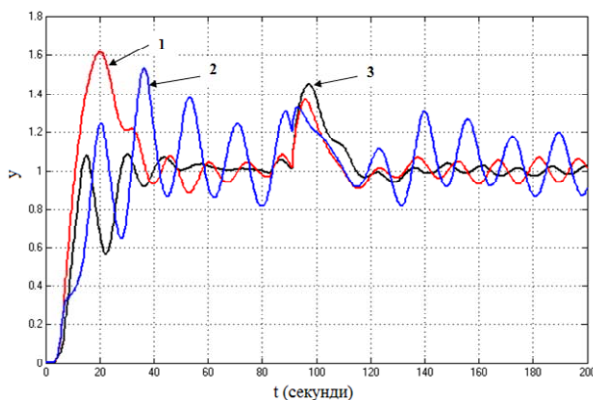


Рис. 4. Приклад роботи регуляторів зі зміною параметрів системи під час роботи: 1 - ЗНФДК 3-го порядку; 2 - ЗНППД 2-го порядку; 3 - ЗНТД 2-го порядку

Адаптивні регулятори Зіглера-Нікольса для процесів 3 порядку з фільтрацією D -компонента з використанням апроксимації Тастіна, ПІД-регулятор Зіглера-Нікольса для процесів 2 порядку, що заснований на методі прямої прямокутної дискретизації, ПІ-регулятор Зіглера-Нікольса для процесів 2 порядку на основі методу **трапецеїдальної** дискретизації було використано для керування процесом подрібнення технологічних різновидів залізородної сировини в кульовому млині.

Найбільш показові результати моделювання наведено у табл. 1.

Найбільш показові результати моделювання наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння показників якості керування з використанням адаптивних регуляторів

| Тип регулятора | Значення коефіцієнтів | Час перехідного процесу | Перерегулювання | Усталене значення |
|--------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|
| ЗНФДК 3-го порядку | K1-0,35; K3-1; | 69,5 | 16,7 | 1,004 |
| ЗНФДК 3-го порядку | K1-0,35; K3-2; | 91,1 | 29,8 | 1,005 |
| ЗНППД 2-го порядку | K1-0,35; K3-1; | 85,0 | 53,7 | 1,006 |
| ЗНППД 2-го порядку | K1-0,35; K3-2; | 146,0 | 70,4 | 1,006 |
| ЗНТД 2-го порядку | K1-0,35; K3-1; | 66,9 | 48,4 | 0,9966 |
| ЗНТД 2-го порядку | K1-0,4; K3-1; | 51,8 | 74,1 | 0,8872 |

У результаті проведених досліджень встановлено, що найкращим регулятором для системи автоматичного керування процесом подрібнення залізородної сировини є адаптивний регулятор Зіглера-Нікольса для процесів 3 порядку з фільтрацією D -компонента з використанням апроксимації Тастіна.

Даний регулятор забезпечує такі результати: перерегулювання - 16,7, час встановлення перехідного процесу - 69,5 с (рис. 5).

Тому застосування цього регулятора є виправданим з точки зору забезпечення частки необхідного класу крупності у зливі млина.

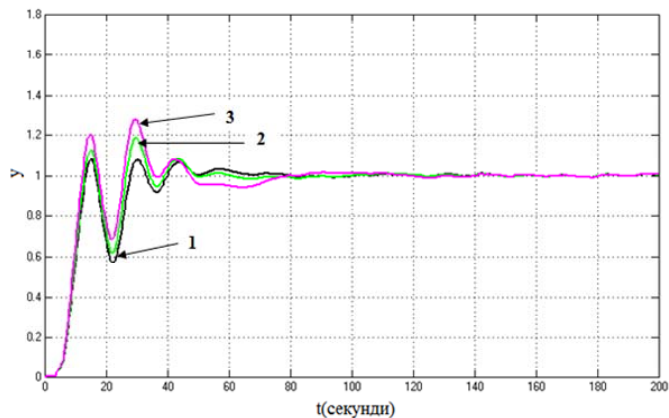


Рис. 5. Перехідний процес контролера Зіглера-Нікольса для процесів 3 порядку з фільтрацією D -компонента з використанням апроксимації Тастина при різних значеннях коефіцієнтів $K1$ та $K3$: 1 – мінімальних; 2 – середніх; 3 – максимальних

Висновки та напрямки подальших досліджень. Для системи автоматичного керування процесом подрібнення залізородної сировини в умовах дії на систему параметричних та координатних збурень найкращим виявився регулятор Зіглера-Нікольса для

процесів 3 порядку з фільтрацією D -компонента на основі апроксимації Тастина.

Він забезпечує меншу похибку керування порівняно з класичним ПІД-регулятором, яка становить 0,01-0,81%.

Напрямом подальших досліджень є вдосконалення процесів керування подрібненням залізородної сировини з урахуванням багатомірності реальних об'єктів керування.

Подальші дослідження доцільно здійснювати у напрямку побудови багатоканальних адаптивних систем керування технологічними процесами переробки залізородної сировини в умовах гірничо-збагачувальних комбінатів.

Список літератури

1. Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1980. - 415 с.
2. Morkun V., Tron V. Automation of iron ore raw materials beneficiation with the operational recognition of its varieties in process streams, Metallurgical and Mining Industry, 2014, No6, pp. 4-7: http://www.metaljournal.com.ua/assets/MMI_2014_6/1-MorkunTron.pdf.
3. Пивняк Г.Г., Вайсберг Л.А., Кириченко В.И., Пилов П.И., Кириченко В.В. Измельчение. Энергетика и технология. Учебное пособие для ВУЗов. - М.: Изд. дом "Руда и металлы", 2007. - 296с.
4. Купін А. І. Узгоджене інтелектуальне керування стадіями технологічного процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах невизначеності: дис. ... докт. техн. наук: 05.13.07 / Купін Андрій Іванович. – Кривий Ріг, 2009. – 463 с.
5. 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.
6. Щокін В. П. Адаптивне керування агломераційним комплексом на основі авторегресійних структур з регуляризацією : дис. ... докт. техн. наук: 05.13.07 / Щокін Вадим Петрович. – Кривий Ріг, 2012. – 443 с.
7. Моркун Н.В. Адаптивна система управління процесом магнітної сепарації залізних руд на базі засобів ультразвукового контролю / Н.В. Моркун: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Кривий Ріг, 2005. – 24 с.
8. Подгородецкий Н.С. Энергоэффективное адаптивное управление замкнутым циклом измельчения руды на базе гибридной нечёткой модели / Н.С. Подгородецкий: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Кривий Ріг, 2011. – 24 с.
9. Morkun V. S., Morkun N. V, Pikilnyak A.V. Ultrasonic facilities for the ground materials characteristics control / Morkun V. S., Morkun N. V, Pikilnyak A.V // Metallurgical and mining industry. – Dnipropetrovsk. – 2014. - No. 2. Режим доступу: <http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/a6.pdf>. – P. 31 – 35.
10. Morkun V., Morkun N., Pikilnyak A. The study of volume ultrasonic waves propagation in the gas-containing iron ore pulp, Ultrasonics, No 56C, (2015), p.p. 340-343.
11. Morkun V., Tron V. Ecological and economic optimization of iron ore processing automated control, Metallurgical and Mining Industry, 2014, No5, p.p. 8-11. – Available online: <http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/2-Morkun-Tr.pdf>.
12. Morkun V., Tron V. Ore preparation multi-criteria energy-efficient automated control with considering the ecological and economic factors, Metallurgical and Mining Industry, 2014, No5, p.p. 4-7: <http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/1-MorkunTron.pdf>.
13. Линч А.Д. Циклы дробления и измельчения: моделирование, оптимизация, проектирование и управление - М., Недра, 1981. 343 с.
14. Нестеров Г.С. Технологическая оптимизация обогатительных фабрик - М: Недра, 1976. -120 с.
15. Марюта А.Н., Качан Ю.Г., Бунько В.А. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик. Учебное пособие для студентов вузов М. Недра, 1983г. 277 с.
16. Self-Tuning Controllers Simulink Library [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL <http://www.utb.cz/stctool/>. – Назва з екрана.

Д.В. ГУЩИН, магістрант, Ю.Б. ФІЛІПП кандидат техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ УСТАНОВОК ВАКУУМНОЇ МЕТАЛІЗАЦІЇ РУЛОННИХ МАТЕРІАЛІВ

Питання підвищення ефективності енерговикористання та енергозбереження набувають все більшої актуальності. Використання регульованих електроприводів для забезпечення якості технологічних процесів сприятливо впливає як на якість технологічної продукції так і на зменшення споживання активної енергії. В свою чергу, сучасний регульований електропривод здійснюється засобами перетворювальної техніки, які сприймаються мережею як нелінійні елементи, що суттєво впливає на показники якості споживання електроенергії. Відомо, що якість електроенергії безпосередньо впливає на збільшення збитків на промислових підприємствах, у тому числі, і до підвищення втрат електроенергії.

Електроприводи як електромеханічні об'єкти управління сучасних промислових агрегатів характеризуються досить складною механічною частиною, яка являє собою багатомасову систему з пружними зв'язками та зазорами в них. Крім того, робочі органи окремих механізмів, складних технологічних комплексів можуть бути пов'язані між собою через оброблюваний матеріал або виріб. Електрична частина електроприводів може бути багатодвигунною і виконуватися з живленням електродвигунів як від загальних, так і від індивідуальних перетворювачів, що визначає їх взаємний вплив один на одного.

На основі технологічних параметрів вакуумної установки, особливостей режимів роботи багатодвигунного електропривода перемотувального пристрою для металізації тонких рулонних матеріалів (плівка, папір) для одностороннього та двохстороннього алюмініювання були розглянуті зміни параметрів електропривода в статичних і динамічних режимах роботи. Також були визначені та побудовані енергетичні показники електроприводів установок.

Ключові слова: електропривод, двигун, плівка, пристрій, вакуумна установка.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Вакуумні покриття широко використовуються в різних галузях промисловості при розробці матеріалів з новими властивостями і з новими характеристиками. Технології і обладнання у цій галузі швидко розвиваються і удосконалюються, розробляються високоефективні випарні й розпилювальні установки. Для перемотування рулонних матеріалів в вакуумі необхідно використовувати швидкодіючі електроприводи постійного або змінного струму. Питання якості підтримання натягу полімерних плівок товщиною 3-20 мкм при швидкостях перемотування до 15 м/с досить актуальні для вакуумних установок [1,4,5,7]. Регульований електропривод з мікропроцесорним керуванням дозволяє оптимізувати характеристики електропривода перемотувального пристрою (потужність, струм) у відповідності з поточними вимогами, забезпечити надійність роботи електрообладнання у робочих та енергетичних режимах.

Аналіз досліджень та публікацій. На основі технологічних параметрів вакуумної установки, особливостей режимів роботи багатодвигунного електропривода перемотувального пристрою для металізації тонких рулонних матеріалів (плівка, папір) для одностороннього та двохстороннього алюмініювання були розглянуті зміни параметрів електропривода в статичних і динамічних режимах роботи.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз силових схем і способів керування електроприводами вакуумної установки, дослідження енергетичних характеристик електроприводів перемотувального пристрою та розробка заходів з підвищення надійності роботи установок.

Викладення матеріалу та результати. При проведенні досліджень були проаналізовані методи і обладнання вакуумної металізації полімерних плівок та паперу, силові схеми електроприводів і системи регулювання параметрів перемотувальних пристроїв рулонних матеріалів та розглянута розрахункова схема багатомасової механічної системи вакуумної установки. Також був проведений аналіз структур систем керування електроприводами механізмів вакуумної установки з урахуванням зміни радіусів розмотки і намотки рулонів матеріалу.

Дослідження динаміки робочих режимів вакуумної установки було проведено з використанням пакету MATCAD. Проаналізовано показники якості регулювання моменту, натягу та споживаних потужностей при пуску, усталеному режимі та при зупинці. Також були розглянуті і визначені зміни енергетичних показників електроприводів при перемотуванні матеріалу [2,3,6]:

коефіцієнт зсуву

$$K_{\Sigma}(t) = \frac{P_{\Sigma}(t, k)}{\sqrt{P_{\Sigma}(t, k)^2 + Q_{\Sigma}(t, k)^2}}; \quad (1)$$

коефіцієнт потужності

$$K_{\text{н}\Sigma}(t, k) = \frac{P_{\Sigma}(t, k)}{\sqrt{P_{\Sigma}(t, k)^2 + Q_{\Sigma}(t, k)^2 + D_{\Sigma}(t, k)^2}}; \quad (2)$$

коефіцієнт спотворення

$$K_{\text{сп}\Sigma}(t, k) = \frac{\sqrt{P_{\Sigma}(t, k)^2 + Q_{\Sigma}(t, k)^2}}{\sqrt{P_{\Sigma}(t, k)^2 + Q_{\Sigma}(t, k)^2 + D_{\Sigma}(t, k)^2}}, \quad (3)$$

де $P_{\Sigma}(t, k)$ - активна потужність системи, Вт; $Q_{\Sigma}(t, k)$ - реактивна потужність системи, вар; $D_{\Sigma}(t, k)$ - потужність спотворення, Вт; $k=1, 2, \dots, n$ - номер гармоніки.

Результати розрахунків показано на рис.1,3.

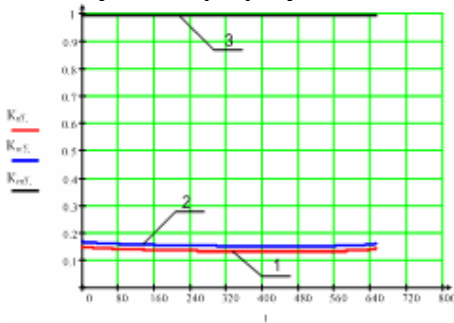


Рис. 1. Графік розподілу енергетичних показників системи електропривода: 1 - коефіцієнт потужності, 2 - коефіцієнт зсуву, 3 - коефіцієнт спотворення

Як видно з графіків рис. 1 коефіцієнт потужності й коефіцієнт зсуву є дуже низькими.

Це пояснюється тим, що реактивна потужність є набагато більшою від активної, як видно з рис. 2.

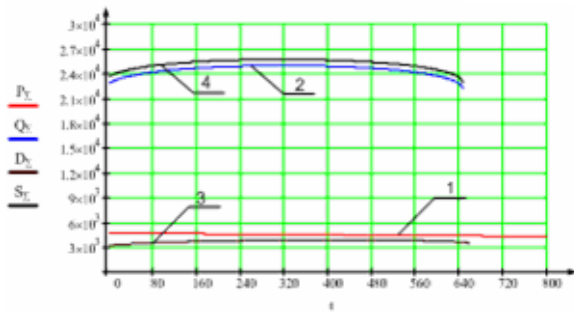


Рис. 2. Графік розподілу потужності всієї системи електропривода: 1 - активна потужність; 2 - реактивна потужність; 3 - потужність спотворення; 4 - повна потужність

Тому необхідно впровадити технічне рішення, яке б дозволило компенсувати реактивну потужність та збільшити енергетичні показники.

Було запропоновано варіант впровадження компенсаторів реактивної потужності. В якості компенсаторів найчастіше використовуються конденсаторні батареї (рис. 3) [8,9,12].

Рис. 3. Конденсаторна установка



Такий метод компенсації дозволить знизити витрати на оплату електроенергії; придушити мережеві перешкоди; розвантажити живлячі лінії електропередач; підключитись до будь-якої точки електромережі

Компенсаційну реактивну потужність визначаємо за формулою [10,11]

$$Q_K(t, k) = P_{\Sigma}(t, k) \cdot (\text{tg} \varphi_1 - \text{tg} \varphi_2),$$

де $P_{\Sigma}(t, k)$ - активна потужність системи, Вт; $\text{tg} \varphi_1, \text{tg} \varphi_2$ - коефіцієнти, які узгоджуються зі значеннями коефіцієнту потужності згідно з таблиці.

Значенню $\text{tg} \varphi_1$ відповідає значення існуючого коефіцієнта потужності, значенню $\text{tg} \varphi_2$ відповідає значення коефіцієнта потужності, яке ми хочемо отримати.

У результаті отримуємо, що необхідно компенсувати 30 квар реактивної потужності, як видно із рис.4.

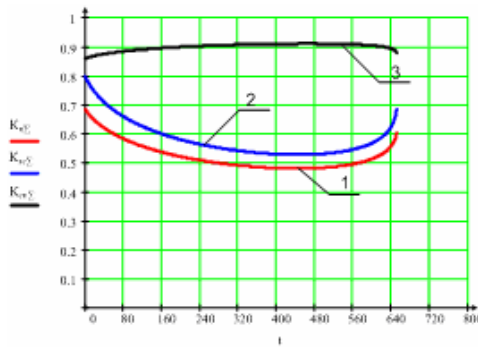


Рис.4. Графік розподілу енергетичних показників електропривода при використанні компенсатора реактивної потужності: (1-коефіцієнт потужності, 2-коефіцієнт зсуву, 3-коефіцієнт спотворення)

Як видно із рис. 4. значення енергетичних показників значно збільшилися. Це доводить, що використання конденсаторних установок має великий потенціал.

Висновки та напрямок подальших досліджень.

Виконано аналіз динамічних і енергетичних характеристик електроприводів перемотувального пристрою вакуумної установки. Впроваджено технічне рішення, яке

дозволило компенсувати реактивну потужність та збільшити енергетичні показники установки вакуумної металізації.

Список літератури

Ройх И.Л., Колтунова Л.Н., Федосов С.Н. Нанесение защитных покрытий в вакууме / - М.: Машиностроение, 1976. – 369 с.

Егоров В.Н., Шестаков В.М. Динамика систем электропривода. - Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 216 с.

3. Яворский В.Н., Макшанов В.И., Ермолин В.П. Проектирование нелинейных систем с тиристорным управлением исполнительным двигателем. Л.: Энергия, 1978, - 208 с.

4. Алатырев М.С., Лазарев С.А., Серков О.А. Компенсация динамических натяжений бумаги в продольно-резательных станках.-В кн.: Электрооборудование промышленных предприятий. Вып.6.-Чебоксары: Чув.госуниверситет, 1978, с.100-106.

5. Песьяков Г.Н. Регулирование натяжения бумажного полотна.-М.:Лесная промышленность, 1976, 136 с.

6. Смирнов Ю.Н., Столяров А.В. Исследование намотки рулонов на накатах отделочных станков. В сб.: Бумагоделательное машиностроение. - Л.: ЦНИИБуммаш, 1978, вып.23, -55-59 с.

7. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов / Учебник для вузов/ Ключев В.И., Терехов В.М. // - М.: Энергия, 1980. - 360 с.

8. Барышников В.Д., Куликов С.Н. Автоматизированные электроприводы машин бумагоделательного производства. Л.:Энер-гоиздат, 1982.

9. Зеленов А.Б., Теория электропривода Часть I: Учебн. пособ./ А.Б. Зеленов. – Алчевск: ДонГТУ, 2005 0 394 с.

10. Fryze S. Wrink-, Blind-, and Scheinleistung in Elektrischen Stromkreisen mit Nichtsinusoidalem Verlauf von Strom und Spannung / S. Fryze // Elekt. Zeitschrift – 1932. – Vol. 53. – № 25. – P. 596-599.

11. Czarnicki L.S. Currents' Physical Components (CPC) concept: a fundamental of Power Theory / L.S. Czarnicki // Przegląd elektrotechniczny, R84. – 2008. – No. 6. – P. 28-37.

12. Some hardware and software developments for testing electric motors // Nivinski S./ Warszawa, Institut electrotechniki. 1988. № 151. - С 46-51

Рукопис подано до редакції 26.03.15

УДК 658.011.56

В.А. КОНДРАТЕЦ, канд. техн. наук, проф., А.Н. МАЦУЙ, канд. техн. наук, доц.
Кировоградский национальный технический университет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОСНОВА СОЗДАНИЯ СРЕДСТВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕЛЬЧАЕМОЙ РУДЫ

Приведены результаты исследования измельчаемости руд на примере отдельного карьера и ее связи с содержанием общего железа и железистых соединений. Руды дробились лабораторной щековой дробилкой и измельчались в лабораторной шаровой мельнице. Измельчаемость отдельных руд определялась по отношению к показателю одной из этих руд, принятой за эталонную. Измельчаемость руд не одинакова и сильно зависит от времени измельчения. Сравнение показателей осуществлялось при одинаковом времени измельчения. Содержание магнитного железа определялось измерителем магнитной фракции и химическим анализом, другие составляющие находились химическим анализом. Плотность руд находили лабораторным путем. На стенде исследовали взаимодействие потока руды с упругим стержнем на различных типах руды и ее крупности. Установлено тесную линейную корреляционную связь между амплитудой и числом выбросов случайного процесса за определенный уровень и произведением средневзвешенного размера кусков руды и сопротивлением измельчению. Такая же связь установлена между максимальным

значением деформации упругого элемента, на котором разрушается образец материала определенного размера и типа руды. Перспективно использовать и средства визуального контроля руд

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. В данное время все большую часть сырья черной металлургии получают путем обогащения бедных железных руд. Одним из наиболее энерго- и материалоемких процессов при этом есть измельчение руд в барабанных мельницах. Отсутствие эффективных средств идентификации характеристик перерабатываемых руд и систем управления измельчением приводит к тому, что барабанные мельницы сильно перерасходуют электрическую энергию, мелющие тела и футеровку с одновременным недополучением значительного количества готового продукта. Это сильно снижает эффективность обогатительных процессов, что не соответствует основным положениям Государственной научно-технической программы «Ресурсосохраняющие технологии нового поколения в горнометаллургическом комплексе». Поэтому тема статьи, посвященной решению части этой задачи, является актуальной. Материалы данной статьи получены в процессе выполнения научно-исследовательской темы «Компьютеризированная система идентификации загрузки шаровых мельниц при управлении измельчением руды» (государственный регистрационный номер 0109U007939).

Анализ исследований и публикаций. Решением задачи автоматического управления измельчением руды в барабанных мельницах длительное время занимаются и отечественные, и зарубежные ученые. В различные годы эту задачу решают А.А. Азарян, Е.А. Арефьев, Л.М. Барский, В.А. Бунько, В.А. Воронов, И.Г. Гринман, А.А. Иванов, Ю.Г. Качан, В.З. Козин, Е.В. Кочура, А.И. Купин, А.Н. Марюта, В.С. Моркун, В.М. Назаренко, В.С. Процунто, А.Е. Троп, В.П. Хорольский, Д. Ватсон, Л. Линч, Д. Паунолл и др. Анализ состояния решения данной проблемы сделан в работе [1], где показано, что необходимое качество управления не достигнуто, решать задачи следует на основе новых более прогрессивных информационных средств. В разработку средств контроля параметров исходной руды значительный вклад внесли А.А. Азарян, Т.И. Гуленко, А.А. Иванов, Б.И. Кауль, Б.А. Коряков-Савойский, А.И. Купин, В.И. Лопатин, А.Н. Марюта, В.С. Моркун и др. Однако современных технических средств, основанных на энергии разрушения упругих тел или их взаимодействии с упругими элементами никто не разрабатывал.

Постановка задания. Целью данной работы является поиск технологических предпосылок и экспериментальное подтверждение основ создания средств идентификации характеристик измельчаемой руды.

Изложение материала и результаты. На магнитообогажительных фабриках руды измельчаются в шаровых мельницах, которые отличаются высоким удельным расходом энергии [2], который необходимо снижать. Это не в последнюю очередь связано с прочностью горных пород, теории которых не используют физической сущности прочности твердых тел. В частности, оказывается, что экспериментально полученные механические напряжения в сотни, а иногда и тысячи раз меньше теоретических [3]. Резкое уменьшение прочности материалов связывают с наличием и созданием микротрещин в объеме тела [4]. Крепость кусков руды зависит от их крупности, исходя из того, что чем больший размер образца, тем вероятнее наличие микротрещин, по которым может происходить разрушение. Этим, в частности, объясняют изменение относительной скорости измельчения материала с уменьшением его крупности, которую наблюдают в экспериментах [5]. Однако эти закономерности относятся к более тонкому измельчению материалов. Как утверждается в [6], это касается достаточно мелких частиц. Крепость частиц, более крупных этих размеров, независима от их размеров [6]. Экспериментально также подтверждено, что прочность частиц неправильной формы слабо зависит от их размеров [6].

Важным при разрушении является изменение скорости нагружения и деформации, а также связь между ними [7]. Определяющими параметрами разрушения являются три константы материала: статическая прочность, статическая вязкость разрушения (трещиностойчивость) и структурное время разрушения [8]. В соответствии с современным представлением, крохкое разрушение твердого тела осуществляется в две фазы. В первой фазе возникает упругая деформация. При сжатии в толще тела с микродефектов вследствие возникновения поперечных растягивающих напряжений, которые создают граничные нагружения, возникают трещины. Во второй фазе осуществляется разрушение тела. Наиболее благоприятные условия для формирования опасных трещин создаются в поверхностных слоях на границе соударения частицы руды

с предметом, наносящим удар. Здесь возникают наибольшие напряжения. Кроме этого в частях руды вблизи поверхности сосредоточено основное количество дефектов [9].

Из рассмотренного видно, что условия разрушения частиц руды в промышленных мельницах будут существенно отличаться от разрушения в лабораторном оборудовании. Такие исследования достаточно затратные и длительны в лабораторных условиях, в промышленных условиях их осуществить практически невозможно по ряду причин. Из-за этого был принят вариант лабораторных исследований руд, результаты которого сравнительно легко могут быть адаптированы к промышленным условиям.

К характеристикам измельчаемой руды обычно относят ее измельчаемость или крепость, содержание магнитного железа, плотность, крупность. В соответствии с измельчаемостью выделяют пять групп руд [10]. Наиболее целесообразно эти свойства исходной руды, что поступает на магнитообогатительные фабрики, рассматривать в условиях одного конкретного горнообогатительного комбината. Рассмотрим эти связи на примерах Ново-Криворожского горнообогатительного комбината (НКГОКа), где руды отличаются значительной разновидностью. Согласно принятой на комбинате классификации руды подразделяют на следующие типы: магнетитовые роговики (тип 1); силикатно-карбонатно-магнетитовые роговики (тип 2); краснополосчатые магнетитовые и гематито-магнетитовые роговики (тип 3); полуокисленные и окисленные роговики (тип 4); силикатные сланцы, безрудные роговики и кварцы (тип 5); магнетито-силикатно-карбонатные (бедные) роговики (тип 6); гематито-магнетитовые роговики (тип 7) [11].

Руды для исследования отбирались петрографом из технологического потока обогатительной фабрики, а те, что редко встречаются, - непосредственно в карьере. По данным геологической службы НКГОКа, сырье обогатительной фабрики составляют руды 1^{-го} типа (около 40%), 2^{-го} типа (от 40 до 45%), 3^{-го} (около 15%) и 6^{-го} (до 10%). Руды 6^{-го} типа встречаются в месторождении в виде маломощных прослоек. Руды 4^{-го} и 5^{-го} типов могут поступать на обогатительную фабрику только при нарушении технологии добычи. Их количество очень мало. Руда 7^{-го} типа составляет всего 1-3%. Итак, исходное сырье обогатительной фабрики составляют руды 1, 2, 3 и 6^{-го} типов. Руды 4, 5 и 7^{-го} типов изучались для сравнения и определения их возможного влияния на исследуемые зависимости.

Отобранные руды обрабатывались лабораторным оборудованием. Дробление осуществлялось в лабораторной щековой дробилке. Дробленный материал на решетках вручную отсеивался на классы: +25 мм; -25÷+12 мм; -12÷+6 мм; -6÷+3 мм; -3÷+1,25 мм; -1,25÷+0 мм. Классы +25 мм, -25+12 мм и -12+6 мм использовались для исследования зависимости прочностных свойств руд от их параметров, а классы -6÷+3 мм, -3÷+1,25 мм, -1,25÷+0 мм непосредственно применялись для определения прочностных характеристик разновидностей изучаемого материала. Из данных классов испытываемых руд приготавливались навески по 1070 г (класс -6÷+3 мм), 250 г (класс -3÷+1,25 мм) и 330 г (класс -1,25÷+0 мм). Гранулометрическая характеристика материала определялась этими навесками, примерно была неизменной. Общий вес пробы для исследований всех типов руд составлял 1650 г.

Как видно из рассмотренного, прочностные свойства руд зависят от многих параметров и на сегодня нет однозначного подхода к их определению. В результате этого был принят относительный показатель K_u , характеризующий прочностные свойства руды в условиях работы измельчительного оборудования рудообогатительных фабрик. Показатель K_u представляет собой отношение удельной производительности по классу -0,063 мм испытываемого типа руды к такой же характеристике руды, взятой за эталонную [12]. Данный относительный показатель K_u характеризует измельчаемость (размалываемость) руды, т.е. ее способность при измельчении превращаться в продукт заданной крупности. Можно рассматривать и обратную характеристику руды $K_c=1/K_u$, т.е. способность ее сопротивляться разрушению. Чем больше K_u , тем руда легче размалывается. Чем выше K_c , тем руда тяжелее разрушается. Руда, имеющая большое K_u , более легко размалывается, сравнительно слабо сопротивляется разрушению, характеризуется сравнительно небольшим значением K_c .

Измельчение всех типов руд производилось в лабораторной шаровой мельнице 40МЛ объемом 7 л в режиме сухого помола. Шаровая нагрузка была принята 15,6 кг, из которых 50% составляли шары диаметром 50 мм и 50% - шары диаметром 40 мм. Длительность измельчения в экспериментах принимались равной 5; 10; 20; 30; 45 и 60 мин. В мельницу загружались навески

руды 1650 г и измельчались на протяжении одной из принятых длительностей. После измельчения руда из мельницы тщательно разгружалась, и рассеивалась на стандартном ряде сит. После этого ее в экспериментах не использовали. Измельчению руда каждого типа на одной из принятых длительностей подвергалась четыре раза. Каждое значение суммарного остатка на сите определялось как среднее арифметическое результатов отсева четырех проб. В процессе исследований установлено, что выход готового класса - 0,063 мм при одной и той же длительности измельчения для руд различных типов не одинаков. Содержание каждого класса крупности в отдельных экспериментах значительно отличается от их среднего арифметического значения. Средняя удельная производительность мельницы по классу - 0,063 мм для руды типа 1 при различных длительностях измельчения оказалась примерно неизменной и равной 0,157 т/м³·ч. Эта руда была принята в качестве эталонной. Для других руд данная величина была переменной и зависимой от длительности измельчения. Значения относительного показателя K_u для руд различных типов, определенного по результатам исследований, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения относительного показателя K_u измельчаемости различных типов руд

| Время измельчения, мин. | Типы руд | | | | | | |
|-------------------------|----------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 5 | 1,06 | 1,25 | 1,48 | 1,76 | 1,29 | 1,64 | 1,18 |
| 10 | 1,03 | 1,28 | 1,20 | 1,40 | 1,04 | 1,37 | 1,03 |
| 20 | 1,03 | 1,10 | 1,14 | 1,27 | 1,11 | 1,30 | 1,04 |
| 30 | 1,03 | 1,08 | 1,08 | 1,31 | 1,07 | 1,18 | 0,99 |
| 45 | 0,99 | 1,01 | 1,01 | 1,10 | 0,96 | 1,06 | 0,88 |
| 60 | 0,87 | 0,87 | 0,87 | 1,04 | 0,80 | 0,94 | 0,83 |

В табл. 1 приведены средние арифметические значения K_u , определенные по четырем пробам. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что относительное отклонение K_u от среднего значения для произвольного времени измельчения в пределах 5...30 мин и типа руды имеют приблизительно одинаковую величину, что позволяет рассматривать эти данные как одинаковый массив, включающий 112 определений параметра. Среднее квадратическое отклонение K_u от среднего значения по этому массиву данных составило $\pm 3,51\%$. Сказанное подтверждает факт, что конкретный тип руды не является определенной физической константой, а понятием которое характеризует конкретную горную породу определенного минерального состава с небольшими пределами изменения ее свойств. Это в определенной степени усложняет исследование данного параметра руд.

Данные табл. 1 также показывают, что измельчаемость руд сама по себе не является константой, характеризующей конкретный тип руды, поскольку зависит от времени измельчения.

Это также усложняет такие исследования, поскольку не известно, например, какая же будет измельчаемость до начала ее обработки. Для более глубокого анализа динамики измельчаемости руд построим графики зависимости K_u от времени измельчения (рис.1). Как видно из рисунка, графики имеют достаточно сложный характер. В целом измельчаемость руд во времени изменяется по нелинейным закономерностям с определенными особенностями. Общим есть ухудшение измельчаемости руд с увеличением времени обработки. В начальный период обработки различия между измельчаемостью руд различных типов значительны, затем они уменьшаются, а при длительности измельчения, равном 60 мин, совсем незначительны. В частности K_u руд 1^{-го}, 2^{-го} и 3^{-го} типов одинаковы, а для руды 6^{-го} типа составляет 0,94 против 0,87. Это можно объяснить изменением размера измельчаемой руды, поскольку чем больший размер куска, тем вероятнее наличие микротрещин, по которым может осуществляться разрушение. Из графиков рис.1 видно, что в диапазоне более крупных частиц это влияние сказывается более сильно, затем оно ослабевает и снова несколько возрастает на последних минутах измельчения. Руда жесткого типа сохраняет тенденцию равномерного уменьшения измельчаемости со средних размеров твердого до конца времени обработки. Руда первого типа характеризуется неизменностью показателя K_u в середине диапазона обработки, что также находит подтверждение. Экспериментально подтверждено, что крепость частиц неправильной формы слабо зависит от их размеров в определенном диапазоне и может почти не зависеть от размеров, если они крупнее некоторой граничной величины. На рис.1 также видны отклонения в графиках от существующей закономерности.

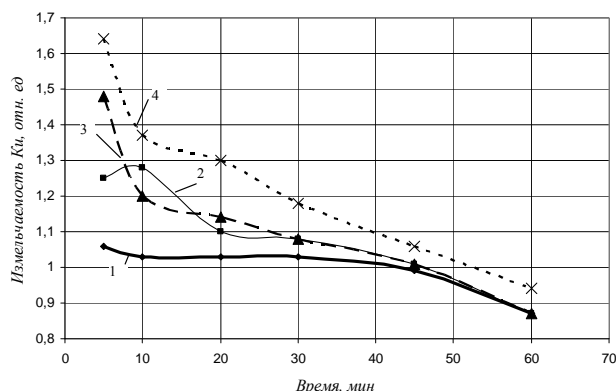


Рис. 1. Зависимость относительного показателя $K_{и}$ измельчаемости основных типов руд от времени измельчения: 1,2,3,4 - соответственно 1^й, 2^й, 3^й и 6^й тип руды

Это видно на графике 4 при $t=20$ мин и особенно на графике 2 при $t=10$ мин. Эти отклонения, по-видимому, не относятся к закономерностям измельчения руд, а скорее объясняются другими причинами. Одной из них может быть случайное изменение характеристики крупности внутри определенных классов в конкретных навесках материала для измельчения,

подготовленных для экспериментов при длительности измельчения 10 мин и 20 мин. Из графиков рис.1 также следует, что ввиду большой их начальной крутизны определить начальную измельчаемость при $t=0$ не предоставляется возможным путем продления зависимостей до пересечения с осью ординат. Из-за этого при исследовании зависимостей между измельчаемостью руд различных типов и их параметрами значение $K_{и}$ принималось при длительности измельчения, равной 20 мин, что соответствует середине диапазона неизменных значений свойств руды первого, наиболее твердого типа и примерному времени обработки руды в промышленных мельницах.

Каждый тип руды фракцией крупности +25 мм использовался для измерения ее плотности по весу и объему отобранной пробы. В каждой измельченной пробе измерителем магнитной фракции определялось содержание магнитного железа. По три пробы каждого типа руды отправлялись в химлабораторию на фазовый анализ. Результаты фазового анализа и определения плотности руд различных типов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты фазового анализа и определения плотности руд различных типов

| Тип руды | Процентное весовое содержание | | | | | Процентное отклонение от среднего значения | | Плотность, г/см ³ | | | Процент. отклон. от средн. знач. |
|----------|-------------------------------|-----------|---------|----------|----------|--|-----------|------------------------------|-------------|--------------|----------------------------------|
| | общ. железа | магнетита | мартита | гематита | сидерита | общ. железа | магнетита | эксп. знач. | расч. знач. | средн. знач. | |
| 1 | 35,9 | 30,5 | 0 | 1,4 | 4,0 | -0,55 | -1,29 | 3,181 | 3,178 | 3,182 | -0,13 |
| | 36,0 | 30,8 | 0 | 1,4 | 3,8 | -0,28 | -0,32 | 3,179 | 3,181 | 3,182 | -0,03 |
| | 36,4 | 31,4 | 0 | 1,3 | 3,7 | +0,83 | +1,62 | 3,190 | 3,189 | 3,182 | +0,22 |
| 2 | 31,4 | 21,9 | 0 | 0,6 | 8,9 | +0,74 | +0,92 | 3,060 | 3,057 | 3,051 | +0,20 |
| | 30,8 | 21,3 | 0 | 0,2 | 9,3 | -1,19 | -1,84 | 3,050 | 3,044 | 3,051 | -0,23 |
| | 31,3 | 21,9 | 0 | 0,3 | 9,1 | +0,42 | +0,92 | 3,055 | 3,054 | 3,051 | +0,10 |
| 3 | 35,4 | 29,7 | 0 | 1,7 | 4,0 | -0,20 | -1,56 | 3,193 | 3,198 | 3,199 | -0,03 |
| | 35,4 | 30,4 | 0 | 1,3 | 3,7 | -0,20 | +0,76 | 3,197 | 3,194 | 3,199 | -0,16 |
| | 35,6 | 30,4 | 0 | 1,6 | 3,6 | +0,37 | +0,76 | 3,195 | 3,204 | 3,199 | +0,16 |
| 4 | 34,8 | 24,6 | 3,2 | 3,9 | 3,1 | +0,66 | +0,82 | 3,165 | 3,166 | 3,161 | +0,16 |
| | 34,4 | 24,6 | 3,4 | 3,2 | 3,2 | -0,49 | +0,82 | 3,161 | 3,158 | 3,161 | -0,09 |
| | 34,5 | 24,0 | 3,3 | 4,0 | 3,2 | -0,20 | -1,64 | 3,160 | 3,159 | 3,161 | -0,06 |
| 5 | 26,0 | 4,8 | 0 | 0,8 | 20,4 | +1,56 | +0,67 | 2,870 | 2,884 | 2,876 | +0,28 |
| | 25,4 | 4,2 | 0 | 1,2 | 20,0 | -0,78 | -6,67 | 2,890 | 2,887 | 2,876 | +0,38 |
| | 25,4 | 4,5 | 0 | 0 | 20,2 | -0,78 | 0 | 2,872 | 2,866 | 2,876 | -0,35 |
| 6 | 25,8 | 7,1 | 0 | 1,0 | 17,7 | -0,12 | +3,95 | 2,883 | 2,900 | 2,888 | +0,42 |
| | 24,0 | 6,3 | 0 | 0,7 | 17,0 | -7,08 | -7,76 | 2,881 | 2,877 | 2,888 | -0,38 |
| | 27,7 | 7,1 | 0 | 0,6 | 17,0 | +7,24 | +3,95 | 2,881 | 2,888 | 2,888 | 0 |
| 7 | 39,0 | 30,9 | 0 | 5,4 | 2,7 | -0,59 | -1,50 | 3,251 | 3,246 | 3,253 | -0,22 |
| | 38,8 | 30,8 | 0 | 5,6 | 2,4 | -1,10 | -1,82 | 3,257 | 3,245 | 3,253 | -0,25 |
| | 39,9 | 32,4 | 0 | 5,1 | 2,4 | +1,71 | +3,28 | 3,263 | 3,267 | 3,253 | +0,43 |

Из данных табл. 2 следует, что все контролируемые параметры в определенном типе руды изменяются. Наблюдаются изменения и в средних показателях отдельных типов руд. Колебания магнетита в одном типе руды обычно больше, чем содержания общего железа. Изучение связи измельчаемости руд с содержанием различных железистых соединений показало, что с гематитом и сидеритом наблюдаются только тенденция зависимости. С магнетитом установлена более тесная корреляционная зависимость, особенно без руд четвертого и пятого типов. Еще более тесная связь получена по содержанию в руде общего железа, однако она не настолько тесная, чтобы можно было ее использовать для определения измельчаемости. Более широкий массив данных, полученный приборным измерением магнитной фракции тесноту связи не улучшает.

Из данных табл. 2 также следует, что плотности руд, определенные экспериментально и расчетным путем, практически совпадают. Это значит, что, зная тип руды, возможно аналитически определить ее плотность δ_p в соответствии с зависимостью

$$\delta_p = 1 / \sum_{i=1}^5 a_i / \delta_i, \quad (1)$$

где a_i - весовая доля компонента в руде; δ_i - плотность компонента.

Как видно из данных табл. 2, колебания плотностей руд значительно уже, чем железистых включений. Поэтому исследовалась связь измельчаемости руд с их плотностью. Установлено, что между измельчаемостью руд и их плотностью существует тесная нелинейная корреляционная связь, включая 1, 2, 6 и 7-й типы руд. Однако ее невозможно реализовать на практике, учитывая, что в зависимость не входит 3-й тип руды, который в сырье обогатительной фабрики составляет до 15%.

Более перспективным может оказаться взаимодействие упругого элемента с движущейся рудой, так как при этом одновременно воздействует несколько параметров, характеризующих твердые тела. В качестве чувствительного элемента был использован стальной упругий стержень, на который подавался поток дробленой руды неизменной высоты крупностью -25+12 мм и -12+6 мм. При исследовании использовались руды 1, 2, 3 и 6-го типов. Упругий элемент устанавливался в специальном стенде, возникающий в нем волновой процесс воспринимался пьезо-керамическим преобразователем, сигнал которого усиливался и фиксировался на киноплёнку шириной 38 мм шлейфового осциллографа Н-102. Предварительные исследования показали, что сигнал стального упругого стержня является случайным процессом, амплитуда и частота выбросов которого за условный уровень зависит от параметров потока дробленого материала. Установлено, что при определении среднего квадратического отклонения случайного процесса с погрешностью не более 2% требуемая продолжительность реализации должна быть равной 0,5 с. С увеличением продолжительности реализации случайного процесса значение относительных средних квадратических отклонений и их доверительных пределов уменьшается. При продолжительности реализации случайного процесса 0,625 с относительное значение среднего квадратического отклонения числа его положительных выбросов составляет 0,59...11,2%. В опытах среднее квадратическое отклонение случайного процесса и частоту его положительных выбросов с достаточной точностью можно определить по секундной реализации.

В процессе экспериментальных исследований установлены тесные корреляционные зависимости напряжения U преобразователя со средней крупностью руды K_{cp} и произведением K_{cp} на величину, обратную измельчаемости K_u , то есть $K_{cp} K_c$, а также среднего числа положительных выбросов n с теми же параметрами потока. Наилучшие результаты представлены уравнением

$$U = 0.915 K_{cp} \cdot K_c - 3.4, \quad (2)$$

для которого выборочный коэффициент корреляции R составил 0,97, доверительные интервалы для значения генерального коэффициента корреляции $R_{ген} - 0,92 \leq R_{ген} \leq 0,98$, а относительное среднее квадратическое отклонение в выбросе $\sigma_0 - 7,4\%$ с доверительными пределами для значения относительных средних квадратических отклонений $\sigma_{0ген} - 4,44 \leq \sigma_{0ген} \leq 10,36\%$.

Полученные значения выборочных коэффициентов корреляции и доверительных пределов для них подтверждают наличие тесной линейной корреляционной связи между параметрами выходного сигнала датчика, средней крупностью частиц руды и ее измельчаемостью. Следует учитывать, что полученные относительные средние квадратические отклонения и их доверительные пределы, которые характеризуют точность метода, значительно увеличены из-за возможных некоторых колебаний измельчаемости руды внутри определенного типа, возможных

несоответствий размера частиц внутри класса крупности, сегрегации частиц в стенде, погрешности метода обработки сигнала.

Важной также является зависимость деформирования упругого элемента x при разрушении на нем образца руды объемом V_p шаром массой m [13]

$$x = \frac{mg + \sqrt{mg(mg + 2ch) - 2ckk_1V_p}}{c}, \quad (3)$$

где c - коэффициент жесткости упругого элемента; h - высота, с которой падает шар; k - коэффициент, зависящий от прочности материала; k_1 - постоянная, которая характеризует связь между общим и деформированным объемом куска материала; g - сила земного тяготения.

Зависимость (3) возможно реализовать непосредственно в шаровой мельнице, поскольку k характеризует тип руды, а V_p - размер ее кусков.

При заполнении накопительных бункеров дробленой рудой перспективными являются средства визуального контроля, которые наряду с крупностью дают информацию и о вкрапленности минеральных зерен в продукте [14,15].

Выводы и направления дальнейших исследований. Таким образом, проведенные исследования показали, что идентифицировать необходимые параметры исходного питания перед измельчением возможно, используя сигнал упругого преобразователя при взаимодействии его с потоком руды или взаимодействие упругого элемента, кусков руды и шара, а также результаты визуального контроля дробленого материала на конвейерной ленте.

Полученные технологические предпосылки и экспериментальная основа открывают перспективу создания средств идентификации характеристик руды, направляемой на измельчение.

Список литературы

1. Измельчение. Энергетика и технология: уч. пособ. для вузов / [Пивняк Г.Г., Вайсберг Л.А., Кириченко В.И. и др.]. - М.: Изд. дом «Руда и Металлы», 2007. - 296с.
2. Науменко Ю.В. Основы теорії режимів роботи барабанних млинів: [монографія] / Науменко Ю.В.- Рівне: Видавництво СПД Зелент, 2009. - 282с.
3. Ржевский В.В. Основы физики горных пород / В.В. Ржевский, Г.Я. Новак. - М.: Недра, 1984. - 360 с.
4. Нотт Дж. Ф. Основы механики разрушения / Нотт Дж. Ф.: пер. с англ. Д.В. Лаптева. - М.: Metallurgia, 1978. - 256 с.
5. Справочник по обогащению и агломерации руд черных металлов / [Шинкаренко С.Ф., Маргулис В.С., Николаенко В.П. и др.]: под ред. С.Ф. Шинкаренко. - М.: Недра, 1964. - 527 с.
6. Ходаков Г.С. Физика измельчения / Ходаков Г.С.- М.: Наука, 1985. - 307 с.
7. Бондарь В.С. Неупругость. Варианты теории / Бондарь В.С.- М.: Физматлит, 2004. - 144с.
8. Морозов Н.Ф. Проблемы динамики разрушения твердых тел / Н. Морозов, Ю. Петров. - Санкт-Петербург: Изд. С.-Пб. ун-та, 1997. - 132с.
9. Шинкаренко С.Ф. Технология измельчения руд черных металлов / Шинкаренко С.Ф.- М.: Недра, 1982. - 213 с.
10. Шинкаренко С.Ф. Технологическая оценка прочностных свойств горных пород, подвергаемых измельчению // Горный журнал. - 2006. - №9. - С.26-31.
11. Исследование измельчаемости руд с целью разработки средств автоматизации / Т.И. Гуленко, Б.А. Коряков-Савойский, В.И. Лопатин, В.А. Кондратец, З.Н. Кашурникова // Автоматизация горнорудного и металлургического производства: сб. научно-техн. статей НИИАЧермет. - 1971. - Вып.7. - С.13-20.
12. Маляров П.В. Основы интенсификации процессов рудоподготовки / Маляров П.В.- Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2004. - 320с.
13. Кондратец В.О. Теоретичне дослідження системи з падаючим тілом при ідентифікації зразків твердого / В.О. Кондратец, М.О. Карчевська // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий наук.-техн. зб. - 2010. - Вип.40, Ч.1. - С.142-150.
14. Morkun V., Tron V. (2014). Automation of iron ore raw materials beneficiation with the operational recognition of its varieties in process streams, Metallurgical and Mining Industry, No4, p.p. 42-45.
15. 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. - 512с.

В.О. КАЛІНІЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.,
В.М. ТАРАСЮТІН, С.В. ПИСЬМЕННИЙ, кандидати техн. наук, доц.,
О.Л. ШЕПЕЛЬ, канд. техн. наук, Криворізький національний університет

ПРО ПИТАННЯ ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ РУДИ НА ЛЕЖАЧОМУ БОЦІ ПОКЛАДІВ

У запропонованому дослідженні розглянута ефективність відбійки руди на затиснуте середовище при системах розробки підповерхового обвалення руди й вміщувальних порід. Наведено умови застосування відбійки руди на затиснене середовище, а також напруження, які виникають у масиві руди при пошаровій відбійці. Запропоновано спосіб зменшення втрат енергії вибухової хвилі в руді при наступних вибухах. Можливі шляхи вдосконалення технології відпрацювання родовищ, що забезпечить зниження втрат руди на лежачому боці покладу. Розглянуто ефективний варіант буріння глибоких свердловин з бурових ніш, розташованих на горизонті буріння й доставки. Проаналізовано основні відомі способи й методи, що сприяють зниженню втрат руди трикутника лежачого боку. Запропоновано необхідну послідовність відбійки руди на затиснуте середовище й необхідні параметри буропідливних робіт. Проаналізовано необхідну величину коефіцієнта розпушення відбитої руди на контакт з порожніми породами лежачого боку покладу. Розглянуто технічні характеристики закордонної бурової техніки, що призначена для проходки підняттевих виробок. Запропоновано метод підвищення ефективності за рахунок збільшення вилучення руди шляхом застосування продуктивного самохідного встаткування при відбійці руди на затиснуте середовище.

Проблема і її зв'язок з науковими або практичними завданнями. Сучасна практика свідчить, що зі збільшенням глибини розробки збільшується тиск гірничих порід, ускладнюючи відпрацювання ділянок покладів залізних руд та погіршуючи кількісні показники видобутку руди.

При відпрацюванні крутоспадних покладів із застосуванням систем підповерхового обвалення руди та вміщувальних порід з відбійкою руди на затиснуте середовище біля лежачого боку залишається приблизно 20 % запасів руди, які потребують їх вилучення [1-6]. Завдяки додатковому вилученню руди досягається зменшення собівартості видобутку руди. Отже, особливу увагу треба приділяти ефективному видобуванню залишених запасів руди на лежачому боці покладів.

Тому, створення технологій відпрацювання запасів руди, що контактують з лежачим боком крутоспадних покладів є актуальною науковою задачею, яка має важливе практичне значення.

Аналіз досліджень і публікацій. Вивчення гірничотехнічної літератури показує, що наукових праць з ефективними рішеннями даної задачі при підземній розробці залізрудних родовищ дуже мало.

На сьогодні для зменшення втрат руди на лежачому боці при відпрацюванні покладів на шахтах Криворізького басейну застосовуються наступні основні способи: першочергове або другочергове відпрацювання трикутника лежачого боку покладів [7]; утворення додаткових підповерхових випускних виробок у породах лежачого боку [8].

Також можливе застосування способу зміщення руди з лежачого боку покладу в активну зону випуску вибухом зарядів вибухових речовин, які розташовані в лежачому боці покладу [9].

Безумовно вищеописані способи характеризуються наступними недоліками: значні витрати підготовчо-нарізних виробок на 1000 т руди; підвищення собівартості видобутку 1 т руди; можливе порушення ведення гірських робіт; зменшення вмісту заліза у добутій руді при засміченні, яке має місце при вибуховому зміщенні з лежачого боку покладу.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Отже, необхідно розробити, або вдосконалити існуючі технології відпрацювання крутоспадних покладів, які характеризуються більшими показниками видобутку руди, із застосуванням продуктивного самохідного обладнання при відбійці руди на затиснуте середовище.

Викладення матеріалу й результати. Загальний інтерес та науково-практичну цінність представляє обґрунтування коефіцієнта розпушення на контакт з пустими породами лежачого боку покладу. Сприятливі умови для розпушення руди створюються при відбійці її на компенсаційний простір. Збільшення об'єму руди, що підривається в «затиску», може відбуватися за рахунок ущільнення раніше відбитої руди, що стискається. У цьому випадку компенсаційних виробок у масиві не потрібно, тому в «затиску» можлива, як свердловинна відбійка, так і застосування вертикальних концентрованих зарядів.

За необхідної умови зменшення собівартості видобутку 1 т руди варіант відбійки на затиснуте середовище - найкращий.

Відбійка в «затиску» може застосовуватися при потужних й середньої потужності покладах з будь-яким кутом падіння, де руди міцні і середньої міцності, а також у м'яких рудах, якщо вони не обводнені і не дуже злежуються.

Основними перевагами відбійки в «затиску» є: зниження виходу негабариту руди при відбійці, що інтенсифікує випуск та доставку руди у 1,5-2 рази; виключення проведення спеціальних нарізних виробок; простота схеми відбійки руди; можливість застосування у складних гірничо-геологічних та гірничотехнічних умовах; невелика питома довжина нарізних виробок; скорочення витрат на проходку бурових виробок; відсутність витрат на утворення відкритого компенсаційного простору.

Коефіцієнт розпушення при відбійці на відкриті очисні простори змінюється від 1,2 до 1,4. При відбійці на затиснуте середовище (у «затиску») коефіцієнт розпушення становить у середньому $k_p = 1,05-1,19$ [7].

Головним недоліком відбійки руди у «затиску» - є складність при випуску перших доз ущільненої вибухом руди.

Отже, додатково необхідно приділити увагу вирішенню питання безперешкодного випуску руди на початковому етапі.

Цього можна досягти за рахунок часткового випуску відбитої руди (приблизно 20%), перед відбійкою, це дозволяє зменшити втрати енергії вибухової хвилі в руді при наступних вибухах, а також підіриванням необхідного числа рядів, при якому руда не буде занадто ущільненою.

Зсув раніше відбитої руди, що стискається, у вибої після вибуху першого ряду свердловин становить 2-2,5 м і досягає 3 м при підіриванні 4-5 рядів, а надалі припиняється.

Напруження, що виникають при ударі можуть бути визначені з умови рівності кількості руху імпульсу сили

$$mv = Ft, \quad (1)$$

де v - швидкість руху шару руди в момент удару, м/с; F - сила удару, даН; t - тривалість дії удару, с; m - маса шару руди, що підіривається, кг.

При підіриванні перших рядів свердловин у «затиску» частина енергії прямої хвилі (близько 25%) переходить у раніше відбиту руду, що стискається. Відповідно зменшується енергія відбитої хвилі, що подрібнює масив у першій фазі, тому у другій фазі якість подрібнення руди покращується.

У зв'язку з опором з боку раніше відбитої руди, що стискається, і протитиском газів збільшується тривалість дії в масиві напружень, викликаних вибухом, що також сприяє більш повному використанню його енергії.

Величина лінії найменшого опору розраховується відповідно діаметра вибухових свердловин. Інтервал короткоуповільненого підіривання зарядів повинен бути приблизно в 1,5 рази більше в порівнянні зі звичайним для того щоб, встиг утворитися просвіт між масивом і відбитою рудою.

Більш прогресивним з погляду зниження трудомісткості, механізації й безпеки робіт є варіант системи підповерхового обвалення з розбурюванням масиву висхідними глибокими свердловинами з бурових ніш, розташованих на рівні прийомного горизонту (рис. 1).

Ніші представляють собою підготовлені заходки під дучки, розширені до розмірів, що забезпечують встановлення бурового верстата НКР-100 м для буріння глибоких свердловин, а також обладнання «Rhino 408Н» для утворення висхідних піднятєвих у лежачому боці покладу.

Типовий діаметр для установок «Rhino 408Н» становить $d=3,1-3,6$ м. Інші бурові установки дуже громіздкі тому не підходять для підземних робіт.

Дані установки потужні, компактні, високопродуктивні, високоманеврені та легко переміщуються між горизонтами по гірничих виробках. Вони відмінно себе зарекомендували при роботі як на поверхні, так і під землею, повністю задовільняють потреби шахт, забезпечуючи безпеку ведення робіт, якість проходки піднятєвих виробок, а також дозволяють швидко й точно виконувати виробничий план рудника [10].

Прийнятий діаметр вертикальних піднятєвих виробок (3) становить 1,5-2,0 м. Заряди відповідно мають вагу 10-30 т. Оптимальний час уповільнення підіривання зарядів становить 100-150 мс.

Бурові ніші можуть розташовуватися по довжині виробок скреперування в прямому порядку, в кожному штреку скреперування.

Бурове обладнання НКР-100 м та «Rhino 408Н» частково виносяться на штрек скреперування, що дозволяє зменшити розміри бурових ніш, поліпшити умови праці й провітрювання робочих місць. З кожної ніші (1) бурять віяла глибоких свердловин.

Розбурювання масиву руди відбувається віями глибоких висхідних свердловин (2).

Звичайно глибокі свердловини заряджають не повністю, залишаючи глибину 2,5-5 м, щоб не спостерігалось випадків руйнування вибухом бурових ніш і штреків скреперування (4), задля подальшого їх використання при випуску руди [8].

З бурових ніш штреків скреперування, які пройдено на контакт з лежачим боком, виконується утворення висхідних підняттях (3) майже паралельно покладу. Підняття звичайно розташовуються на відстані лінії найменшого опору від покладу у лежачому боці. Але можливе збільшення шару пустих порід, який підривається, застосуванням більшого діаметру підняттях. Підриванням висхідних підняттях досягається необхідне розпушення руди у трикутнику лежачого боку покладу, що забезпечить підвищення ефективності відбійки та випуску руди на початковому етапі.

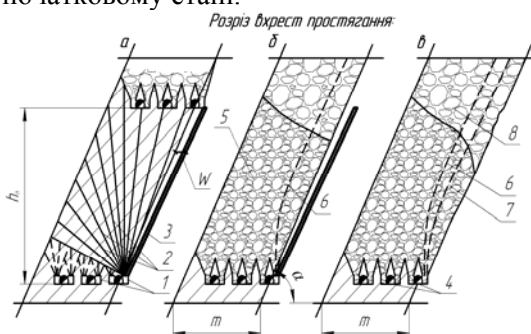


Рис. 1. Схема відбійки руди на затиснуте середовище із сумішним горизонтом доставки та буріння: *a* - підготовлений масив руди для підривання; *b* - масив руди після підривання віял глибоких свердловин; *в* - масив руди після підривання висхідних підняттях; 1 - бурові ніші; 2 - висхідні віяла глибоких свердловин; 3 - висхідні підняття; 4 - штреки скреперування; 5 - відбита руда; 6 - контур руди, що залишається на лежачому боці покладу після підривання глибоких свердловин; 7 - контур відбитої руди лежачого боку покладу після підривання висхідних підняттях; 8 - пусті породи, що налягають; *m* - потужність покладу, м; *h_n* - висота підповерху, м; *α* - кут падіння покладу, град; *W* - лінія найменшого опору, м

Після підривання висхідних підняттях досягається поліпшення загального коефіцієнта розпушення на контакт відбитої руди та пустої породи лежачого боку покладу.

Коефіцієнт розпушення у шарі руди, прикордонного з породами лежачого боку, змінюється приблизно в межах $k_p = 1,1-1,25$. Завдяки цьому спостерігається безперешкодний випуск руди біля лежачого боку покладу, при цьому досягається зменшення втрат руди на третину.

У подальшому прийнятий спосіб відбійки приводить до загального підвищення інтенсивності відпрацювання підповерху. За рахунок підвищення інтенсивності відпрацювання підповерху підвищується в цілому ефективність відпрацювання запасів, тому що знижуються строки їхньої служби. Збільшується продуктивність випуску й доставки за рахунок зменшення проведення нарізних і бурових виробок, а також скорочення часу на ремонт виробок доставки.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Отже, використання відбійки на затиснуте середовище дозволяє зберегти природні ресурси, за рахунок зменшення втрат руди в надрах на 5,6-6,7%, зберегти матеріальні ресурси, зменшивши витрати на проведення додаткових бурових виробок, підвищити інтенсивність відпрацювання покладів.

Список літератури

1. Цариковский В.В. Перспективы применения различных систем разработки при подземной добыче руд в Кривбассе / В.В. Цариковский, А.П. Григорьев // Разработка рудных месторождений. – 2004. – №85. – С. 164–167.
2. Фурсов Е.Г. Совершенствование элементов систем разработки с обрушением / Е.Г. Фурсов, В.М. Кириченко, Ю.К. Дюдин [и др.] // Горный журнал. – 2005. – №2. – С. 34–38.
3. Коляда Е.И. Исследование, выбор и разработка эффективного варианта системы подэтажного обрушения, обеспечивающего снижение потерь руды в недрах / Коляда Е.И. – Кривой Рог, 1980. – С. 50–60.
4. Стровский В.Е. Повышение эффективности добычи руд подземным способом / [В.Е. Стровский, Ю.И. Жерняков, М.И. Игнатъева и др.]. – М.: Недра, 1984. – 160 с.
5. Каплунов Р.П. Влияние потерь и разубоживания на эффективность разработки рудных месторождений / Каплунов Р.П. – М.: Углетехиздат, 1948. – 341 с.
6. Власов В.М. Возможности сокращения потерь руды при системах с обрушением и вибровыпуском / В.М. Власов // Горный журнал. – 2003. – №12. – С. 31–34.
7. Именитов В.Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений / Именитов В.Р. – М.: Недра, 1984. – 504 с.
8. Чернокур В.Р. Добыча руд с подэтажным обрушением / Чернокур В.Р., Шкробко Г.С., Шелегеда В.И. – М.: Недра, 1992. – 217 с.
9. Калініченко В.О. Теоретичні та практичні аспекти зменшення втрат руди на лежачому боці покладів / В.О. Калініченко, О.Л. Шепель // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2010. – № 11–12. – С. 40–43.
10. Хоменко О.Е. Горное оборудование для подземной разработки рудных месторождений: справочное пособие / О.Е. Хоменко, М.Н. Кононенко, Д.В. Мальцев. – 2-е изд. перераб. и доп. – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – 448 с. – На рус. яз.

Рукопис подано до редакції 17.04.15

V.I. SHATOKHA, Dr. Professor, National Metallurgical Academy of Ukraine
A.L. PETRENKO, Dipl. Eng., National Metallurgical Academy of Ukraine

HIGHER ENGINEERING EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Societal needs, related to the environmental challenges, require relevant human resource and, therefore, must be adequately addressed in both the content and the teaching methodology of higher engineering education. The approach to redefine the content of the engineering curriculum while addressing current and future needs of the sustainable development has been analysed with respect to shift of the techno-economic development paradigm from the "cleaner production" concept to the "industrial transformation" concept. Consortium comprising Ukrainian and EU academic, industrial, R &D and policy-level stakeholders in the scope of the ongoing TEMPUS project "Higher engineering training for environmentally sustainable industrial development" aims at addressing sustainability challenges through the set of activities, including introduction of new taught disciplines.

1. Introduction

Ukraine, similarly to the countries of the European Union, faces common problems of the modern world, related to environmental footprint of industrial development such as depletion of mineral resources, anthropogenic pollution, excessive land use, climate change and alike. Borderless biosphere and globalised economy make it impossible for any country to take up such challenges on its own. Therefore international and cross-European cooperation is increasingly important to ensure future sustainable development.

Current and future societal needs, related to environmental challenges, require relevant human resource and, therefore, must be adequately addressed in both the content and the teaching methodology of higher engineering education, including also lifelong training.

The nature of emerging qualifications is not very well understood by educators. In-depth knowledge within the own professional field, awareness of best available technologies (aimed at saving energy and resources, preventing pollution and recovery of wastes) are, of course, very important, though not sufficient to fully address the environmental challenges. Therefore, the new content for the engineering curriculum, addressing the needs of the sustainable development is yet to be defined.

2. Methodology and analysis

During several decades in higher engineering education the content of training modules, related to environmental issues, was shaped around so called "cleaner production" concept. However, reaching of the environmental targets, established by the society, requires a synergy of more complex measures. For example, analysis [1] shows that global reduction of greenhouse gas (GHG) emissions for 15-20% by the year 2050 compared to 1990 emission levels or by 50-60% compared to a "business as usual" scenario [2] will not be possible only by improvement of existing technologies. Recently published 5th report of the Intergovernmental Panel for Climate Change [3], summarising studies of over 800 experts from all over the world, makes obvious the need for urgent action in development of radically new technologies, enabling to mitigate the anthropogenic effect on the climate systems.

Therefore, a shift of the techno-economic development paradigm is needed to ensure sustainable future. This will require reshaping the trajectories of technological innovation. Following issues must be highlighted:

necessary CO₂ emissions reductions require major technological changes— improvement of existing processes will not be sufficient;

shift from the "cleaner production" concept to the "industrial transformation" concept in innovations development and in education is required;

more complex efforts to address synergies related to all levels of systems of industrial production, distribution and consumption are needed;

future industrial transformation, aimed at the climate stabilization, will have considerable effects on economic activities, markets and behaviours.

New generation of university graduates must be equipped with knowledge and skills needed to effectively respond to current and emerging societal challenges. To address these needs the project entitled "Higher engineering training for environmentally sustainable industrial development" (HETES)

has been developed in the consortium of following organisations, representing academic, industrial, R &D and policy-level sectors of both EU and Ukraine:

Katholieke Universiteit Leuven (Belgium);
Buckinghamshire New University (UK);
Universidad de Granada (Spain);
Royal Institute of Technology (Sweden);
Volvo Cars Gent (Belgium);
National Metallurgical Academy of Ukraine;
Donetsk National Technical University;
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;
Kryvyi Rih National University;
Sevastopol National Technical University;
Ministry of Education and Science of Ukraine;
Ukrainian Research & Technology Center of Metallurgy Industry "Energostal".

The project is funded by the European Union under the TEMPUS programme with duration from December 2013 through November 2016*.

General aim of the project is to help improve relevance of higher engineering education in Ukraine towards the challenges of current and future industrial transformation aimed at sustainable development and climate stabilisation. Reaching of this aim will help deliver new generation of engineers and will reinforce integration of Ukraine within the scope of cross-European efforts in mitigation of the climate change, enhancing the resource efficiency and sustaining the raw materials supply.

“Climate action, resource efficiency and raw materials” [4] are identified by the European Commission as important societal challenges. Moreover, National Indicative Programme of the European Neighbourhood and Partnership Instrument for Ukraine stipulated urgent need for integration of environmental considerations, improvement of energy efficiency in industrial sector and raising the environmental awareness among consumers. Therefore, HETES addresses EU priorities and development strategy of Ukraine. It also addresses higher education priorities and the labour market needs.

Important innovative features of the HETES project, compared to other initiatives that exist in a field are:

focus on interdisciplinary issues with the potential to bring technological synergies and radically new technologies, needed for environmentally-driven industrial transformation and enabling mitigation of climate change;

strong ties with European Union's strategy towards societal challenges, established for TEMPUS, Erasmus+ and Horizon 2020 programmes, providing synergy of efforts in combining the training and research activities;

emphasis on building capacity to address concerned societal challenges in a sustainable way through development of relevant human resource, establishing training centres and professional networks;

industrial relevance, achieved by involvement of non-academic partners and universities with expertise in different industrial fields;

addressing broad spectrum of training, covering graduate, post-graduate and lifelong learning audiences.

Based on the analysis performed the target groups and their needs within the scope of the HETES project are identified as follows:

educators need to learn experience of the EU universities in addressing concerned societal needs by training;

students need to be equipped with skills and knowledge demanded by society and needed for their future careers;

lifelong learning audience needs to update skills and knowledge and to acquire new qualifications for future career;

* This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

industry needs to remain competitive under conditions of carbon-constrained economy, to be capable to uptake the technological innovations;

society at large needs to establish societal dialog that will result in defining the strategy for sustainable development.

3. Results and discussion

The project has commenced in December 2013 with major focus within its first year on study of the experience of the European partners. In order to acquaint the Ukrainian academics with hands on experience and practices short study visits were organised during the spring of 2015 with focus on the following issues:

- Reform of university towards the needs of education for sustainable development
- structural units, responsible for sustainability components (centres, departments, chairs)
- overview of the documents, stipulating the strategy for sustainability (development concepts, action plans)

- Curriculum for sustainable development

- overview of relevant degree programmes dedicated to sustainable development

- methodology for embedding sustainability components to the curriculum

- Skills, qualifications and learning outcomes for sustainable development

- procedures and actors involved in definitions of skills, qualifications and learning outcomes

- role of multidisciplinary approach

- Role of practical training and partnership with enterprises

- how practical training is organised and how the sustainability issues are focused

- how enterprises take part in definition of sustainability component in education

- Feedback from sustainability research and innovation to education

- R & D policy for sustainable development

- knowledge triangle: focus on sustainability

Based on the experience acquired the project partners developed the vision for the reform that will be outlined in the development strategies of the Ukrainian project participants. Project partners will develop the new discipline "Environmentally sustainable industrial development" (4 ECTS credits). The content of this discipline is defined as follows.

1. The first module is common for all engineering profiles and aims at following pedagogical targets:

- to raise environmental and climate change awareness (5th IPCC report might be used as the most comprehensive study in a field);

- to introduce international initiatives and economic tools for sustainable development - Kyoto Protocol, UN FCCC, flexibility mechanisms such as Clean Development Mechanism, International Emissions Trading, Joint Implementation;

- to introduce interdisciplinary analytic tools such as Life-Cycle Assessment and alike.

2. The second module will be industry specific and will involve following components

- Innovations and Best Available Technologies – potential for emissions reduction;

- Innovations and Best Available Technologies (BAT) and analysis of their potential for emissions reduction and mitigation of climate change;

- Introduction to ongoing industry-specific EU initiatives, aimed at development and implementation of environmentally drive innovations. In the field of iron and steelmaking examples of such initiatives are ULCOS - ultra-low CO₂ steelmaking) and non-EU (COURSE 50 in Japan (CO₂ Ultimate Reduction in Steelmaking Process by Innovative Technology for Cool Earth 50 [5]);

- Carbon accounting methodology.

3. The third module is defined as an interdisciplinary team project aimed to explore environmentally-driven technological innovations, involving students of different majors.

The new discipline will be validated in discussion with industrial stakeholders and implemented to teaching from 2015/16 academic year. Future project activities will include also establishing of the Interfaculty Sustainable Development Centres in the Ukrainian universities.

Summary

The approach to higher engineering education reform was analysed in a view of reaching the environmental targets, established by the society. A need for curricular reform aimed to equip graduates with skills and qualifications needed to address the challenges of current and future sustainability have

been stipulated. The content of the interdisciplinary discipline "Environmentally sustainable industrial development" was defined.

Acknowledgments

Authors acknowledge financial support of the European Union under the TEMPUS Project 543966-TEMPUS-1-2013-1-BE-TEMPUS-JPCR "Higher engineering training for environmentally sustainable industrial development".

References

1. Rynkiewicz C. The climate change challenge and transitions for radical changes in the European steel industry. *Journal of Cleaner Production*. - 2008- 16(7). - P. 781-789.
2. Greenhouse gas reduction pathways in the UN FCCC process up to 2025: POLICYMAKERS SUMMARY, Study Contract: B4-3040/2001/325703/MAR/E.1 for the DG Environment, October 2003, 33 p.
3. Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Summary for Policymakers. Edited by Thomas F. Stocker et al. - IPCC, Switzerland, 2013, 27 p.
4. HORIZON 2020; WORK PROGRAMME 2014 – 2015, (European Commission Decision C (2013)8631 of 10 December 2013, 76 p.
5. http://www.jisf.or.jp/course50/index_en.html
A manuscript is given to the release 17.03.15]

УДК 331.452

Е.В. ПИЩИКОВА, Л.А. ЯНОВА, кандидаты техн. наук, доц., В.А. КУЦЕНКО, студент
Криворожский национальный университет

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ПОЛУЧЕНИЯ ДОПУСКА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РЕМОНТНЫХ РАБОТ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Практика показывает, что причиной тяжелых форм электротравм являются несогласованные и ошибочные действия персонала, ошибочная подача напряжения на установку, где работают люди, нарушение правил безопасной эксплуатации электроустановок потребителей. С целью профилактики электротравматизма на горных предприятиях обоснована необходимость пересмотра и модернизации существующего подхода к контролю подачи электрического напряжения при производстве ремонтных работ, совершенствованию действующей бирочной системы допуска к ремонтам технологического оборудования, внесения дополнений в технические мероприятия по разбору электрических схем с использованием опыта передовых мировых технологий – внедрения международного стандарта БМП (Блокировка – Маркировка – Проверка). Как показал анализ, действующая бирочная система на горнорудных предприятиях Кривбасса уступает своей эффективностью системе Lockout-tagout (LOTO). LOTO позволяет практически полностью устранить риски, связанные с человеческим фактором, при обесточивании оборудования и блокировании подачи опасной энергии, снижая производственный травматизм до 0%. Обосновано направление дальнейших исследований по совершенствованию существующей бирочной системы с внедрением в нее элементов системы Lockout-tagout (LOTO) или легализации стандарта Lockout-tagout (LOTO) на государственном уровне и целесообразности введения блокирующих устройств, как элементов технических мероприятий для подготовки рабочего места к работе, требующей снятия напряжения.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Согласно данным статистики, в общей массе травм на производстве с временной утратой трудоспособности вес электротравм незначителен - лишь 2 %. Однако среди травм со смертельным (летальным) исходом электротравм занимают ведущее место - 12,2%, т.е. каждая седьмая смертельная травма вызвана электрическим током при наличии огромного количества других опасных производственных факторов, таких как станки, транспортные и грузоподъемные средства, возможность падения с высоты при монтаже зданий, сооружений и транспортных объектов, наличие взрывоопасных и токсичных химических веществ и т.п.

Каждый несчастный случай является в конечном счете результатом опасного развития технологического процесса, организации работ, определенных конструктивных недостатков оборудования, невыполнения требований промышленной безопасности и невнимания к ним рабочих и инженерно-технических руководителей.

Как известно, правилами промышленной безопасности, инструкциями по эксплуатации электрооборудования и другими регламентирующими документами категорически запрещается

вступать в контакт с токоведущими частями, нарушать установленный порядок работы с приборами или порядок технического обслуживания электрооборудования.

На стадии проектирования объекта соответствующая документация согласовывается органами надзора. В период эксплуатации технологического оборудования обеспечение безопасности работ зависит непосредственно от конкретных лиц, организующих и (или) выполняющих работу.

На данной стадии, руководствуясь производственной необходимостью, корыстными соображениями, индивидуальными особенностями характера или под влиянием каких-либо непредусмотренных обстоятельств конкретные должностные лица работают с нарушениями требований правил электробезопасности.

Предупредительные плакаты по электробезопасности обычно носят устрашающий характер, которые, как показывает практика, не оказывают эффективного воздействия на сознание работников.

Большое количество несчастных случаев происходит при ремонтах технологического оборудования, при этом 80% несчастных случаев обусловлены организационными причинами и личностными факторами неадекватного поведения работников (неисправность предупредительной сигнализации и пуск механизма в работу без предупреждения; выполнение работ при работающем приводе или незаблокированном пускателе и др.).

Несчастный случай или авария происходят неожиданно и в течение короткого времени, однако накопление причин и условий для их возникновения происходит во многих случаях в течение длительного периода, формируясь из недостатков несовершенной технологии и нарушений требований промышленной безопасности.

Поэтому в данной статье будет проведен анализ причин, приводящих к авариям и электротравматизму для разработки превентивных мер по их предупреждению.

Анализ исследований и публикаций. Был проведен анализ о необходимости пересмотра и модернизации существующего подхода к контролю подачи электрического напряжения при производстве ремонтных работ, совершенствование действующей бирочной системы допуска к ремонтам технологического оборудования, внесения дополнений в технические мероприятия по разбору электрических схем, используя опыт передовых мировых технологий.

Проведенные исследования показали, что число несчастных случаев в электроустановках напряжением до 1000 В в три раза больше, чем в электроустановках напряжением выше 1000 В.

Это объясняется тем, что установки напряжением до 1000 В применяются более широко, а также тем, что в контакт с электрооборудованием вступает большее число людей, как правило, не имеющих электротехнической специальности.

Электрооборудование выше 1000 В распространено меньше, и к его обслуживанию допускается только высококвалифицированный электротехнический персонал.

Анализ причин электротравматизма позволил выявить наиболее распространенные из них: появление напряжения там, где его в нормальных условиях быть не должно (на корпусах оборудования, на металлических конструкциях сооружений и т.д., что чаще всего это происходит вследствие повреждения изоляции);

возможность прикосновения к незаземленным токоведущим частям при отсутствии соответствующих ограждений;

воздействие электрической дуги, возникающей между токоведущей частью и человеком в сетях напряжением выше 1000В, если человек окажется в непосредственной близости от токоведущих частей;

прочие причины (несогласованные и ошибочные действия персонала; подача напряжения на установку, где работают люди; при отсутствии на рабочем месте с электроустановкой под напряжением без надзора; допуск к работам на отключенном электрооборудовании без проверки отсутствия напряжения и т.д.)

Практике известны случаи, связанные с несанкционированным сбором электрической схемы при выполнении ремонтных работ на технологическом оборудовании с электроприводом.

Практика показывает, что причиной тяжелых форм электротравм являются несогласованные и ошибочные действия персонала, ошибочная подача напряжения на установку, где работают люди, нарушение правил безопасной эксплуатации электроустановок потребителей.

Приведем пример.

На одном из горно-обогатительных комбинатов Кривбасса при аварийной остановке конвейера дежурный электрослесарь производил поиск неисправности на механизме и перед началом работы произвел разбор электрической схемы в электропомещении.

Пришедший по вызову оператора напарник устранил найденную неисправность на панели управления конвейера и собрал электрическую схему, а дежурный электрослесарь, который производил поиск неисправности на механизме, попал под действие электрического тока. Причина - ошибочные действия персонала.

Постановка задачи. Основная проблема при выполнении ремонтных работ на технологическом оборудовании с электроприводом является возможность несанкционированного сбора электрических схем.

Предприятия группы Метинвест пытаются решить данную проблему путем внедрения международного стандарта БМП (Блокировка – Маркировка – Проверка).

Поэтому целью данной работы является решение использования международного опыта применения БМП при профилактике электротравматизма на горных предприятиях.

Изложение материала и результаты. Английское название системы БМП – «Lockout-Tagout», дословно переводится как «Блокировка/ Вывешивание предупреждающих бирок». Закрепились названия «системы защитной блокировки» и «блокировочные системы».

Также используется общепринятое английское сокращение «ЛОТО». Системы ЛОТО предназначены для обеспечения безопасности персонала при ремонте или техническом обслуживании промышленного оборудования.

Системы состоят из нескольких основных элементов (рис.1):

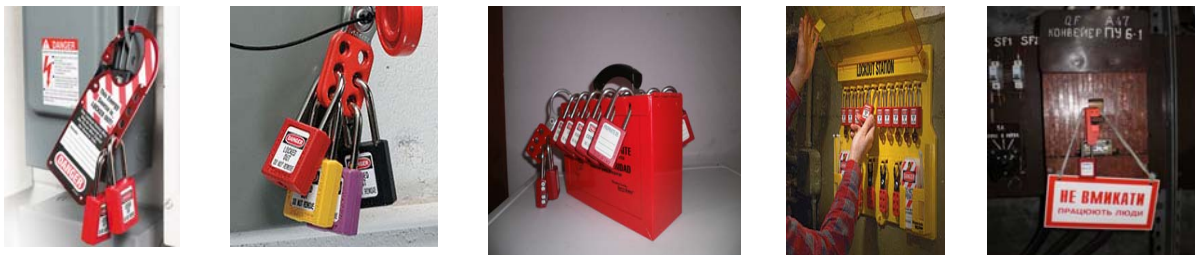


Рис. 1. Элементы системы ЛОТО

блокировочное устройство (блокиратор) - предназначено для надежной фиксации источника энергии в определенном положении;

бирка - содержит информацию о виде работ, времени начала и окончания работ, ответственном лице и т.д.;

навесной замок - служит для запираания блокиратора или непосредственно источника энергии (при наличии встроенной блокировки).

В качестве вспомогательных элементов системы защитной блокировки могут использоваться:

предохранительная накладка (хасп) - используется в случае проведения работ несколькими сотрудниками одновременно и позволяет каждому сотруднику заблокировать оборудование личным замком;

групповой бокс - позволяет уменьшить количество необходимых замков при групповой работе;

блокираторная (замковая, бирочная) станция - предназначена для упорядочивания хранения средств блокировки.

Таким образом, Lockout-tagout (ЛОТО) или «блокируй и маркируй» - это процедура безопасной работы, которая используется в промышленности и изучает настройки, гарантирующие правильное отключение опасного оборудования и предотвращающие их повторный запуск до того, как будут завершены все работы по обслуживанию и ремонту. Она требует, чтобы все опасные источники энергии были «изолированы и обозначены как недействующие» до того, как начнутся ремонтные работы. При выполнении работ по «блокировке и маркировке» с использованием замков, устройство или источник энергии обычно «запирают» с помощью засова, и устанавливают его в такое положение, которое препятствует включению опасного источника энергии. Процедура также требует, чтобы на запорное устройство была повешена бирка, обозначающая, что его нельзя включать.

Отключение или остановка опасного действия оборудования подразумевает удаление источника энергии и называется изоляцией. Действия, необходимые для изоляции оборудования,

часто прописывают в документах как процедуру изолирования или процедуру блокирования и маркировки. Процедура изолирования в общем случае включает следующие этапы:

Определение источников энергии.

Изолирование источников энергии.

Блокировка и маркировка источников энергии.

Проверка эффективности изолирования оборудования.

Блокировка и маркировка точек изоляции дает всем окружающим сотрудникам понять, что нельзя подключать устройство.

Рассмотрим приведенный выше в этой статье несчастный случай с использованием системы LOTO. Так, электрик участка при внедрении системы LOTO не имел бы технической возможности выполнить мероприятия по сбору электрической схемы конвейера и пуска его в работу, так как ключ от замка находился бы в групповом боксе, а групповой бокс был бы закрыт личными замками производителя работ и каждого члена ремонтной бригады (рис. 1).

Таким образом, применение системы LOTO на горных предприятиях минимизирует возможность сбора электрической схемы при выполнении ремонтных работ на технологическом оборудовании с электроприводом.

Система LOTO рекомендована к применению Международной Организацией Труда (МОТ), как наиболее эффективная система производственной безопасности при ремонтных и сервисных работах. Применяется на обязательной основе в Европе, Америке и Канаде.

LOTO позволяет практически полностью устранить риски, связанные с человеческим фактором, при обесточивании оборудования и блокировании подачи опасной энергии, снижая производственный травматизм до 0%. В мировой практике система LOTO находит широкое применение и вводится в стандарты по безопасности [9-16].

Выводы и направления дальнейших исследований. Действующая бирочная система на горнорудных предприятиях Кривбасса уступает своей эффективностью системе Lockout-tagout (LOTO). Поэтому, дальнейшие исследования будут направлены на внесение изменений в существующую бирочную систему с внедрением в нее элементов системы Lockout-tagout (LOTO) или легализации стандарта Lockout-tagout (LOTO) на государственном уровне. Также будут изучены вопросы о целесообразности введения блокирующих устройств, как элементов технических мероприятий для подготовки рабочего места к работе, требующей снятия напряжения.

Список литературы

1. Отраслевой стандарт Система стандартов безопасности труда, бирочная система на предприятиях и в организациях черной металлургии основные положения, порядок применения ГОСТ 14 55-79.
2. Правила безопасной эксплуатации электроустановок потребителей ДНАОП 0.00-1.21-98.
3. Правила устройства электроустановок. – Х.: Изд-во «Форт», 2009. – 704 с.
4. Стандарт Lockout-tagout (LOTO).
5. Директива Европейского Союза СЕЕ 89/655.
6. ГОСТ 12.2.003-91 Общие требования по безопасности для производственного оборудования.
7. ГОСТ 12.1.019-79 «Система стандартов безопасности труда».
8. Стандарт 29 CFR 1910.147 Федеральный реестр. Контроль опасной энергии (Lockout/Tagout)
9. Стандарт ISO 14118 Безопасность машин - предотвращение неожиданного запуска.
10. Стандарт ISO 14119 Безопасность машин, блокирующие устройства, связанные с принципами конструирования и выбора ограждений.
11. Стандарт ISO 12100-1 Безопасность машин. Основные положения проектирования оценки рисков и снижения риска.
12. Стандарт ISO 18001 Системы менеджмента профессионального здоровья и безопасности - Требования.
13. Директива Европейского Союза по машиностроению 2006/42/ЕС.
14. Директива Европейского Союза по рабочему оборудованию 2009/14/ЕС.

Рукопись поступила в редакцию 27.03.15

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ТРАНСПОРТЕРНЫХ ГАЛЕРЕЙ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ КОЛЕБАНИЯХ

Современное развитие промышленного производства связано с реконструкцией, расширением, техническим переоснащением и улучшением условий труда на действующих предприятиях. Учитывая рыночный характер отношений, важно, чтобы работы по реконструкции выполнялись в кратчайшие сроки. Тенденция к сокращению сроков реконструкции пролетных строений - весьма важное направление строительного дела.

При обследовании пролетных строений поверхностного комплекса шахт Криворожского бассейна выявлено значительное количество дефектов несущих и ограждающих конструкций галерей. Что касается ограждающих конструкций, то они требуют частичной или полной замены.

Среди общей экономии возникает вопрос о замене старых конструкций на более эффективные по ряду признаков. Это позволит значительно уменьшить нагрузку конструкции от собственного веса. То есть осуществляется переход на облегченные ограждающие конструкции галерей, что исключает необходимость выполнять проверочные расчеты несущей способности конструкций и опор галерей. Но уменьшение массы конструкции приводит к изменению частот собственных колебаний и жесткости всей конструкции. Это может привести к реализации резонанса, приводить к нарушению технологического процесса или аварийной ситуации. В наше время недостаточно сведений о работе конструкций пролетных строений при условии замены старых ограждающих конструкций на новые облегченные.

Благодаря проведенным исследованиям и накопленному практическому опыту строительство и реконструкция пролетных строений широко и с высокой эффективностью внедрялись в горнодобывающую промышленность. Несмотря на это, прослеживается длительный застой в динамике развития технико-экономических показателей строительства пролетных строений, не наблюдается развитие и совершенствование технологических схем ведения работ и реконструкции, не происходит модернизация оборудования, противоречит тенденции развития шахтного строительства в мировых горнодобывающих странах. При этом определяется перспективное направление развития технологии реконструкции галерей, который заключается в замене старых железобетонных ограждающих конструкций на современные облегченные материалы.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Основные цели динамического расчета конструкции заключаются в обеспечении, во-первых, ее несущей способности и, во-вторых, допустимых величин амплитуд ее колебаний.

В соответствии с этими целями в задачу динамического расчета конструкции входит определение внутренних динамических усилий в ее элементах и перемещений, обусловленных динамическими деформациями ее элементов. С точки зрения этой основной задачи, определение частот собственных колебаний конструкции выступает как задача, ей подчиненная, однако чрезвычайно важная: не зная частот собственных колебаний, невозможно более или менее надежно оценить величины амплитуд внутренних усилий и перемещений [1]. Помимо этого, знание частот собственных колебаний конструкции имеет и самостоятельное значение, позволяя выявить причины возникновения сравнительно больших колебаний и в соответствии с этим указать эффективные мероприятия, ведущие к их уменьшению.

Если в результате динамического расчета конструкции выясняется, что несущая способность ее обеспечена, а расчетные значения амплитуд колебаний конструкции не превышают допустимых, то цели динамического расчета достигнуты. Если же в результате динамического расчета обнаруживается, что несущая способность конструкции превзойдена вследствие появления в ней динамических усилий или что расчетные значения амплитуд динамических перемещений превышают допустимые значения, тогда возникает задача выбрать эффективный и экономичный способ уменьшения колебаний конструкции.

Постановка задачи. Из сказанного следует, что динамический расчет строительных конструкций не только не противопоставляется проектированию мероприятий по уменьшению колебаний, но сам призван служить этой же цели. Необходимость и целесообразность осуществления тех или иных способов уменьшения колебаний может быть установлена в результате динамического расчета конструкции, а эффективность этих мероприятий может быть проверена повторным динамическим расчетом конструкции. Тем самым разработку мероприятий по

уменьшению колебаний нередко можно предусмотреть еще до возведения сооружения - в процессе его проектирования. Между тем к мероприятиям по уменьшению колебаний обращались обычно лишь тогда, когда их настоятельная необходимость обнаруживалась в процессе эксплуатации сооружения.

В расчетах конструкций на действие динамических нагрузок независимо от принятого метода рекомендуется определять частоты собственных колебаний для установления возможности резонанса, вычисления резонансных перемещений и усилий и разработки необходимых мероприятий для снижения уровня колебаний.

Изложение материала и результатов. По результатам исследований с помощью компьютерного моделирования были построены графики зависимости частоты свободных колебаний пролетного строения галерей от массы ограждающих конструкций (рис. 1).

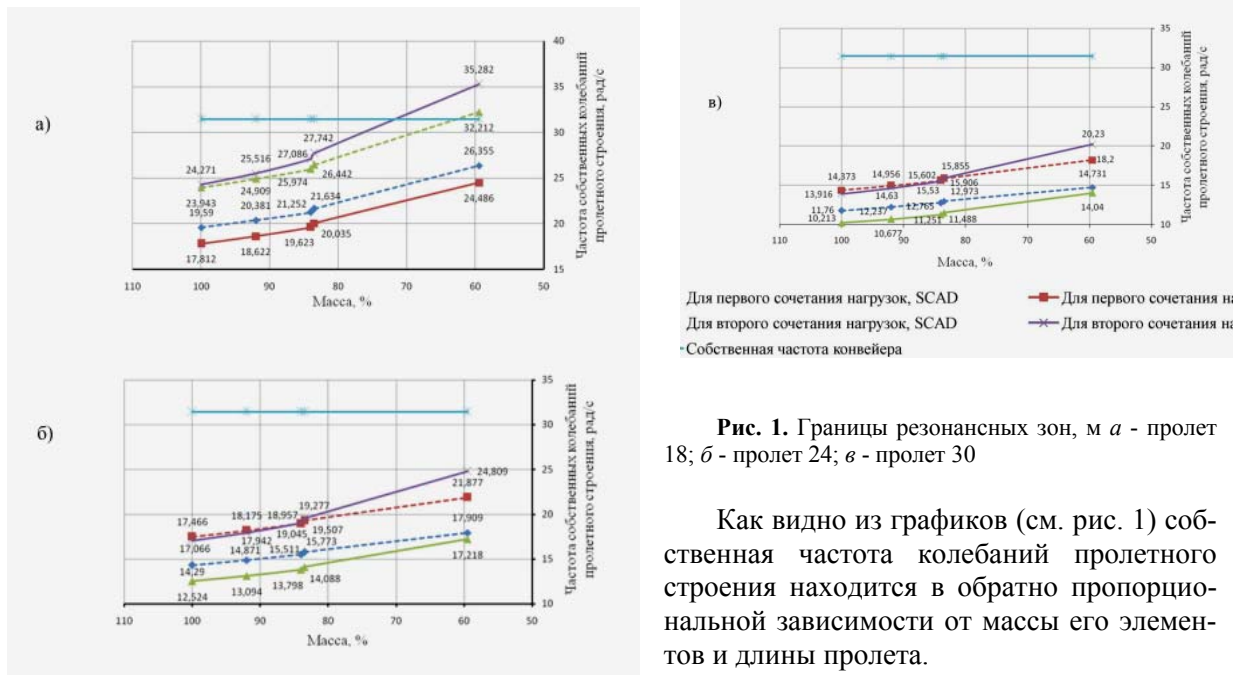


Рис. 1. Границы резонансных зон, а - пролет 18; б - пролет 24; в - пролет 30

Как видно из графиков (см. рис. 1) собственная частота колебаний пролетного строения находится в обратно пропорциональной зависимости от массы его элементов и длины пролета.

Получена неплохая сходимость с результатами теоретических расчетов по существующей методике с расхождением параметров до 13%.

Степень вероятности появления резонанса между динамической нагрузкой и конструкцией устанавливается путем определения частот собственных колебаний конструкций и сравнения их с частотами динамической нагрузки.

При этом должно учитываться существенно важное обстоятельство, что расчетное определение частоты собственных колебаний конструкции не может дать фактического значения частоты, но лишь нижний и верхний пределы некоторого диапазона, в котором оно заключено.

Таким образом, сопоставление значений частоты вынужденных колебаний ω с резонансным диапазоном, можно сделать вывод о том, что попадание в резонанс для пролетов 24 и 30 м нет. В то же время резонанс реализовывается в пролете галереи длиной 18 м при уменьшении массы пролета на 40,5%.

Необходимо заметить, что обоснование принципиальной возможности допущения резонанса в строительных конструкциях было бы неправильно истолковывать как отрицание желательности его исключения там, где это возможно. Напротив, во всех случаях, когда имеется возможность исключения резонанса, а ее осуществление не встречает затруднений и оправдывается экономически, следует ею воспользоваться.

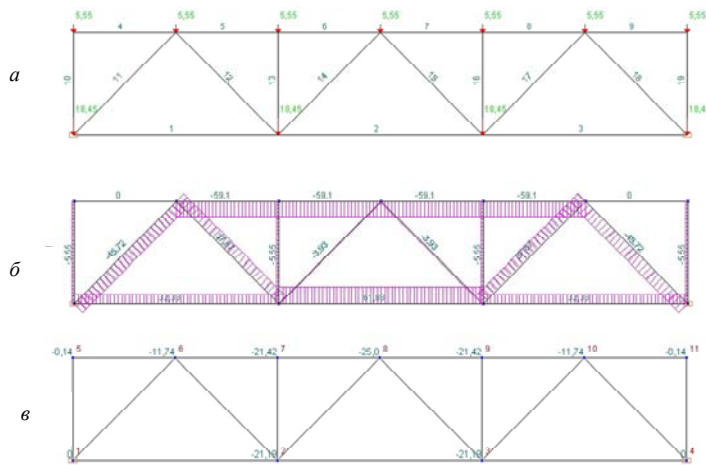


Рис. 2. Графическое отображение результатов расчетов пролетного строения длиной 18 м. *a* - схема статического нагружения; *б* - эпюра усилий в элементах; *в* - величина узловых перемещений

С динамической точки зрения форма собственных колебаний представляет упругую форму равновесия между инерционными и упругими силами конструкции. Такое равновесие возможно, как показано выше, только при собственных колебаниях. Каждой частоте на спектре частот собственных колебаний отвечает своя форма, существенно отличная от форм, отвечающих другим частотам спектра.

Каждой форме собственных колебаний присписывается номер соответствующей ей частоты. Первую форму часто называют основной.

Связь между номером формы собственных колебаний и количеством ее узлов (узловых линий) закономерна.

Знание форм собственных колебаний конструкции может оказаться полезным при проектировании и расчете конструкций под динамическую нагрузку. Выше указывалось, что если частота действующей на конструкцию периодической нагрузки приближается к критической частоте n_k (n_k - одна из частот собственных колебаний конструкции), то возможен резонанс, т.е. резкое возрастание амплитуд вынужденных колебаний конструкции. Это возрастание происходит за счет интенсивного развития k -й формы собственных колебаний конструкции.

Поэтому эпюра перемещений при резонансных колебаниях конструкции под действием нагрузки с критической частотой n_k имеет сходство с k -й формой собственных колебаний конструкции. Чем слабее это сходство, тем меньше резонансные амплитуды перемещений и внутренних усилий в конструкции и наоборот.

Таким образом, в тех случаях, когда частота динамической нагрузки может совпадать с частотой конструкции, знание форм собственных колебаний конструкции позволяет:

заранее указать сечения, в которых можно ожидать наибольшие резонансные перемещения;

располагать динамическую нагрузку на конструкции наиболее выгодно.

Поскольку расчет по существующей методике и компьютерное моделирование подтвердило опасность попадания в резонанс только пролета длиной 18 м, на нем и остановим свое внимание.

Динамические перемещения несущих конструкций определяются по нормативным значениям динамических нагрузок, а динамические усилия (изгибающие и крутящие моменты, продольные и поперечные силы) определяются по расчетным значениям динамических нагрузок [2].

При определении динамических перемещений и внутренних усилий в элементах перекрытий из внешней нагрузки учитываются только вертикальные силы и действующие в вертикальной плоскости моменты, а при определении динамических перемещений и внутренних усилий стоек и стен при горизонтальных колебаниях - только силы и моменты, действующие в горизонтальной плоскости.

При рассмотрении вертикальных колебаний определению подлежат наибольшие значения перемещения и изгибающего момента в пролетах, а также изгибающего момента и поперечной силы на опорах.

В результате полной замены ограждающих конструкций пролета длиной 18 м наибольшее вертикальное перемещение от статического нагружения составило 15,79 мм рис. 2, а от динамической составляющей 17,41 мм рис. 3, тогда суммарное перемещение равняется 33,2 мм.

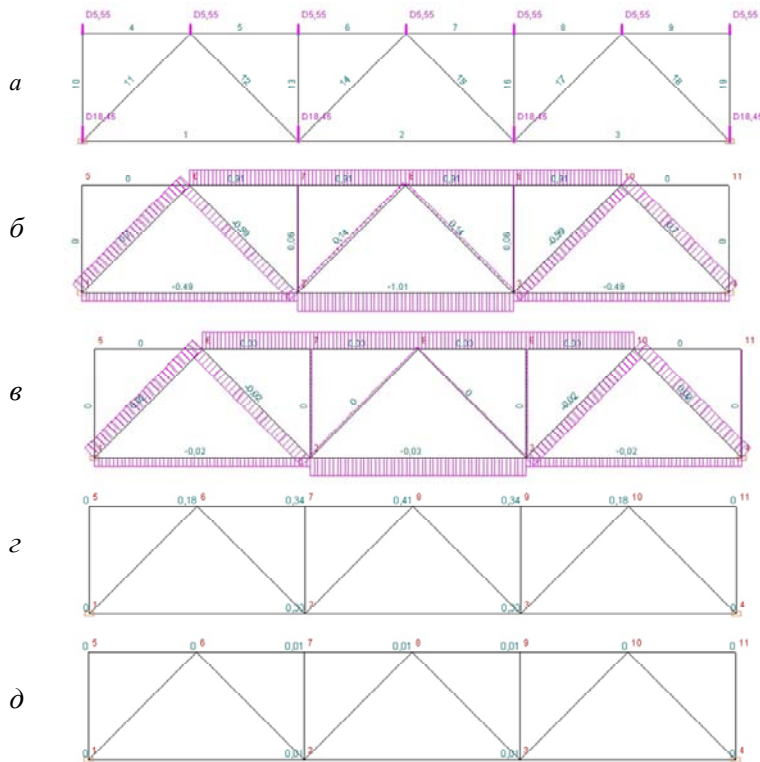


Рис. 3. Графическое отображение результатов расчетов пролетного строения длиной 18 м: а - схема динамического нагружения; б - эпюры усилий от вклада по первой форме; в - эпюры усилий от вклада по второй форме; г - перемещение узлов от вклада по первой форме; д - перемещение узлов от вклада по второй форме

Зависимость внутренних усилия в элементах фермы от массы пролета представлена на графиках рис. 4.

При расчете от статической составляющей нагружения прослеживается прямая зависимость внутренних усилий от массы пролета. Как видно из графиков (рис. 4) с уменьшением массы усилия от статической нагрузки уменьшаются.

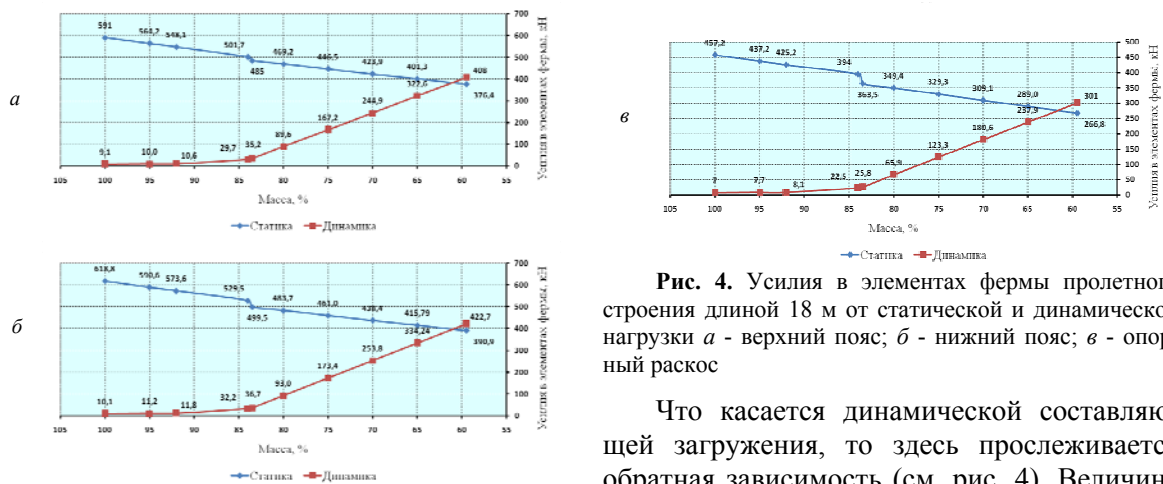


Рис. 4. Усилия в элементах фермы пролетного строения длиной 18 м от статической и динамической нагрузки а - верхний пояс; б - нижний пояс; в - опорный раскос

Что касается динамической составляющей нагружения, то здесь прослеживается обратная зависимость (см. рис. 4). Величина динамических усилий в элементах фермы

возрастает при уменьшении массы пролета, а при близости частоты вынужденных колебаний ω к первой частоте θ_1 свободных колебаний, то есть при режимах, близких к резонансу даже превышает величину статических усилий.

Анализ динамического расчета показал, что в условиях резонанса усилия в элементах возрастают на 30%. Это может привести к нарушению технологического процесса или аварийной ситуации. Поэтому необходимо выполнить проверочные расчеты на прочность, устойчивость и выносливость.

Выводы и направление дальнейших исследований. В результате исследований с помощью численного моделирования динамических процессов получена неплохая сходимость с результатами теоретических исследований по существующей методике с расхождением параметров до 10%.

Выведенные зависимости позволяют значительно упростить проверку на попадание в резонансную зону и дать рекомендации на стадии проектирования реконструкции. Уменьшение массы пролетного строения галерей приводит к уменьшению усилий от статической нагрузки и к увеличению от динамической при близости частоты вынужденных колебаний ω к первой частоте θ_1 свободных колебаний, то есть при режимах, близких к резонансу. При режимах близких к резонансу и при попадании в резонансную зону коэффициент динамичности возрастает, что говорит о резком увеличении усилий в элементах ферм пролетных строений от динамической составляющей.

Список литературы

1. **Сорокин Е.С.** Динамический расчет несущих конструкций зданий / **Е.С. Сорокин** - М.: Госстройиздат, 1956. – 340 с.
2. Инструкция по расчету конструкций промышленных зданий и сооружений на динамические нагрузки. - М., Стройиздат, 1970. - 286 с.
3. **Бондарь Н.Г.** Динамический расчет пролетных строений железнодорожных мостов / **Н.Г. Бондарь, Ю.Г. Козьмин** // Динамический расчет специальных инженерных сооружений / под ред. **Б.Г. Коренева, А.Ф. Смирнова**. - М.: Стройиздат, 1986. - С. 290 - 327.
4. **Гогелия Т.И.** Динамический расчет конструкций на подвижные нагрузки с применением метода конечных элементов / **Т.И. Гогелия** // Сообщение АН ГрССР, 115.-1984. -№ 1.- С. 121-124.
5. **Деркачев А.А.** Динамические расчетные схемы зданий и их свободные колебания / **А.А. Деркачев, С.Х. Негматуллаев**. - Душанбе: Дониға, 1970. - 230 с.
6. Динамический расчет зданий и сооружений: справочник проектировщика / **М.Ф. Берштейн, В.А. Ильичев, Б.Г. Корнев** и др. - М.: Стройиздат, 1984. - 303 с.
7. Динамический расчет зданий и сооружений: справочник проектировщика / под ред. **Б.Г. Корнеева, И.М. Рабиновича**. - М.: Стройиздат, 1984.
8. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия: справочник проектировщика / **М.Ф. Барштейн, Н.М. Бородачев, Л.Х. Блюмина** и др. - М.: Стройиздат, 1981. - 215 с.
9. **Хворост В.В.** Амплитудно-частотные характеристики пролетных строений на поверхности шахт в условиях перехода на облегченные ограждающие конструкции / **В.В. Хворост** // Перспективы освоения подземного пространства: междунар. науч.-практ. конф. 10-11 апр. 2012 г.: докл. – Днепропетровск, 2012. – С. 62-67.
10. **Хворост В.В.** Амплитудно-частотные характеристики транспортных галерей в условиях перехода на облегченные ограждающие конструкции / **Д.В. Бровко, Н.І. Посмашна, В.В. Хворост** // Вісник КТУ. – 2011. – Вип. 94. – С. 98-101.
11. **Хворост В.В.** Анализ состояния металлических сооружений на шахтах / **Д.В. Бровко, В.В. Хворост** // Международная научно-техническая конференция «Перспективы освоения подземного пространства». – Днепропетровск, 2008. – Вып. №14. – С. 56 – 58.
12. **Хворост В.В.** Динамика транспортных галерей в условиях перехода на облегченные ограждающие конструкции / **Д.В. Бровко, В.В. Хворост** // Материалы 4-й Международной научно-практической конференции «Перспективы освоения подземного пространства». – Днепропетровск, 2010. - С. 81-85.
13. **Хворост В.В.** Динамика транспортных галерей горнодобывающих предприятий / **Б.М. Андреев, Д.В. Бровко, Хворост В.В.** // Збірник наукових праць НГУ. - 2010. № 34, Т.1. – С. 88-93.
14. **Хворост В.В.** Динамический расчет зданий и сооружений горнодобывающих предприятий / **В.В. Хворост** // Материалы Международной научно-технической конференции «Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений». – Донецк, 2012. – Вып. 18 – С. 79-82.
15. **Хворост В.В.** Динаміка споруд при реконструкції / **Д.В. Бровко, В.В. Хворост** // Международная научно-техническая конференция «Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений». – Донецк, 2010. - Вып. 16 – С. 14-16.
16. **Хворост В.В.** Исследование состояния копровых сооружений / **Д.В. Бровко, В.В. Хворост** // Международная научно-техническая конференция «Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений». – Донецк, 2008. – Вып. 14. – С. 97-98.
17. **Хворост В. В.** Исследования влияния различных факторов на собственную частоту колебания пролетных строений транспортных галерей / **Д. В. Бровко, В. В. Хворост** // Вісник КТУ.- 2011. – Вип. 29.– С. 82-83.
18. **Хворост В. В.** Надшахтные копры - практика и усовершенствование их проектирования / **Д.В. Бровко, В.В. Хворост** // Разраб. рудн. месторожд. – 2007. – Вып. 91. – С. 83-87.
19. **Хворост В.В.** Оцінка стану галерей на поверхні гірничовидобувних підприємств Криворізького залізничного басейну / **Б.М. Андреев, Д.В. Бровко, Хворост В.В.** // Современные проблемы шахтного и подземного строительства. – Донецк, 2009. – Вып. 10-11. – С. 284-291.
20. **Хворост В.В.** Переваги та недоліки реконструкції галерей гірничовидобувних підприємств / **Д.В. Бровко, В.В. Хворост** // Міжнародна науково-технічна конференція «Гірничо-металургійний

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ СТІЙКОСТІ БОРТІВ КАР'ЄРІВ ТА ВІДВАЛІВ

Приведені основні методи спостережень та прогнозування стійкості відкритих гірничих виробок. Проблеми геомеханічних процесів є надзвичайно складною і багатогранною задачею, вирішення якої неможливе без вирішення цілого ряду приватних наукових завдань, зумовлених загальним ходом науково-технічного прогресу в теорії і практиці відкритих гірничих робіт. На основі досліджень фактичних характеристик кар'єрів та відвалів було обґрунтовано значимість та важливість виконання прогнозу, що є вагомим аспектом про перспективи та можливості стану укосів протягом усього строку їхньої служби. За результатами виконаної порівняльної характеристики ефективності існуючих методів та засобів контролю, визначені основні їх переваги і недоліки. Аналіз теорії й практики, щодо методів та засобів виконання прогнозу при експлуатації глибоких залізрудних кар'єрів, дозволив зробити висновок про необхідність впровадження сучасних технологій в усі види маркшейдерсько-геодезичних робіт, що дозволить підвищити ефективність оперативного й маркшейдерського обліків розкривних і добувних гірничих робіт, ефективність проведення спостережень за деформаціями та втрат корисних копалин.

Постановка проблеми. Впровадження нових та автоматизація існуючих методів прогнозування стійкого стану відкритих гірничих виробок є актуальною темою для гірничої промисловості. Методи та засоби, які були розроблені кілька років тому, являються вже застарілими, на зміну їм прийшли більш точніші, ефективніші, удосконалені та автоматизовані системи прогнозу. На сьогодні день перед маркшейдером або геодезистом постає проблема правильного вибору використання того чи іншого методу та способу прогнозування стійкого стану гірничого масиву. Тому саме для подолання даної проблеми пропонується виконати порівняльний аналіз існуючих методик спостережень, що використовуються на підприємствах Кривбасу.

Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. На сьогодні існує велика кількість методів та систем автоматизованого контролю, кожен з яких в тій чи іншій мірі виконує поставлене завдання. Ринок праці представлений великою різноманітністю сучасних приладів, для спостережень стійкого стану гірничих виробок. Потужні підприємства кожен день прагнуть до поліпшення та вдосконалення існуючих засобів спостережень. Однак сам прогноз передбачає отримання надійних результатів вихідних даних для оцінки подальшої стійкості бортих кар'єрів та відвалів, складовою частиною якого є встановлення форми та положення спостережимої поверхні ковзання в масиві гірських порід на його основі, шляхом інтерпретації результатів використовуваних методів спостереження за зміщенням робочих реперів, розташованих на бермах відвалів та бортах кар'єрів.

Найбільш суттєві відхилення, при визначанні часу виникнення можливого зсуву або під час визначення форми та положення поверхні ковзання, виникають у центральних її частинах, дія та вплив яких може призвести до появи похибок обґрунтування розрахункових схем та оцінки ступеня стійкості бортих кар'єрів та укосів розкривних відвалів.

Викладення матеріалу та результати дослідження. Вибір найбільш точного методу прогнозування стійкості бортих кар'єрів та відвалів, що при цьому потребує мінімальних затрат на його використання є однією з найважливіших частин процесу проведення спостережень за станом гірського масиву. Контроль за станом укосів проводять по мірі їх формування при просуванні фронту гірничих робіт до межових контурів кар'єру. Насправді, контроль стану укосів представляє собою процес встановлення відповідності між поточними вимірюваннями геомеханічних параметрів і заздалегідь встановленої норми. Головною задачею спостережень є – виявлення механізму зсувного процесу і встановлення найбільш важливих параметрів деформування укосу. Спостереження дозволяють виявити сукупну дію всієї суми факторів, які впливають на стійкість бортих кар'єрів та укосів розкривних відвалів. Оперативність і якість прогнозу прямо залежить від оперативності і точності отримання вихідної інформації про зміщення поверхні прибортового масиву.

В Україні, сьогодні спеціалістами використовується широке різноманіття методів прогнозування стійкого стану відкритих гірничих виробок, основними з яких є: візуальні; маркшейдерсько-геодезичні; інженерно-геофізичні; інструментальні; інженерно-геологічні; інженерно-гідрогеологічні; гідрогеологічні методи [1-2].

Виконаний аналіз сучасних методів спостереження та контролю, за станом гірничовидобувних регіонів на підприємствах Кривбасу, дозволив сформувати таблицю, за допомогою якої є можливість переглянути порівняльний аналіз та впевнитися у вірогідному рішенні щодо вибору того чи іншого методу [3-5]. Створена порівняльна характеристика методів прогнозування стійкого стану відкритих гірничих виробок наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Аналіз ефективності методів спостереження контролю за стійкістю бортів кар'єрів та відвалів

| Метод | Переваги методу | Недоліки методу | Характеристики даного методу |
|---|---|--|--|
| Візуальний | дозволяє оцінити галузь застосування результатів інструментальних, геофізичних і інженерногеологічних визначень стану укосів | є лише частиною комплексної методики вивченості умов стійкості укосів | метод полягає в фіксації видимих на поверхні проявів порушення стійкості укосів, характеру тріщинуватості масиву, водопоявів і наслідків вибухових робіт |
| Маркшейдерсько-геодезичні | дають кількісну оцінку деформації укосу, дозволяють виявити характер початку деформації, що дає можливість зробити прогнозування відносно її розвитку у часі | потребує закладки спеціальних станцій спостереження | метод полягає в фіксації і отриманні кількісних закономірностей деформації укосів на поверхні і в глибині масиву по результатам вимірювань горизонтальних зміщень і вертикальних осаджень |
| Інженерно-геофізичні | дозволяють швидко та оперативно знайти початок розвитку геомеханічного процесу | не дають остаточного твердження про стан укосів, його можна зробити лише на основі інженерно-геологічних і гідрогеологічних спостережень | метод дає вагомі дані, для визначення розвитку деформаційних процесів та їх швидкості. |
| Інструментальні | розвинуте апаратне забезпечення, певна методика робіт, автоматизована система розрахунку координат, високий ступінь безпеки робіт | використовуються тільки для спостереження за стійкістю бортів по профільних лініях | метод полягає в фіксації і отриманні кількісних закономірностей деформації укосів на поверхні і в глибині масиву по результатам вимірювань горизонтальних зміщень і вертикальних осаджень |
| Інженерно-геологічні | здобувають ведучу роль при формуванні відвалів розрихлених і скельних порід на слабкій основі | їх застосування залежить від умов і ступеня ущільнення порід в відвалі | метод полягає в фіксації змін в розподілі фізичних полів (електричного, магнітного, електромагнітного та інших), пов'язаних наявністю прихованого порушення укосу, зміною фізико-механічних і водно-фізичних властивостей масиву гірських порід. |
| Інженерно-гідрогеологічні і гідрогеологічні | оперативне визначення властивостей масивів гірських порід, порівняння фактичних їх показників з розрахунковими, документування випадків деформацій укосів та внесення необхідних поправок в проектні рішення і розробку спеціальних додаткових заходів, які забезпечують стійкість укосів | відсутність досвіду застосування для вирішення поставлених завдань, необхідність проведення в таких випадках додаткових досліджень | методи визначають положення депресійної кривої в масиві гірських порід, заміри притоків підземних вод на ділянках їх височування та здійснюють вимірювання парового тиску |

Складна геотектонічна будова у ряді гірничодобувних регіонів, викликана істотним збільшенням глибини розробки, вимагає створення принципово нових пристроїв для спостереження

зсуву гірських порід, що відрізняються підвищеною точністю прогнозування при їх, відносно спрощеній конструкції.

Це пов'язано зі специфікою даних робіт. Висока точність вимагає підвищення оперативності виконання прогнозу стійкості гірничих виробок та обліку руху їх промислових запасів.

Сучасна практика гірничовидобувних підприємств Кривбасу показує, що на даний момент, спостереження та вимірювання на кар'єрах виконуються за допомогою тахеометричної зйомки, нівелювання, використання систем GPS, тощо [6-7].

Засоби, що застосовують для проведення геомеханічного моніторингу відкритих гірничих виробок, на території Кривбасу це: електронні тахеометри; системи GPS; дистанційні методи (цифрова наземна зйомка); оптичні або електронні нівеліри; електронні тахеометри; лазерні далекоміри; лазерні сканери; системи радарного контролю.

Якісний стрибок у напрямку створення інструментів побудови 3D моделей стався з появою безвідбивачевих систем вимірювання, з розробкою на їх основі тривимірних лазерних скануючих систем. Застосування цих методів дозволяє забезпечити одержання значних переваг як у технологічному, так і в економічному аспектах [8].

Практичне застосування високоточних супутникових GPS приймачів, для визначення деформованого стану відкритих гірничих виробок, дозволило виконувати зйомку, що істотно знижує як час проведення роботи так і обробку результатів.

Це стало першим кроком, до вироблення основних методологічних підходів проведення GPS зйомок для контролю деформованого стану відкритих гірничих виробок.

Застосування систем GPS на кар'єрах Кривбасу дозволяє: відмовитися від включення до складу профільних ліній спостережних станцій опорних реперів в безпосередній близькості до спостережуваного породного масиву (опорна точка диференціальної корекції може знаходитися на відстані до 5 кілометрів від профільної лінії), що в свою чергу підвищує точність проведених вимірювань; значно розширити межі досліджуваних областей впливу гірничих робіт, що в підсумку дозволяє на якісно новому рівні вивчати деформування верхньої частині земної кори, викликане техногенними факторами [9].

Систематизацію технічних засобів для проведення геомеханічного моніторингу стійкого стану відкритих гірничих виробок представлено на рис. 1.



Рис. 1. Засоби геомеханічного моніторингу стійкості стану відкритих гірничих виробок

На сьогодні найпоширенішим методом корекції супутникового сигналу є метод диференціальної корекції.

Цей метод заснований на накопиченні даних для диференціальної корекції на базовій станції, яка складається з приймача з антеною, комп'ютера і відповідного програмного забезпечення.

Мобільний приймач GPS також накопичує дані у власній пам'яті в об'ємі, достатньому для подальшої корекції інформації.

Після закінчення робіт дані бази і мобільного приймача GPS спільно обробляються за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Використання радарних систем контролю (SSR) – Ground Probe можна назвати останнім словом науки і техніки в цій галузі.

Метою моніторингу за допомогою радарних систем спостереження є зниження ризиків виникнення надзвичайних ситуацій та зменшення їх можливих наслідків за рахунок своєчасного виявлення зміщень та деформацій земної поверхні на обстежуваних ділянках.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Для підвищення ефективності проведення спостережень, за деформаціями видобувних регіонів Криворіжжя, особливе місце займають питання впровадження ефективності використання нових засобів автоматизації гірничих процесів. Завдання удосконалення методик вимірів та інтерпретацій тріщинуватості гірських порід у бортах кар'єрів, шахтах, відвалах, свердловинах на сьогоднішній день достатньо актуальне.

В цілому, прогноз стійкості відкритих гірничих виробок, шляхом маркшейдерських спостережень за зрушенням гірських порід є найбільш достовірним, оскільки спирається на об'єктивну інформацію про стан гірських масивів. Але його застосування стикається з виробничими та економічними проблемами отримання реальних деформаційних характеристик породних укосів. Це зумовлює необхідність залучення в польові та камеральні маркшейдерські роботи сучасного геодезичного обладнання для контролю за стійкістю уступів, бортів кар'єрів і відвалів.

Впровадження нових інформаційно-вимірювальних комплексів на території Криворіжжя зумовило би автоматизацію більшості процесів та простоту обробки. Тому важливим, є питання створення системи автоматизованого контролю стійкості бортів кар'єрів і відвалів, деякі перші розроблені системи вже пройшли лабораторні випробування та готові до впровадження їх на гірничих підприємствах. За критерієм «вартість – ефективність» і якістю одержуваної інформації, застосування GPS технологій для отримання інформації про деформований стан породних масивів з метою прогнозування їх стійкого стану на сьогоднішній день найбільш доцільне.

Проблема управління стійкістю прибортових масивів на кар'єрах Кривбасу може бути вирішена тільки на основі комплексного підходу, що включає в себе рішення всіх складових задач та питань, що були розглянуті в даній статті.

Список літератури

1. Долгих Л.В. Сучасні методи знімальних робіт на кар'єрах / Л.В. Долгих, О.В. Долгих, М.М. Маленький // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2006. – № 13. – С. 48–51.
2. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. – Л.: ВНИМИ, 1971. – 187 с.
3. **Є.В.Герасимова**, А.В. Болотников. Використання геофізичних методів спостережень для оцінки стійкості бортів залізрудних кар'єрів //Рукопис подано до редакції 15.03.12 УДК 622. 271. 33:550.3; - Кривий Ріг, 2012. – с. 54-58.
4. **В.В. Демьянов**, С.М. Простов, В.А. Хамяляйнен, С.В. Сидельцев, Р.Ю. Сорокин Техническое и информационное обеспечение системы автоматизированного контроля устойчивости бортов карьеров - №3 (2006). с. 113-117.
5. **Генике А.А.**, Черненко В.Н. Исследование деформационных процессов на Загорской ГЭС спутниковыми методами / А.А. Генике, В.Н. Черненко // Геодезия и картография. – 2003. – №2. – С. 27–33.
6. **Болотников А.В.** Применение GPS-технологий в маркшейдерско-геодезическом обеспечении открытых горных работ / А.В. Болотников, А.А. Романенко // Збірник наукових праць ДП «НДГРІ». – Кривий Ріг. – 2010. – №52. – С. 35–41.
7. **Генике А.А.** Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии / А.А. Генике, Г.Г. Побединский. – М.: Картоцентр; Геодезиздат, 1999. – 272 с.
8. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. Л.: ВНИМИ, 1987. – 118 с.
9. **Петраковский С.Я.** Применение методов стереофотограмметрии и программы PHOTOMOD Lite в практике маркшейдерских измерений. Рукопись поступила в редакцию 20.03.15

А.М. ГОЛЫШЕВ, д-р техн. наук, проф., Т.В. ДЕНЬГУБ, магистр
Криворожский национальный университет

ОСОБЕННОСТИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСПИРАЦИОННЫХ СИСТЕМ И СПОСОБЫ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ

Локализация вредных выбросов и очистка запыленного воздуха при работе горноперерабатывающих предприятий осуществляется при помощи аспирации. На ее работу расходуется около 15% от энергетических затрат на привод технологического оборудования. В процессе эксплуатации аспирационных систем возникает необходимость изменять их режим работы применительно к изменению работы оборудования и с целью снижения энергетических затрат.

Методом математического моделирования исследованы аэродинамические характеристики аспирационных систем, которые выполнены по схеме элементов сети «местный отсос – магистральный воздуховод – пылеулавливающие аппараты – вентилятор» и по схеме «местный отсос – пылеулавливающий аппарат – магистральный воздуховод – вентилятор». Установлено, что аспирационные системы, выполненные по первому варианту компоновки элементов сети эффективно работают только в проектном режиме и не допускают изменения количества местных отсосов в процессе их эксплуатации. Уменьшение или добавление количества местных отсосов приводит к отложению пыли в магистральном воздуховоде в первом случае, либо к истечению запыленного воздуха из аспирационных укрытий.

Аспирационные системы, выполненные по второй схеме компоновки элементов сети обладают более высокой аэродинамической устойчивостью. При уменьшении количества местных отсосов по сравнению с проектным режимом (например, при части неработающих технологических агрегатов) возможно уменьшение мощности привода вентилятора, т.к. в магистральный воздуховод будет поступать очищенный от пыли воздух. Увеличение по сравнению с проектом местных отсосов вместе с пылеулавливающими аппаратами существенно не изменяет аэродинамическую характеристику аспирационной сети и обеспечивается надёжная локализация вредных примесей в укрытиях оборудования.

Таким образом, методом математического моделирования доказаны преимущества аспирационных систем, выполненных по схеме «местный отсос – пылеулавливающий аппарат – магистральный воздуховод – вентилятор» как более аэродинамически устойчивых и энергетически целесообразных.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Аспирационные системы предприятий перерабатывающих горнорудное сырьё, предназначены для обеспечения нормальных санитарно-гигиенических условий на рабочих местах в производственных цехах и уменьшения выбросов минеральных пылей в окружающую среду [1,2]. Для эффективной работы аспирационных систем по локализации источников пыления, транспортирования запыленного воздуха к пылеочистным аппаратам и очистки воздуха от пыли необходимо около 15% от общей энергетической мощности приводов механизмов технологических процессов переработки и обогащения горного сырья [3,7]. Поэтому вопрос снижения энергетических затрат при работе аспирационных систем с одновременным обеспечением необходимой эффективности её работы в настоящее время имеет немаловажное значение. Уменьшение энергетических затрат на работу аспирационных систем возможно при анализе её аэродинамических характеристик и выборе таких вариантов компоновки конструктивных элементов, при которых возможно снижение мощностей приводов побудителей тяги в аспирационных сетях [5,6].

Изложение материала и результаты. Одним из важных параметров, позволяющих оценить аэродинамические свойства аспирационных систем, является её аэродинамическая устойчивость Y

$$Y = Q/Q_n, \quad (1)$$

где Q – объемный расход запыленного воздуха, удаляемого от технологического оборудования при изменении проектного режима работы системы, $\text{м}^3/\text{с}$; Q_n – проектная производительность аспирационной системы, $\text{м}^3/\text{с}$.

Изменения проектного режима работы аспирационных систем могут быть вызваны:

a - отложением пыли в магистральном воздуховоде или в ответвлениях трубопровода к местным отсосам;

b - увеличением или уменьшением количества местных отсосов по сравнению с проектным решением;

в - изменением аэродинамических характеристик побудителя тяги (вентилятора);

г - изменением системы очистки аспирационного воздуха от пыли [9,7].

Однако, как показывает опыт эксплуатации аспирационных систем, наиболее распространенными случаями нарушения проектного режима аспирационных систем является изменение количества местных отсосов (пункт б) без надлежащего изменения мощности привода вентилятора. Нарушение конструкции сети приводит к отложению пыли либо в ответвлениях трубопроводов к местным отсосам, либо в магистральном воздуховоде. В случае, когда производится изменение в системе очистки воздуха от пыли (пункт з), как правило, производится перепроектирование аспирационной системы с заменой побудителя тяги (пункт в).

Таким образом, наиболее типичным случаем нарушения проектного аэродинамического режима аспирационных систем является изменение количества местных отсосов с сохранением неизменной мощности привода побудителя тяги. Закономерность изменения аэродинамического режима возможно изучить при помощи показателя аэродинамической устойчивости U [8,9,10]. Однако общая зависимость в виде отношения (1) не дает возможности исследовать ее изменения в зависимости от конструктивных особенностей аспирационной сети. В связи с этим параметры Q и Q_n нами определялись согласно зависимостям

$$Q = \left[\frac{p}{\left(\sum_{i=1}^k [R_{oi} + R_m] \right)} \right]^{0,5}, \quad (2)$$

$$Q_n = \left[\frac{p}{\left(\sum_{i=1}^n [R_{oi} + R_m] \right)} \right]^{0,5}, \quad (3)$$

где p - давление (разрежение) в конце магистрального воздуховода перед входом воздуха в пылеочистные аппараты, Па; R_m - характеристика аэродинамического сопротивления магистрального воздуховода, кг/м⁷; $\sum_{i=1}^k R_{oi}$, $\sum_{i=1}^n R_{oi}$ - суммарные характеристики сопротивления ответвлений с местными отсосами в непроектом и проектом режиме, соответственно, кг/м⁷; k, n - конечное количество местных отсосов.

Так как давление p в магистральном воздуховоде при неизменной мощности вентилятора практически не изменяется, то зависимость (1) с учетом значений Q и Q_n по формулам (2) и (3) примет вид

$$U = \left[\frac{\left(\sum_{i=1}^n R_{oi} + R_m \right)}{\left(\sum_{i=1}^k R_{oi} + R_m \right)} \right]^{0,5} \quad (4)$$

При одинаковых количествах местных отсосов $k=n$ аэродинамическая устойчивость аспирационной системы не изменится и будет равна $U=1$, т.е. остается проектной. Однако, при $k \neq n$ показатель устойчивости будет изменяться по сравнению с проектным режимом работы системы.

По своим конструктивным особенностям аспирационные системы могут иметь различные схемы присоединения воздухопроводов с местными отсосами к магистральному воздуховоду:

по коллекторной схеме;

к расширяющемуся магистральному воздуховоду;

иметь один или несколько сборных воздухопроводов. Поэтому каждая конкретная аспирационная система требует отдельного исследования в зависимости от её конструктивной схемы. Однако для всех них будут общие закономерности изменения показателя устойчивости, отличающиеся друг от друга на незначительные значения. Для получения таких наиболее общих закономерностей нами проведены следующие исследования.

Институтом ВНИИБТГ при участии профессоров А.М. Голышева, И.Н. Логачева, О.Д. Минко, Н.И. Швидкого и др. проведены многочисленные исследования аэродинамических свойств аспирационных систем горно-обогатительных комбинатов (ГОК) [2,7]. Согласно этим исследованиям аспирационных системы ГОКов характеризуются следующими параметрами. Длина сборного магистрального воздуховода колеблется в интервалах 10-50 м при потере в них давления 100-500 Па для коллекторной схемы подключения местных отсосов. Длина отводов с местными отсосами колеблется в пределе 3-10 м при потере давления в 300-500 Па; сопротивление аппаратов первой стадии очистки (циклонов типа ЦН, УЦ) - 600-1300 Па. Скорость движения воздуха во всех аспирационных трубопроводах принимается равной ≈ 20 м/с. При известных объёмных расходах воздуха Q , через элементы аспирационной сети его аэродинамическая характеристика сопротивления рассчитывается по формуле

$$R_3 = p_3 / Q_3^2, \quad (5)$$

где p_3 – потеря давления при прохождении воздуха через конструкцию элемента, Па.

Проведено математическое моделирование аэродинамического режима аспирационной сети имеющей $n=10$ запроектированных местных отсосов с расходом $Q_{o,i}=20 \text{ м}^3/\text{с}$ в каждом с потерей давления $p_{o,i}=400 \text{ Па}$ ($R_{o,i}=1000 \text{ кг}/\text{м}^7$); сопротивление коллекторного сборного трубопровода $p_m=300 \text{ Па}$ ($R_m=0,75 \text{ кг}/\text{м}^3$ при $Q_m=20 \text{ м}^3/\text{с}$). При параллельном подключении k отводов с местными отсосами к магистральному воздухопроводу их характеристика общего сопротивления будет равна

$$\sum_{i=1}^n R_{oi} = \frac{R_{o,i}}{k^2} = \frac{100}{k^2}, \quad (6)$$

а группы циклонов

$$\sum_{i=1}^n R_{ui} = \frac{R_{u,i}}{k^2} = 300/k^2, \quad (7)$$

Вначале был исследован характер изменения устойчивости аспирационной сети, состоящей из k местных отсосов, магистрального воздухопровода и группы циклонов, установленных перед вентилятором. Устойчивость Y_c аспирационной сети на основании зависимостей (4), (6), (7) в конечном виде будет определяться формулой

$$Y_c = (k/n)[(R_{oi}+R_{ui}+n^2R_m)/(R_{oi}+k^2R_m+R_{ui}k^2/n^2)]^{0,5}, \quad (8)$$

При значениях $n=10$; $R_{oi}=100 \text{ кг}/\text{м}^3$, $R_{ui}=300 \text{ кг}/\text{м}^3$; $R_m=0,75 \text{ кг}/\text{м}^3$ выражение (8) будет иметь численное значение

$$Y_c = 2,18k/(100+3,75k^2)^{0,5}. \quad (9)$$

Аэродинамическая устойчивость каждого ответвления с местным отсосом определяется общей формулой

$$Y_o = [(R_{oi}+R_{ui}+n^2R_m)/(R_{oi}+k^2R_m+R_{ui}k^2/n^2)]^{0,5}, \quad (10)$$

которая при вышеупомянутых значениях принимает вид

$$Y_o = 21,8/(100+3,75k^2)^{0,5}. \quad (11)$$

Таблица 1

Результаты расчетов аэродинамической устойчивости аспирационной системы, местных отсосов и расходов воздуха (общепринятая компоновка сети)

| k | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Y_c | 0,78 | 0,85 | 0,91 | 0,95 | 0,98 | 1,00 | 1,02 | 1,03 | 1,04 | 1,05 | 1,06 |
| Y_o | 1,56 | 1,42 | 1,30 | 1,19 | 1,09 | 1,00 | 0,93 | 0,86 | 0,80 | 0,75 | 0,71 |
| $Q_c(k), \text{ м}^3/\text{с}$ | 15,6 | 17,0 | 18,2 | 19,0 | 19,6 | 20,0 | 20,4 | 20,6 | 20,8 | 21,0 | 21,2 |
| $Q_o(k), \text{ м}^3/\text{с}$ | 3,12 | 2,83 | 2,60 | 2,38 | 2,18 | 2,00 | 1,85 | 1,72 | 1,60 | 1,50 | 1,41 |

В случае, если пылеулавливающие циклоны будут установлены не перед вентилятором, а после местных отсосов на ответвлениях, то аэродинамическая устойчивость Y'_c видоизмененной сети определяется по формуле

$$Y'_c = (k/n)[(R_{oi}+R_{ui}+n^2R_m)/(R_{oi}+k^2R_m+R_{ui}k^2)]^{0,5}, \quad (12)$$

а каждого местного отсоса Y'_o рассчитывается по зависимости

$$Y'_o = [(R_{oi}+R_{ui}+n^2R_m)/(R_{oi}+k^2R_m+R_{ui}k^2)]^{0,5}, \quad (13)$$

При подстановке вышеупомянутых значений, формулы (12) и (13) принимают вид

$$Y'_c = 2,18k/(400+0,75k^2)^{0,5}, \quad (14)$$

$$Y'_o = 21,8/(400+3,75k^2)^{0,5}. \quad (15)$$

В табл. 2 представлены значения расчетов значений аэродинамической устойчивости Y'_c , Y'_o , а также расходов воздуха $Q'_c(k)$ через сеть и каждый местный отсос - $Q'_o(k)$.

Таблица 2

Результаты расчетов параметров Y'_c , Y'_o , расходов воздуха $Q'_c(k)$ и $Q'_o(k)$ при изменённой компоновке элементов аспирационной сети

| k | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Y'_c | 0,53 | 0,63 | 0,73 | 0,82 | 0,91 | 1,00 | 1,08 | 1,16 | 1,23 | 1,30 | 1,37 |
| Y'_o | 1,06 | 1,05 | 1,04 | 1,02 | 1,01 | 1,00 | 0,98 | 0,97 | 0,95 | 0,93 | 0,91 |
| $Q'_c(k), \text{ м}^3/\text{с}$ | 10,6 | 12,6 | 14,6 | 16,4 | 18,2 | 20,0 | 21,6 | 23,2 | 24,6 | 26,0 | 27,4 |
| $Q'_o(k), \text{ м}^3/\text{с}$ | 2,12 | 2,10 | 2,08 | 2,05 | 2,02 | 2,00 | 1,96 | 1,93 | 1,89 | 1,86 | 1,83 |

Изменяемое значение k (число местных отсосов), приведенное в табл. 1,2, характеризует уменьшение (отключение в процессе эксплуатации) местных отсосов при $k<10$ по сравнению с

проектным выполнением аспирационной системы. Увеличение значения $k > 10$, наоборот, добавление в процессе эксплуатации дополнительных местных отсосов по сравнению с проектным выполнением системы. Различная компоновка конструктивных элементов аспирационной системы так же влияет на аэродинамический режим ее работы.

Для общепринятой компоновки элементов сети в изменении аэродинамических характеристик системы наблюдается следующие закономерности (см. табл. 1).

1. При уменьшении количества местных отсосов $k < n = 10$, производительность аспирационных систем уменьшается, а местных отсосов, наоборот, увеличивается. В таком случае в магистральном воздуховоде возможно отложение пыли в следствии уменьшения скорости воздуха, а местные отсосы будут работать с неоправданно избыточной мощностью.

2. В случае увеличения (добавления) местных отсосов аспирационная система работает практически в проектном режиме. Однако производительность местных отсосов падает, что чревато снижением изолирующих свойств укрытий и «выбиванию» из них пыли.

Для расположения конструктивных элементов сети по схеме «местный отсос – циклон – коллектор – вентилятор» имеют место следующие закономерности (см. табл. 2).

1а. С изменением количества местных отсосов, отличного от проектного исполнения системы, производительность аспирационной сети автоматически изменяется до надлежащего значения ($Q_k'(k) = kQ_{on}$ где Q_{on} – проектная производительность одного местного отсоса). В меньшей степени изменяется (в пределах $\pm 10\%$) объемные расходы воздуха через местные отсосы, т.е. их работа обеспечивает требуемую надёжность укрытия очага пыления.

2а. Уменьшение производительности аспирационной сети ниже проектной (при $k < n = 10$) и, соответственно, снижение скорости воздуха в коллекторной магистрали, не вызывает отложение пыли в коллекторе, так как запыленный воздух от местного отсоса будет уже очищен в пылеулавливающем аппарате.

В ряде случаев аспирационная система обслуживает две параллельные технологические линии переработки горного сырья. В силу определенных причин одна из них может находиться в состоянии простоя. При общепринятой компоновке элементов аспирационной сети отключение неработающих местных отсосов невозможно, так как в коллекторном воздуховоде возможно отложение пыли. Для предотвращения этого нежелательного явления аспирационная система вынуждена работать на полную мощность даже при части неработающего оборудования, что в энергетическом плане является нецелесообразным.

При компоновке элементов сети по схеме «местный отсос - циклон - коллектор» при отключении части местных отсосов и снижении скорости воздуха в коллекторе исключается отложение в нём пыли, т.к. воздух оказывается очищен от грубодисперсных частиц пыли. Одновременно существует возможность автоматически снизить мощность привода вентилятора, что позволяет существенно экономить электроэнергию при сохранении необходимой эффективности работы аспирационной системы.

Выводы и направления дальнейших исследований. Таким образом, проведенные исследования позволяют сформулировать следующие выводы.

Разработана математическая модель, позволяющая изучать аэродинамические свойства аспирационных систем с учетом схемы компоновки составляющих элементов аспирационной сети.

Аспирационные системы, сети которых выполнены по схеме «местный отсос – магистральный воздуховод - пылеулавливающий аппарат - вентилятор» оправдывают свою энергетическую и пылеулавливающую эффективность лишь при строгом соблюдении их проектных условий эксплуатации, т.к. регулирование их аэродинамических характеристик требует определенного перепроектирования.

Установлено, что аспирационные сети составленные по схеме «местный отсос – пылеулавливающий аппарат – магистральный воздуховод - вентилятор» обладают большей аэродинамической устойчивостью, чем сети традиционной компоновки. При этом они позволяют экономить электроэнергию привода вентилятора при технологической остановке части оборудования.

Список литературы

1. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» - К.: 1992 – 8с.

2. Улучшение условий труда на горно-обогатительных комбинатах / С.А.Стежко, А.К. Елисеев, А.П.Янов и пр. – М.: Недра, 1990. – 170с.:ил.
3. Пирумов А.И. Обеспыление воздуха – М.: Стройиздат, 1998.-296с.
4. Гольшев А.М., Задорожний С.И., Герасимчук А.В. Контроль процесса пылеосаждения в воздуховодах аспирационных систем// Вісник Криворізького технічного університету; зб. наук. пр. – Вип. 22. – Кривий Ріг: КТУ, 2008.-с. 184-188.
5. Голишев О.М., Деньгуб Т.В. Причины аэродинамического розрегулювання місцевих відсмоктувачів аспіраційних систем фабрик ГЗК. – Кривий Ріг: Вісник КТУ. зб. наук. пр. – Вип. 25. – Кривий Ріг: КТУ, 2010.-с. 94-96.
6. Желтобрюхов В.Ф., Боровиков Д.П. Анализ причин забивания систем аспирации строительной отрасли // Научн.-практич. конфер. «Проблемы охраны производственной и окружающей среды» - Волгоград. 2001. С 84-87.
7. Логачев И.Н., Логачев К.И. Аэродинамические основы аспирации. С.-Пб.: Химиздат, 2005.-659с.
8. Минко В.А., Киреев В.М. Разработка аспирационных укрытий и инженерной методики их расчёта/ Безопасность труда в промышленности.-2013.-№2.-С: 42-46.
9. Справочник по расчётам гидравлических и вентиляционных систем/ Под ред. А.С.Юрьева// АНО НПО «Мир и семья» 2001. 1115 с., илл.
10. К. Logachev, А. Puzanok, I. Logachev. The prediction of dispersed composition in local ventilating exhaust// CD-proceeding of the 8th RENVA World Congress Clima 2005 lp.

Рукопись поступила в редакцию 27.03.15

УДК 622.457: 621.926.2

М.В. АНДРЕЙЧИКОВ, аспірант, Криворізький національний університет

ІННОВАЦІЙНІ РОЗРОБКИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУХОГО ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАЗВУКУ

Статтю присвячено питанню ефективності пилопригнічення. Був проведений аналіз рудникової атмосфери при дробуванні сировини. Розроблена модель фільтра «Циклон», який оснащений ультроразвуковим генератором. Низька ефективність аспіраційних систем підприємств зв'язана не тільки з експлуатаційними причинами: порушенням технології, абразивним зношенням, злипанням пилу, але й з недосконалістю апаратів очищення повітря.

Враховуючи технологічну недосконалість засобів пиловловлювання, невисоку ефективність їх роботи при подрібненні сировини, внаслідок чого концентрації пилу і шкідливих газів на робочих місцях у більшості випадків перевищують допустимі величини, що призводить до розвитку пилового бронхіту і силікозу у робітників, метою наукової роботи є зменшення змісту шкідливих домішок в атмосфері робочої зони при подрібненні сировини до нормативних величин за регламентований проміжок часу шляхом пригнічення пилових викидів. Як відомо фільтр «Циклон» достатньо ефективний в уловлюванні крупнодиспертного пилу, але мало ефективний у уловлюванні дрібнодисперсного пилу. Для збільшення ефективності осадження дрібнодисперсного пилу в «Циклоні» необхідно збільшити масу частинок пилу, тобто скоагулювати частини. Інтенсифікація процесу коагуляції пилу та збільшення ефективності її уловлювання досягається тим, що на частинки пилу діє ультразвукове випромінювання.

Ультразвукова коагуляція являє собою процес зближення і укрупнення, зважених в газі або рідині дрібних твердих часток, рідких крапельок і газових бульбашок під дією акустичних коливань звукових або ультразвукових частот. Швидкість коагуляції, тобто ефективність процесу очищення промислових газів від дисперсних домішок з допомогою накладення ультразвукових коливань високої інтенсивності визначаються: інтенсивністю коливань, часом експозиції, частотою, вихідною концентрацією. Усе це дозволяє констатувати, що за допомогою розробленого пиловловлювача при транспортуванні, дробуванні й скиданні сировини створені нормальні санітарно-гігієнічні умови праці за пиловим чинником, які повністю виключають виникнення у робітників пневмоконіозу.

Ключові слова: гірниче підприємство, пневмоконіоз, пиловловлювачі.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Низька ефективність аспіраційних систем підприємств зв'язана не тільки з експлуатаційними причинами: порушенням технології, абразивним зношенням, злипанням пилу, але й з недосконалістю апаратів очищення повітря.

Стабілізація та економічний підйом гірничо-металургійного комплексу України потребує пошуку нових ефективних рішень по збільшенню видобутку, переробки та реалізації мінеральної сировини в умовах жорсткої ринкової конкуренції.

Успішне рішення цих задач неможливо без виконання заходів соціального розвитку регіонів, покращення умов та безпечності праці. Не дивлячись на зниження загальної кількості професійних захворювань та травматизму за роки економічних реформ, їх рівень у залізорудній промисловості залишається високим. По даним інституту промислової медицини найбільш високий рівень професійних захворювань у робочих шахтах Кривбасу пиловим бронхітом, близь-

ко 34% від загальної кількості. Аналіз досліджень показує, що пилоподавління зрошуванням характеризується простотою і доступністю. Воно передбачає використання різних зрошувальних пристроїв, які відрізняються режимами роботи і технічними параметрами.

Більше хворіють пиловим бронхітом підземні робітники основних професій: прохідники, бурильники, підрильники, скреперисти, робітники дробарних фабрик. Велика кількість робіт присвячена підвищенню ефективності пригнічення шкідливих газів і пилу фізико-хімічними методами. Шкідливі гази, що утворюються при вибуху, мають різні фізико-хімічні властивості, що впливає на вибір і ефективність нейтралізуючих речовин. Так, двоокис азоту добре розчиняється у воді і погано адсорбується, а оксид азоту, особливо в невеликих кількостях, неактивний. Також і оксид вуглецю слабозрчинний у воді, тому вживане на практиці зрошування водою пилогазової хмари по суті не забезпечує пригнічення і нейтралізацію цих газів [1].

Захворюваність робітників пиловим бронхітом пояснюється тим, що концентрація пилу на робочих місцях у більшості випадків перевищує ГДК.

Питання очищення від пилу газоповітряних потоків промислових підприємств були і залишаються актуальними і пов'язані із забезпеченням зниження екологічної шкоди, що завдається викидом дисперсних частинок з газами, що відходять у хімічній (коксохімічній), гірничій, металургійній та інших галузях промисловості. У виробничих приміщеннях збагачувальної фабрики стан повітряного середовища може значно змінюватися внаслідок виділення в атмосферу пилу, вологи, тепла несприятливо впливають як на здоров'я працівників, так і на стан устаткування і будівельних конструкцій. Основним і найбільш ефективним засобом, що сприяє створенню у виробничих приміщеннях нормальних санітарно-гігієнічних і безпечних умов праці, є промислова вентиляція. З її допомогою вирішується найважливіше завдання забезпечення у виробничих приміщеннях необхідних метеорологічних параметрів - температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, а також гранично допустимої концентрації пилу і шкідливих газів.

Запобігання забрудненню атмосфери є однією з найважливіших проблем глобального характеру. Актуальність роботи в умовах, що склалися, обумовлена необхідністю вдосконалення існуючих і створення нових високо ефективних засобів пиловловлювання, дозволяючи зменшити концентрації пилу до рівня, який виключає можливість виникнення пневмоконізононебезпечних ситуацій з неорганізованими джерелами викидів в умовах інтенсифікації виробництва.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанням пиловловлювання присвячені роботи великих учених, серед них праці Бересневича П.В., Гагауза Ф.Г., Дьякова В.В., Єфремова Е.І., Россі Б.Д., Слюсаренко В.Г., Швидкого Н.І., Янова А.П., Ярембаша І.Ф., Хмельов В.Н. та ін. [1,2], в яких викладено теоретичні і прикладні питання осадження пилу під дією центробіжних сил.

Виконаний аналіз сучасного стану питань пиловловлювання дробарних устаткувань шахт показав, що існуючі методи і засоби цієї боротьби не відповідають сучасним вимогам. Ефективність заходів пиловловлювання невисока. Діючі засоби вентиляції потребують реконструкції, а облаштування пиловловлювання вимагають заміни на досконаліші.

Враховуючи технологічну недосконалість засобів пиловловлювання, невисоку ефективність їх роботи при подрібненні сировини, внаслідок чого концентрації пилу і шкідливих газів на робочих місцях у більшості випадків перевищують допустимі величини, що призводить до розвитку пилового бронхіту і силікозу у робітників, метою наукової роботи є зменшення змісту шкідливих домішок в атмосфері робочої зони при подрібненні сировини до нормативних величин за регламентований проміжок часу шляхом пригнічення пилових викидів.

Постановка завдання. Метою роботи є створення нормальних санітарно-гігієнічних умов праці на робочих місцях з неорганізованими джерелами пилоутворення.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачається вирішити наступні завдання: вивчити сучасний стан забруднення атмосфери в тупикових виробленнях і обґрунтувати вибір способу і засобів пиловловлювання при транспортуванні сировини, розглянути принципово нові методи пиловловлювання, розробити інноваційні пиловловлювачі.

Викладення матеріалу та результати. Дослідження ефективності пиловловлювання при транспортуванні сировини в шахтах. Основними джерелами пилоутворення є конвейерні лінії, по яких транспортується сировина й готова продукція, місця їх пересипання, навантаження й розвантаження, дробильні установки.

Конвейерні лінії для транспортування сипкої сировини з'єднують видобувні кар'єри з цементними заводами. Основними чинниками, які визначають запиленість повітря в робочих зонах дільниці є швидкість вітру й віддаленість транспортованої сировини від кар'єру. Мінімальне пиловиділення при цьому становить 7-10 г/т, а максимальне - 50-52 г/т.

У бункерному ангарі при розвантажуванні сировини з автосамоскидів запиленість повітря перевищує ГДК в 50 разів і більше, при надходженні сипкої сировини до бункера із стрічкових конвейерів концентрації пилу досягають значень 270-450 мг/м³ і при сукупному розвантаженні сировини - 1500 мг/м³ і більше, що значно перевищує ГДК [4]. Для оцінки ефективності пилоловлювання проводились дослідження концентрацій дрібнодисперсного пилу на всіх робочих місцях цеху в точках, де проводились попередні вимірювання запиленості повітря до установаження вихрових пилоловлювачів.

У теперішній час фільтр «Циклон» використовується для уловлювання крупно- та середньодисперсного пилу, при цьому його ефективність складає не більш 80 %. Для підвищення ефективності очищення повітря разом з фільтром «Циклон», звичайно, використовують рукавні або тканеві фільтри, які здатні уловлювати дрібнодисперсний пил.

Для зниження витрат обладнання та економії електроенергії запропоновано обладнати фільтр «Циклон» ультразвуковими панелями для підвищення ефективності очищення повітря приблизно, до 95%. Виріб призначено для очищення повітря від пилу та може застосовуватись у будь-якій галузі народного господарства.

Як відомо, фільтр «Циклон» достатньо ефективний в уловлюванні крупнодиспертного пилу, але малоефективний у уловлюванні дрібнодисперсного пилу. Для збільшення ефективності осадження дрібнодисперсного пилу в «Циклоні» необхідно збільшити масу частинок пилу, тобто скоагулювати частини. Інтенсифікація процесу коагуляції пилу та збільшення ефективності її уловлювання досягається тим, що на частинки пилу діє ультразвукове випромінення.

Ультразвукова коагуляція являє собою процес зближення і укрупнення, зважених в газі або рідині дрібних твердих часток, рідких крапельок і газових бульбашок під дією акустичних коливань звукових або ультразвукових частот.

Аналіз факторів, що впливають на ефективність процесу коагуляції.

Швидкість коагуляції, тобто ефективність процесу очищення промислових газів від дисперсних домішок з допомогою накладення ультразвукових коливань високої інтенсивності визначаються: інтенсивністю коливань, часом експозиції, частотою, вихідною концентрацією.

Згідно дослідженням В.Н. Хмельова [5] рахункова концентрація експоненціально залежить від часу і деякого параметру, званого коефіцієнтом коагуляції.

$$n - n_0 \cdot e^{-0,08pt + 0,0002(pt)^2}$$

де n - концентрація часток аерозолу через час t після початку озвучування; n_0 - початкова концентрація; p - звуковий тиск.

Величиною, що визначає ефективність коагуляції є «звукова експозиція» pt . При однакових значеннях pt ефективність процесу і середнє радіусу скоагульованого пилу виявляються однаковими. Зі збільшенням pt вище деякого значення швидкість зменшення лічильної концентрації частинок падає. Згідно [5] частота звукових коливань обернено пропорційна розміру коагульованих часток.

Графік впливу частоти звукової хвилі на частку частинок різного радіусу, що піддаються коливанням разом з газом, представлений на рис. 1.

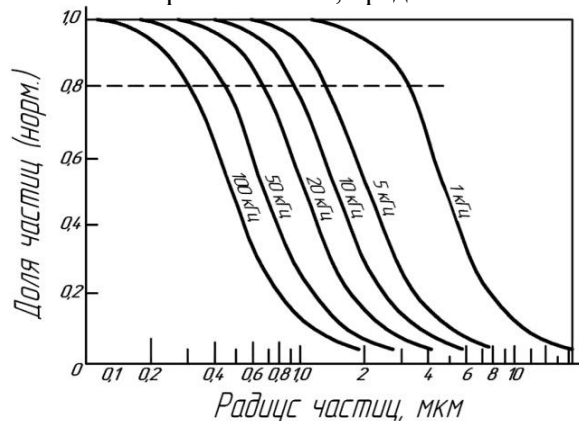
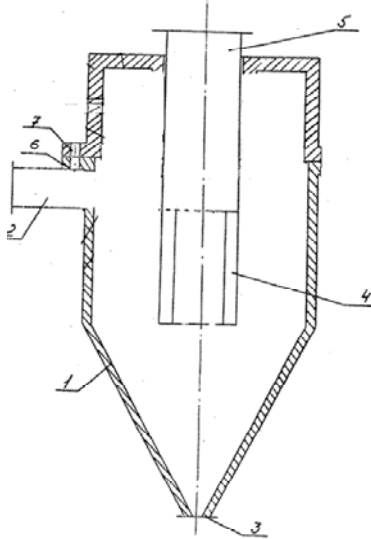


Рис. 1. Вплив частоти звукової хвилі на частку частинок різного радіусу, що піддаються коливанням разом з газом

При частці частинок більше 0,8 коагуляція практично не відбувається.

Отже, із залежностей, поданих на рис. 1, можна зробити висновок про те, що більш висока частота випромінювання дозволяє коагулювати частинки меншого діаметру, а для осадження крупних частинок найкраще застосовувати низькі частоти.

Розглянутий фільтр працює наступним чином, забруднене повітря поступає через ввідний патрубок 2 в корпус фільтра 1 за допомогою всмоктуючого вентилятора, під дією центробіжних сили та ультразвукових панелей 4 частинки пилу прижимаються до внутрішньої стінки корпуса та осаджуються у пилозбірнику.



При цьому виникає проблема впливу ультразвукового випромінювання на людину.

Для зниження впливу ультразвукового випромінювання на організм людини необхідно корпус фільтра обладнати звукоізолюючим матеріалом.

Висновки. У науково-дослідній роботі проведено дослідження ефективності пилогазоподавління шляхом нейтралізації пилу за допомогою ультразвуку.

Усе це дозволяє констатувати, що за допомогою розробленого пиловловлювача при транспортуванні, дробленні й скиданні сировини створені нормальні санітарно-гігієнічні умови праці за пиловим чинником, які повністю виключають виникнення у робітників пневмоконіозу.

Список літератури

1. Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело / [Н.О. Каледина, Б.Ф. Кирич, М.А. Сребный и др.]; под ред. К.З. Ушакова - М.: МГУ, 2002. - 487 с.
2. Бизов В.Ф. Охрана праці в гірництві / В.Ф. Бизов, О.С. Лапшин - Кривий Ріг: Мінерал, 2001.-251 с.
3. Врейкат Абдель Кхалех Ибрагим. Исследование запыленности воздуха на участке транспортирования сырья Аль-Фукайского цементного завода / Врейкат Абдель Кхалех Ибрагим ДГМИ // Сб. науч. тр. - Алчевск, 1998. - Вып. 7. - С. 27-30.
4. Батлук В. А. Акустичні пиловловлювачі. - Львів, 2000. - 208 с
5. Ультразвуковая коагуляция аэрозолей: монография / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, К.В. Шалунова, С.Н. Цыганок, Р.В. Барсуков, А.Н. Сливин; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. - Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. - 241 с.
6. Алексеев С.В., Усенко В.Р. Гигиена труда.-М.: Медицина, 1988.-576с.
7. Афанасьев И.И., Данченко Ф.И., Пирогов Ю.И. Обеспыливание на дробильных фабриках: Справочник.- М.: Недр, 1989.-197с.
8. Улучшение условий труда на горнообогатительных комбинатах/ С.А. Стежко, А.К. Елисейев, А.П. Янов и др.-М.: Недр, 1990.-170с.
9. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов/ [Алиев Г.М.-А.: Металлургия, 1986, 544с.
10. Клименко А.П., Королев В.И., Швецов В.И. Непрерывный контроль концентрации пыли. Киев: Техника, 1980. 181с.
11. Коузов П.А., Скрыбина Л.Я. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. М.: Химия, 1983. 143с.
12. Шиман А.М., Тромза Б.М., Бромберг А.Д. и др.- Автоматизация и контрольно-измерительные приборы, 1978, № 8, с. 17.
13. Бобровников Н.А. Охрана воздушной среды от пыли. М.: Стройиздат, 1971. 96 с.
14. Безопасность труда в промышленности, 1979, № 9, с. 12-14
15. Страус Г.М.- Промышленная и санитарная очистка газов, 1976 №7 с.47.
16. Сокол Г.И. Особенности акустических процессов в инфразвуковом диапазоне частот. Днепропетровск: Проминь, 2000. - 143 с.
17. Хмелев, В.Н. Ультразвуковая коагуляция аэрозолей: монография / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, К.В. Шалунова, С.Н. Цыганок, Р.В. Барсуков, А.Н. Сливин; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. - Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. - 241 с

Рукопис подано до редакції 17.03.15

Л. И. ЕВСТРАТЕНКО, аспирантка, Криворожский национальный университет

ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРИСТОЙ СРЕДЫ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ЗОН ОБРУШЕНИЙ КРИВБАССА НА РЕЖИМЫ ФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУХА

Изучено влияние гранулометрического состава пористой среды в обрушенных зонах на величину их аэродинамического сопротивления. Показано, что режим движения воздуха в пористой среде зависит как от крупности одномерных частиц породы, так и объема мелких фракций, содержащихся в ней. Получены аэродинамические характеристики пористой среды в зависимости от изменения крупности одномерных частиц породы и объема мелких фракций, содержащихся в ней.

В результате выполненных исследований установлено влияние гранулометрического состава пористой среды аэроактивных зон обрушений Кривбасса на режимы фильтрации воздуха. Установлено, что режим движения воздуха в пористой среде зависит как от крупности одномерных частиц породы, так и объема мелких фракций, содержащихся в ней. Получены аэродинамические характеристики пористой среды в зависимости от изменения крупности одномерных частиц породы и объема мелких фракций, содержащихся в ней, позволяющие рассчитать фильтрационные потоки воздуха в обрушенных зонах при различных условиях проветривания горных выработок, а также определить параметры обрушенных зон (проницаемость, пористость и др.).

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. На эффективность функционирования вентиляционных систем при добыче руды с глубоких рудников Кривбасса значительное влияние оказывают аэродинамически активные зоны обрушений. Движение газа в пористой среде обрушенных зон связано с возникновением сильных возмущений, обусловленных чрезвычайно сложной конфигурацией пор. Скорости движения газа в пористой среде незначительны, по сравнению с движением в каналах. При движении газа в пористой среде наличие пор различного диаметра обуславливает переход от одного режима фильтрации в другой.

Анализ исследований и публикаций. Определение режима фильтрации газа в пористой среде обрушенных зон имеет большое теоретическое и практическое значение, так как без знания закона фильтрации в пористой среде обрушенных зон, особенно вблизи горных выработок, нет возможности рассчитать фильтрационные потоки воздуха, их изменения во времени, при различных условиях проветривания горных выработок, а также определить параметры обрушенных зон (проницаемость, пористость и др.).

Постановка задачи. Целью настоящей публикации является проведение исследований по установлению влияния гранулометрического состава пористой среды зон обрушений на режимы фильтрации воздуха.

Изложение материала и результаты. При исследовании режимов движения воздуха в каналах в качестве критерия, определяющего характер течения, как правило, используется число Рейнольдса Re , определяемое по формуле [1]

$$Re = \rho v d / \mu, \quad (1)$$

где d - эквивалентный диаметр канала, м; ρ - плотность воздуха, кг/м³; μ - динамическая вязкость воздуха, Н·с/м²; v - скорость движения воздуха, м/с;

При движении флюидов в пористой среде, как число Рейнольдса так и коэффициент сопротивления, зависят от характерного линейного размера площади фильтрации или порового диаметра, которые не могут быть строго определены, потому что их определение осуществляется на основе ряда допущений и предположений теории гидравлического радиуса [2]. Поэтому при определении режима фильтрации критическое число Рейнольдса не имеет точных значений. В этом случае целесообразней использовать в качестве критерия, определяющего режим фильтрации, показатель режима движения воздуха n , а там, где это возможно, оценивать характер движения и числом Рейнольдса.

Режим движения воздуха через любой канал зависит от скорости, кинематической вязкости и величины площади поперечного сечения канала. Следовательно, режим движения воздуха через пористую среду зоны обрушения определяется также, гранулометрическим составом и физико-механическими свойствами материала. Как показали многие исследователи [1-4], выражение для определения среднего диаметра пор d_{cp} идеального грунта, эквивалентного исследуемой породе, имеет вид

$$d_{cp} = 4\sqrt{2k_{cp}/m}, \quad (2)$$

где m - коэффициент пористости; $k_{пр}$ - коэффициент проницаемости пористой среды

Найденный по этой формуле размер поровых каналов является осредненной или даже в какой-то степени условной величиной, так как естественная порода состоит из пор различных размеров, при этом вряд ли поры такой породы имеют цилиндрическую форму.

Рассчитанный таким образом средний диаметр поры будет несколько меньше действительной величины в связи с тем, что при выводе формуле (2) длина пор естественной пористой среды принималась равной длине образца. В действительности же длина отдельного канала будет значительно больше, чем длина образца, поскольку поровый канал имеет, очевидно, существенную извилистость.

Многочисленные исследования образцов естественной пористой среды, отобранных из продуктивных горизонтов различных месторождений, показали, что средний диаметр поровых каналов, рассчитанный по приведенным выше формулам, колеблется от 1 до 25 мк [5].

Если принять $Q = \text{const}$, то гранулометрический состав пористой среды будет оказывать влияние на режим движения воздуха прямо пропорционально, т.е. чем меньше величина частиц породы, тем меньше величина поровых каналов, а, следовательно, и сама пористость, и тем меньше будет величина показателя режима движения воздуха через пористую среду.

Уменьшение величины поровых каналов может происходить не только за счет уменьшения крупности частиц пористой среды, но также и за счет внесения в состав из крупных частиц определенного количества мелких.

Поэтому режим движения воздуха в пределах скоростей, наблюдающихся в рудниках, должен зависеть как от крупности одномерных частиц породы, так и от объема мелких фракций, содержащихся в ней.

В связи с указанным первоочередной задачей исследований является определение зависимости между режимом движения воздуха и гранулометрическим составом пористой среды заданной крупности путем продувки его на установке.

Экспериментальные исследования. Проведенные исследования (табл. 1) по определению влияния гранулометрического состава пористой среды на режим движения воздуха в ней показали, что с уменьшением крупности горных пород снижается ее пористость и уменьшается показатель режима движения воздуха n .

Таблица 1

Определение параметров режимов движения воздуха

| Класс крупности, мм | Замеренные величины параметров | | | Величины, определенные на основании замеров | | | | | |
|---------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------|---|------|----------------------------------|------|-------|---------------|
| | v , м/с | ΔP , Н/м ² | m | Q , м ³ /с | n | $k_{пр}10^{-8}$, м ² | Re | f | d_{cp} , мм |
| -45 ÷ +30 | 0,015 | 1,000 | 0,543 | 0,00106 | 1,97 | 22,65 | 0,48 | 0,969 | 14,7 |
| | 0,025 | 2,77 | | 0,00177 | 1,98 | 13,53 | 0,62 | 0,752 | |
| | 0,035 | 5,38 | | 0,00247 | 1,99 | 9,70 | 0,74 | 0,635 | |
| | 0,045 | 8,86 | | 0,00318 | 2,0 | 7,59 | 0,84 | 0,558 | |
| | 0,055 | 13,28 | | 0,00389 | 2,0 | 6,18 | 0,92 | 0,505 | |
| | 0,065 | 18,50 | | 0,00459 | | 5,30 | 1,01 | 0,461 | |
| -30 ÷ +20 | 0,015 | 1,22 | | 0,00106 | 1,80 | 18,88 | 0,44 | 1,061 | |
| | 0,025 | 3,10 | | 0,00177 | 1,96 | 11,83 | 0,58 | 0,804 | |
| | 0,035 | 5,94 | | 0,00247 | 1,97 | 8,61 | 0,69 | 0,673 | |
| | 0,045 | 9,75 | | 0,00318 | 1,97 | 6,7 | 0,79 | 0,594 | |
| | 0,055 | 14,53 | | 0,00389 | 1,99 | 5,56 | 0,87 | 0,534 | |
| | 0,065 | 20,20 | | 0,00459 | | 4,86 | 0,97 | 0,483 | |
| -20 ÷ +10 | 0,015 | 2,24 | | 0,00106 | 1,5 | 11,21 | 0,34 | 1,377 | |
| | 0,025 | 4,85 | | 0,00177 | 1,65 | 7,48 | 0,46 | 1,011 | |
| | 0,035 | 8,41 | | 0,00247 | 1,70 | 5,91 | 0,57 | 0,813 | |
| | 0,045 | 12,93 | | 0,00318 | 1,71 | 4,97 | 0,68 | 0,690 | |
| | 0,055 | 18,24 | | 0,00389 | 1,78 | 2,35 | 0,77 | 0,603 | |
| | 0,065 | 24,50 | | 0,00459 | | 4,06 | 0,88 | 0,532 | |

| | | | | | | | | |
|---------|-------|-------|-------|---------|------|-------|------|-------|
| -10÷+8 | 0,015 | 4,28 | 0,425 | 0,00106 | 1,30 | 5,38 | 0,24 | 1,987 |
| | 0,025 | 8,34 | | 0,00177 | 1,31 | 4,51 | 0,36 | 1,302 |
| | 0,035 | 18,04 | | 0,00247 | 1,33 | 3,72 | 0,56 | 0,797 |
| | 0,045 | 23,66 | | 0,00318 | 1,34 | 3,46 | 0,69 | 0,676 |
| | 0,055 | 29,70 | | 0,00389 | 1,37 | 3,31 | 0,8 | 0,585 |
| | 0,065 | 5,71 | | 0,00459 | | 3,335 | 0,21 | 2,236 |
| -8÷+6 | 0,025 | 10,35 | | 0,00177 | 1,25 | 3,6 | 0,32 | 1,459 |
| | 0,035 | 15,71 | | 0,00247 | 1,30 | 3,24 | 0,43 | 1,098 |
| | 0,045 | 21,78 | | 0,00318 | 1,31 | 3,01 | 0,53 | 0,886 |
| | 0,055 | 28,38 | | 0,00389 | 1,32 | 2,85 | 0,63 | 0,744 |
| | 0,065 | 35,30 | | 0,00459 | | 2,78 | 0,73 | 0,638 |
| | 0,015 | 6,81 | | 0,00106 | 1,21 | 3,41 | 0,19 | 2,498 |
| -6÷+3 | 0,025 | 12,67 | | 0,00177 | 1,22 | 2,98 | 0,29 | 1,601 |
| | 0,035 | 19,08 | | 0,00247 | 1,25 | 2,84 | 0,4 | 1,172 |
| | 0,045 | 26,06 | | 0,00318 | 1,32 | 2,55 | 0,48 | 0,962 |
| | 0,055 | 34,05 | | 0,00389 | 1,36 | 2,39 | 0,57 | 0,814 |
| | 0,065 | 42,60 | | 0,00459 | | 2,30 | 0,67 | 0,701 |
| | 0,015 | 11,62 | | 0,00106 | 1,00 | 2,09 | 0,15 | 3,192 |
| -3÷+1 | 0,025 | 19,41 | | 0,00177 | 1,10 | 1,92 | 0,23 | 1,995 |
| | 0,035 | 28,06 | | 0,00247 | 1,13 | 1,79 | 0,32 | 1,476 |
| | 0,045 | 37,24 | | 0,00318 | 1,15 | 1,74 | 0,4 | 1,164 |
| | 0,055 | 47,00 | | 0,00389 | 1,22 | 1,7 | 0,48 | 0,966 |
| | 0,065 | 57,50 | | 0,00459 | | 1,71 | 0,57 | 0,814 |
| | 0,015 | 16,52 | | 0,00106 | 1,00 | 1,48 | 0,12 | 3,785 |
| -1÷+0,5 | 0,015 | 16,52 | | 0,00177 | 1,00 | 1,37 | 0,2 | 2,361 |
| | 0,025 | 27,60 | | 0,00247 | 1,14 | 1,29 | 0,27 | 1,737 |
| | 0,035 | 38,55 | | 0,00318 | 1,15 | 1,25 | 0,34 | 1,374 |
| | 0,045 | 51,30 | | 0,00389 | 1,17 | 1,25 | 0,41 | 1,125 |
| | 0,055 | 64,75 | | 0,00459 | | 1,24 | 0,49 | 0,952 |
| | 0,065 | 78,60 | | | | | | |

Замеры параметров приведенных в табл. 1 производились в следующих условиях: площадь фильтрации – $F=0,07065 \text{ м}^2$; толщина слоя – $L=0,8 \text{ м}$; температура воздуха – $t=200 \text{ °С}$; давление воздуха – $p=101,3 \text{ кПа}$; плотность воздуха – $\rho=1,22 \text{ кг/м}^3$; вязкость воздуха – $\mu=18,1 \cdot 10^{-6} \text{ Н·с/м}^2$. Пористость породы определялась в лабораторных условиях методом насыщения [6].

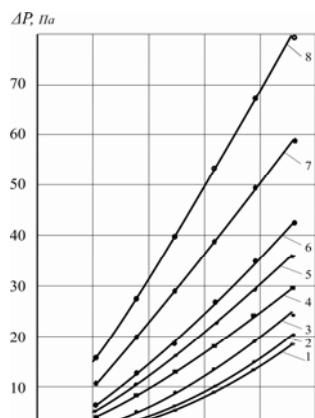


Рис. 1. Аэродинамические характеристики пористых сред с различным гранулометрическим составом: 1,2,3,4,5,6,7,8 - аэродинамические характеристики соответственно для классов крупности пород -45÷+30, -30÷+20, -20÷+10, -10÷+8, -8÷+6, -6÷+3, -3÷+1 и -1÷+0,5

На основании замеров получены аэродинамические характеристики пористых сред с различным гранулометрическим составом (рис. 1), представляющие собой графики зависимости ΔP от Q .

На основании зависимостей получены регрессионные уравнения для различных классов крупности горных пород

$$\begin{aligned}
 -45 \div +30 \quad \Delta P &= 849494 Q^{1,99}; & -30 \div +20 \quad \Delta P &= 689350 Q^{1,93} \\
 -20 \div +10 \quad \Delta P &= 24825650 Q^{1,7} & -10 \div +8 \quad \Delta P &= 39351 Q^{1,34} \\
 -8 \div +6 \quad \Delta P &= 38439 Q^{1,3} & -6 \div +3 \quad \Delta P &= 39750 Q^{1,27} \\
 -3 \div +1 \quad \Delta P &= 28309 Q^{1,15} & -1 \div +0,5 \quad \Delta P &= 34395 Q^{1,13}
 \end{aligned} \quad (3)$$

Соотношения (3) можно рассматривать как зависимости, аппроксимирующие экспериментальные данные, и соответствующим образом трактовать входящие в них параметры как регрессионные коэффициенты. Видно, что показатель степени при Q уменьшается с уменьшением крупности горных пород, следовательно режим фильтрации изменяется с изменением фракционного состава горных пород от турбулентного к ламинарному.

Для нахождения границы турбулентного и комбинированного режимов, в первую очередь исследовались крупные фракции породы.

Опыты, проведенные с фракциями $-45\div+30$, $-30\div+20$ и $-20\div+10$ мм, показали, что такая крупность частиц пород в пределах расхода воздуха от $0,00106$ до $0,00459$ м³/с определяет турбулентный режим.

На рис. 2 представлены графики зависимости $\lg h$ от $\lg Q$, построенные для различных фракций.

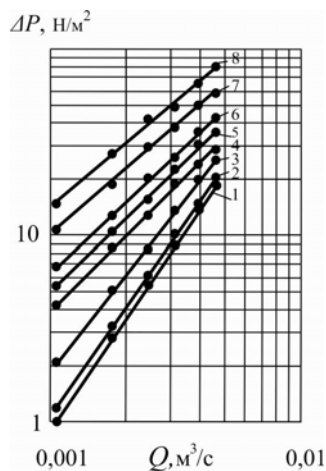


Рис. 2. Графики зависимости ΔP от Q для пористых сред с различным фракционным составом: 1 – с размером фракций $-45\div+30$; 2 – с размером фракций $-30\div+20$; 3 – с размером фракций $-20\div+10$; 4 – с размером фракций $-10\div+8$; 5 – с размером фракций $-8\div+6$; 6 – с размером фракций $-6\div+3$; 7 – с размером фракций $-3\div+1$; 8 – с размером фракций $-1\div+0,5$

Из графиков видно, что тангенс угла наклона прямых к оси абсцисс для фракций: $-45\div+30$ и $-30\div+20$ равен 2,0. Что указывает на турбулентный режим для данного диапазона скоростей фильтрации воздуха. Для более мелких фракций режим движения в том же диапазоне расходов воздуха соответствует комбинированному. Так, для класса $-20\div+10$ мм показатель $n = 1,67$; $-10\div+8$ мм $n = 1,33$; $-8\div+6$ $n = 1,27$; $-6\div+3$ $n = 1,27$; $-3\div+1$ $n = 1,25$ и для класса $-1\div+0,5$ $n = 1,09$.

Таким образом, в пределах напоров в опытах, границей турбулентного и комбинированного режимов на основании определенного значения n является крупность частиц, лежащая между фракциями $-30\div+20$ и $-20\div+10$ мм. Классы мельче $-1\div+0,5$ мм испытанию не подвергались, поскольку для них характерен ламинарный режим. На основании опытных данных определялось число Re и коэффициент сопротивления f . Расчет остальных параметров, входящих в табл. 1, осуществлялся по известным выражениям [1, 5].

Результаты расчета (табл. 1) свидетельствуют о том, что величина коэффициента проницаемости k_{np} для крупных классов ($-45\div+30$ до $-3\div+1$ мм) непостоянна и меняется в зависимости от изменения Q и h , в особенности для турбулентного и близкого к нему режима движения воздуха (при $n=2$) и почти не меняется для класса $-1\div+0,5$ мм. Это объясняется тем, что коэффициент k_{np} является характеристикой пористой среды при ламинарном течении и применение его в уравнениях второго порядка не правомерно.

При стабильном показателе режима движения ($n=2$), число Re имеет двенадцать различных значений: от 0,44 до 1,01.

Для каждой области комбинированного режима, характеризующегося показателем n , число Re изменяется в широких пределах. Более того, одинаковые значения числа Re встречаются в двух соседних, отличных друг от друга областях комбинированного режима.

Например, для области с $n=1,67$ и области с $n=1,33$ имеется значение Re , равное в первом случае 4,06, во втором – чуть большим значением – 4,08.

Такой разброс чисел Re можно объяснить тем, что с одной стороны, с увеличением скорости движения воздуха в порах, увеличивается и значение числа Re , а с другой, с уменьшением класса крупности частиц породы, т.е. с уменьшением характерных размеров поровых каналов, уменьшается значение числа Re .

С уменьшением крупности частиц породы снижается значение числа Re , а возрастание скорости в пределах одного и того же класса крупности частиц породы вызывает увеличение числа Re . В связи с указанным возникают трудности при использовании числа Re в качестве критерия режима движения флюида в условиях пористой среды, в силу неопределенности его значений зависящих как от скорости фильтрации воздуха, так и от фракционного состава пород.

Вероятно, для оценки режима движения флюида при фильтрации с помощью числа Re , необходимо более точно определять характерную скорость потока и его характерный размер.

Таким образом, использование показателя n в качестве критерия режима фильтрации позволяет более достоверно определять основные фильтрационные характеристики в зонах обрушения.

Для определения влияния на фильтрационные характеристики пористой среды содержания мелких фракций породы исследовались двухкомпонентные смеси из пород различного гранулометрического состава: $-45\div+30$ и $-1\div+0.5$ мм (табл. 2).

Таблица 2

Определение параметров режимов движения воздуха в пористой среде из двухкомпонентных составов горных пород

| Содержание фракции $-1\div+0,5$ мм во фракционном составе $-45\div+30$ мм, % | Замеренные величины параметров | | Величины, определенные на основании замеров | | | | |
|--|--------------------------------|--------------------------|---|------|--------------------------|-------|--------|
| | $v, \text{м/с}$ | $\Delta P, \text{Н/м}^2$ | $Q, \text{м}^3/\text{с}$ | n | $k_{np} 108, \text{м}^2$ | Re | f |
| 10 | 0,015 | 22 | 0,00106 | 1,50 | 1,138 | 0,11 | 4,321 |
| | 0,025 | 48 | 0,00177 | 1,65 | 0,760 | 0,15 | 3,174 |
| | 0,035 | 83 | 0,00247 | 1,70 | 0,60 | 0,18 | 2,551 |
| | 0,045 | 127 | 0,00318 | 1,71 | 0,504 | 0,22 | 1,750 |
| | 0,055 | 180 | 0,00389 | 1,78 | 0,441 | 0,25 | 1,894 |
| | 0,065 | 242 | 0,00459 | | 0,406 | 0,28 | 1,669 |
| 20 | 0,015 | 72 | 0,00106 | 1,30 | 0,318 | 0,06 | 8,174 |
| | 0,025 | 140,6 | 0,00177 | 1,31 | 0,267 | 0,09 | 5,357 |
| | 0,035 | 218 | 0,00247 | 1,33 | 0,241 | 0,12 | 4,026 |
| | 0,045 | 304 | 0,00318 | 1,34 | 0,220 | 0,14 | 3,279 |
| | 0,055 | 400 | 0,00389 | 1,37 | 0,205 | 0,17 | 2,776 |
| | 0,065 | 502 | 0,00459 | | 1,950 | 0,19 | 2,407 |
| 30 | 0,015 | 167,5 | 0,00106 | 1,14 | 0,141 | 0,04 | 12,276 |
| | 0,025 | 301 | 0,00177 | 1,18 | 0,124 | 0,06 | 7,866 |
| | 0,035 | 446 | 0,00247 | 1,19 | 0,116 | 0,08 | 5,812 |
| | 0,045 | 601 | 0,00318 | 1,21 | 0,110 | 0,10 | 4,628 |
| | 0,055 | 769 | 0,00389 | 1,25 | 0,105 | 0,12 | 3,876 |
| | 0,065 | 946 | 0,00459 | | 0,104 | 0,14 | 3,302 |
| 40 | 0,015 | 324 | 0,00106 | 1,00 | 0,074 | 0,03 | 16,92 |
| | 0,025 | 542 | 0,00177 | 1,10 | 0,069 | 0,04 | 10,56 |
| | 0,035 | 784 | 0,00247 | 1,13 | 0,065 | 0,06 | 7,753 |
| | 0,045 | 1040 | 0,00318 | 1,15 | 0,063 | 0,08 | 6,124 |
| | 0,055 | 1313 | 0,00389 | 1,17 | 0,062 | 0,09 | 5,070 |
| | 0,065 | 1594 | 0,00459 | | 0,062 | 0,11 | 4,287 |
| 50 | 0,015 | 547 | 0,00106 | 1,00 | 0,043 | 0,021 | 22,32 |
| | 0,025 | 915 | 0,00177 | 1,00 | 0,041 | 0,034 | 13,59 |
| | 0,035 | 1277 | 0,00247 | 1,00 | 0,040 | 0,048 | 9,812 |
| | 0,045 | 1641 | 0,00318 | 1,05 | 0,040 | 0,061 | 7,630 |
| | 0,055 | 2028 | 0,00389 | 1,07 | 0,040 | 0,075 | 6,249 |
| | 0,065 | 2420 | 0,00459 | | 0,040 | 0,088 | 5,284 |

На рис. 3 приведены графики полученные на основании экспериментов для двухкомпонентных смесей фракций ($-45\div+30$ и $-1\div+0.5$ мм) в различных соотношениях (см.табл. 2).

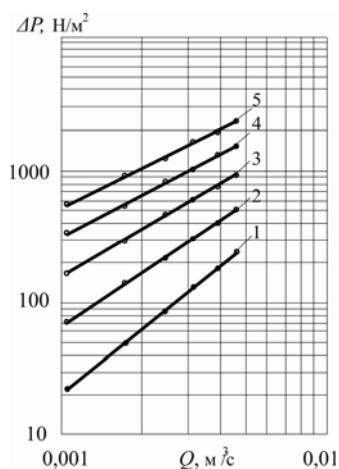


Рис. 3. Графики зависимости ΔP от Q в логарифмической координатной сетке для двухкомпонентных смесей $-45\div+30$ и $-1\div+0.5$ мм в различных соотношениях: 1 – 90 и 10%; 2 – 80 и 20%; 3 – 70 и 30%; 4 – 60 и 40%; 5 – 50 и 50%

Из графиков (рис. 3) видно, что показатель режима движения воздуха через смесь, определяемый как тангенс угла наклона прямой, находится в прямой зависимости от объемного количества мелкой фракции в смеси.

При смешивании различных фракций основным условием является равномерное распределение мелких частиц породы среди крупных.

Чем равномерней распределение, тем достоверней результаты по определению режима движения через двухкомпонентную смесь.

На основании результатов экспериментов получены графики изменения показателя режима движения воздуха через смеси из различного фракционного состава пород в зависимости от процентного содержания определяющего класса.

На рис. 4 приведен график зависимости показателя режима фильтрации через двухкомпонентные смеси от объема определяющего фракционного класса $-1\div+0,5$ мм.

График показывает характер изменения режима фильтрации воздуха через двухкомпонентную смесь из фракций: $-45\div+30$ мм и определяющего $-1\div+0,5$ мм.

Аппроксимация экспериментальных данных производилась уравнением вида $n=ac^b$

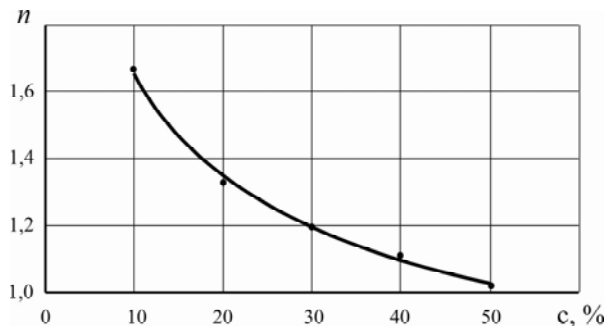


Рис. 4. График зависимости показателя режима фильтрации воздуха от объема определяющего класса $-1\div+0,5$ мм

В результате математической обработки опытных данных была получена зависимость величины показателя режима фильтрации n от содержания в пористой среде мелких фракций породы с достоверностью $R_2 = 0,9974$

$$n = 3,2843c^{-0,2971}$$

Выводы и направления дальнейших исследований. В результате выполненных исследований установлено влияние гранулометрического состава пористой среды аэроактивных зон обрушений Кривбасса на режимы фильтрации воздуха. Установлено, что режим движения воздуха в пористой среде зависит как от крупности одномерных частиц породы, так и от объема мелких фракций, содержащихся в ней.

Получены аэродинамические характеристики пористой среды в зависимости от изменения крупности одномерных частиц породы и от объема мелких фракций, содержащихся в ней, позволяющие рассчитать фильтрационные потоки воздуха в обрушенных зонах при различных условиях проветривания горных выработок, а также определить параметры обрушенных зон (проницаемость, пористость и др.).

Список литературы

1. Ушаков К. З. Газовая динамика шахт / К.З. Ушаков. – М.: Изд. МГГУ, 2004. – 481 с.
2. Шевелев Г.А. Фильтрация газа в шахтах / Г.А. Шевелев, В.Т. Перепелица. – К.: Наукова думка, 2010. – 291 с.
3. Пятибрат В.П. Подземная гидромеханика / В.П. Пятибрат – Ухта: УГТУ, 2002. – 100 с.
4. Квеско Б.Б. Подземная гидромеханика / Б.Б. Квеско. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 181 с.
5. Басниев К.С. Подземная гидромеханика / К.С. Басниев, Н.М. Дмитриев, Р.Д. Каневская и др. – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. – 496 с.
6. Ковалева Л.А. Физика нефтегазового пласта / Л.А. Ковалева. – Уфа: РИО БашГУ, 2008. – 280 с.
7. Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика / И.А. Чарный. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006. – 436 с.
8. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика / В.Г. Левич. – М.: Гос. из-во физ.-мат. лит., 1959. – 699 с.
9. Lewis G.N. Thermodynamics / G.N. Lewis, M. Randall. – New York: Van Nostrand Company, 1923. – 162 p.
10. Oshmyansky I.B. Substantiation of parameters of filtration flows in mining collapsed areas / I. B. Oshmyansky, L. I. Yevstratenko // – Balkema, CRC Press: Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining – 2014 Taylor & Francis Group, London, ISBN: 978 – 1 – 138 – 02699 – 5, p. 373 – 378.
11. Сологаев В.И. Гидравлика (механика жидкости и газа) / В. И. Сологаев. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2010. – 64с.
12. Форхгеймер Ф. Гидравлика / Ф. Форхгеймер. – М.; Л.: ОНТИ, 1935. – 616 с.
13. Жаворонков Н. М. Гидравлические основы скрубберного процесса и теплопередача в скрубберах / Н. М. Жаворонков – М.: Госиздат «Советская наука», 1944. – 224 с.
14. Englund F. On the Laminar and Turbulent Flows of Ground Water through Homogeneous Sand / F. Englund // – Transactions of the Danish Academy of Technical Sciences – 1953. – № 3. – P. 356 – 361.
15. Щелкачев В.Н. Подземная гидравлика / В. Н. Щелкачев, Б.Б. Лапук – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 736стр.
18. Лейбензон Л.С. Собрание трудов, т. II. Подземная гидрогазодинамика, подземная гидравлика / Л.С. Лейбензон – М.: Изд. АН СССР, 1953. – 456 с.
19. Чарный И. А. Основы подземной гидравлики / И. А. Чарный. – М.-Л.: Гостехиздат, 1956. – 260 с.

Рукопись поступила в редакцию 17.03.15

О.В. ЗАМИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., М.І. ШЕПЕЛЕНКО, студентка
Криворізький національний університет

3D-МОДЕЛЮВАННЯ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ

У науковій праці розглянуті основні принципи 3D-моделювання теплоенергетичних об'єктів. Доповнення візуалізації до традиційних методів обчислень дозволить не тільки максимально сприйняти принцип дії та зовнішню побудову устаткування, але й оптимізувати процес аналізу тепломасообмінних процесів, які протікають в даному устаткуванні. В якості об'єкта візуалізації був обраний парогенератор марки Е-75-42-440 КТ, він оснащений необхідними трубопроводами в його межах і арматурою, а також пристроями для відбору проб котлової і живильної води, насиченої і перегрітої пари. Даний агрегат проектується і виготовляється в блочному виконанні, так як конструкція котла допускає монтаж поставними блоками або їх збірку в монтажні блоки. Для створення 3D-моделі парогенератора використаний програмний продукт КОМПАС-3D компанії АСКОН. На підставі аналізу його можливостей виявлено недоліки та переваги даного програмного забезпечення при проектуванні теплоенергетичних об'єктів. Також розглянута можливість експорту моделі з середовища КОМПАС до середовища інших САД (computer-aided design) систем, що дозволяє створювати рендеринг моделі; виконувати анімацію, як елементів устаткування, так і тепломасообмінних процесів, які протікають в даній моделі устаткування; проводити поглиблений аналіз тепломасообмінних процесів.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. При дослідженні та проектуванні процесів тепломасообміну мають широке розповсюдження загальні засоби обчислень. Зазвичай виконання таких досліджень перетворюється в складну задачу, що потребує значної кількості часу і сил, тим паче якщо виникає потреба дослідити процеси тепломасообміну в реальному промисловому об'єкті теплотехнічного устаткування, яке зазвичай має складну конструкцію та значні габарити. Складні розрахунки та їх закоснілий характер не дають можливості повною мірою звернути увагу на основну мету проектування – сприйняття складних процесів тепломасообміну, які протікають в теплотехнічному устаткуванні та взаємозв'язків між параметрами і характеристиками. Складність загальних засобів обчислень не дає можливості здійснювати поглиблені дослідження, оптимізувати різноманітні параметри і характеристики, створювати або модернізувати реальне теплотехнічне устаткування. Розробка адекватних фізичних моделей, можлива при переході від складних розрахунків до засобів автоматизованих систем проектування.

Аналіз досліджень і публікацій. Проектування і креслення є областю суворой інформації, що вимагає використання точних графічних і нарисної вказівок. Правила креслення і конкретні дисципліни (архітектура, механіка, електрика, технологічний процес, геодезія, структури, будівництво і т.д.) перенеслися з традиційного креслення на дошці в автоматизоване креслення [1].

У сучасному виробництві широке поширення одержали системи автоматизованого проектування (САПР, computer aided design), які дозволяють проектувати технологічні процеси з меншими витратами часу та засобів, зі збільшенням точності спроектованих процесів і програм обробки, що скорочує витрати матеріалів та час обробки, завдяки тому, що режими обробки також розраховуються та оптимізуються за допомогою ЕОМ. Технічне забезпечення САПР засновано на використанні обчислювальних мереж і телекомунікаційних технологій, персональних комп'ютерів та робочих станцій [2].

Автоматизоване проектування дозволяє значно скоротити суб'єктивізм при ухваленні рішень, підвищити точність розрахунків, вибрати якнайкращі варіанти для реалізації на основі строгого математичного аналізу всіх або більшості варіантів проекту з оцінкою технічних, технологічних й економічних характеристик виробництва і експлуатації спроектованого об'єкта [3].

На даний час в теплоенергетиці трьохвимірне моделювання агрегатів зустрічається нечасто, більш широке розповсюдження має математичне моделювання процесів тепломасообміну.

Викладення матеріалу та результати досліджень. В якості об'єкта моделювання вибрано парогенератор Е-75-42-440 КТ. Для створення 3D-моделі використовувався програмний продукт КОМПАС-3D компанії АСКОН. Створена 3D модель відповідає габаритним характеристикам парогенератора Е-75-42-440 КТ, а саме: топкова камера повністю екранована трубами

Ø 60×3 мм з кроком 100 мм на бічних, фронтальній і задній стінах. на бічній стіні топки розташовані 2 пальники. Схема випаровування - триступенева: в барабані розташовані чистий відсік першого ступеня випаровування і два сольових відсіку другого ступеня (по торцях барабана).

Пароперегрівач - з вертикально розташованими змійовиками, двоступеневий, виконаний з труб Ø42×3 мм. Кількість змійовиків - 18. Поперечний крок труб - 75 мм, розташування - коридорне. Економайзер - сталевий, гладкотрубний, змієвиковий, з шаховим розташуванням труб Ø32×3 мм. Поперечний крок труб - 75 мм, поздовжній - 55 мм. Підігрівач повітря - трубчастий, вертикальний, з шаховим розташуванням труб Ø40×1,6 мм. Поперечний крок труб - 60 мм, поздовжній - 42 мм [4].

Зразкові параметри: номінальна паропроодуктивність 75 т/год; робочий тиск в барабані котла 44 кгс/см²; робочий тиск на виході з пароперегрівача 40 кгс/см²; температура перегрітої пари 440 °С; температура вихідних газів 180 °С; температура гарячого повітря 190 °С [5]. Його геометрія - сукупність складних криволінійних поверхонь, отворів, округлень і фасок (рис. 1).

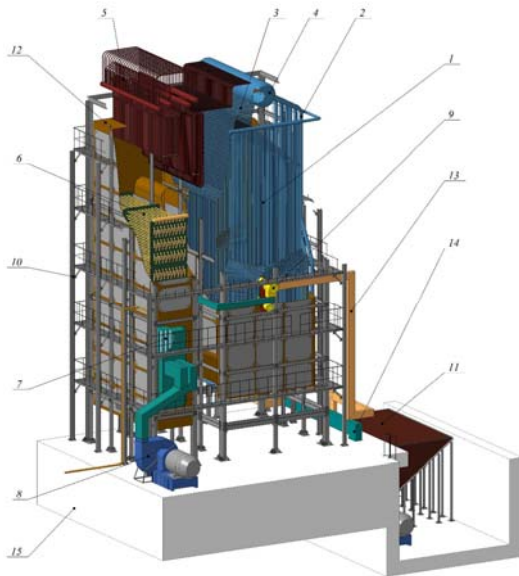


Рис. 1. Розріз 3D моделі парогенератора E-75-42-440 КТ: 1 – фронтальні екранні труби; 2 – опускні екранні труби; 3 – бічні екранні труби; 4 – барабан-сепаратор; 5 – пароперегрівач; 6 – економайзер; 7 – підігрівач повітря; 8 – тяго-дутьова установка; 9 – пальник; 10 – каркас; 11 – бункер суміші вугілля-повітря; 12 – обмуровка парогенератора; 13 – трубопровід суміші вугілля - повітря; 14 – трубопровід повітря; 15 – фундамент

Кожен прийнятий в експлуатацію екземпляр парогенератора має ряд (допущених) відхилень від креслярських розмірів, які запротоковані і занесені в паспорт парогенератора.

Створення комп'ютерної 3D геометричної моделі парогенератора, заснованої на кресленнях і запротокованих відхиленнях, є непростою завданням навіть за наявності сучасної спеціалізованої програми КОМПАС-3D.

Проблема при проектуванні моделі - наближеність математичних апроксимацій в операціях з математичними моделями складних геометричних

об'єктів: дуг кіл, сплайнів; криволінійних поверхонь і «твердих» тіл. Лінії ґрунтуються на точках, поверхні - на опорних лініях, а створення тіла проводиться на основі поверхонь, що створюють замкнутий простір, з відсіканням «зайвого».

Мова йде про такі операції, як створення складної лінії і поверхні, розрізання їх на частини, що лежать в основі таких команд, як «Создать деталь», «Создать сборку», «Операция выдавливания», «Вырезать выдавливанием» і т.п [6].

Одні апроксимації замінюються іншими, похибки накопичуються і приводять до того, що на гладких, але розсічених, поверхнях з'являються начебто незначні уступи.

Такі дефекти заважають подальшим операціям та навіть можуть привести до повної відмови у їх виконанні, до зависання програми або закінчення її роботи.

Значна кількість роботи виконана за допомогою бібліотеки «Трубопроводи 3D».

Трубні системи змодельовано як і автоматичними шляхами, так і вручну, тобто побудова траєкторії трубопроводу по координатних точках, розташування яких можна розрахувати з габаритних розмірів, наданих у паспортних даних парогенератора [7].

Друга, і найбільша, проблема при створенні моделі - створення єдиної порожнистої системи резервуарів і труб, замкнення трубних пучків в колектори, розміщення труб в трубних решітках (рис. 2).

Сама геометрична операція може виконуватися без проблем, але в таких місцях виникають проблеми при створенні сітки кінцевих елементів або, при начебто успішному її створенні, появи кінцевих елементів, вироджених або близьких до виродженим.

Для уникнення цієї проблеми необхідно мінімізувати кількість операцій розсічення, бажано повністю від них відмовитися.

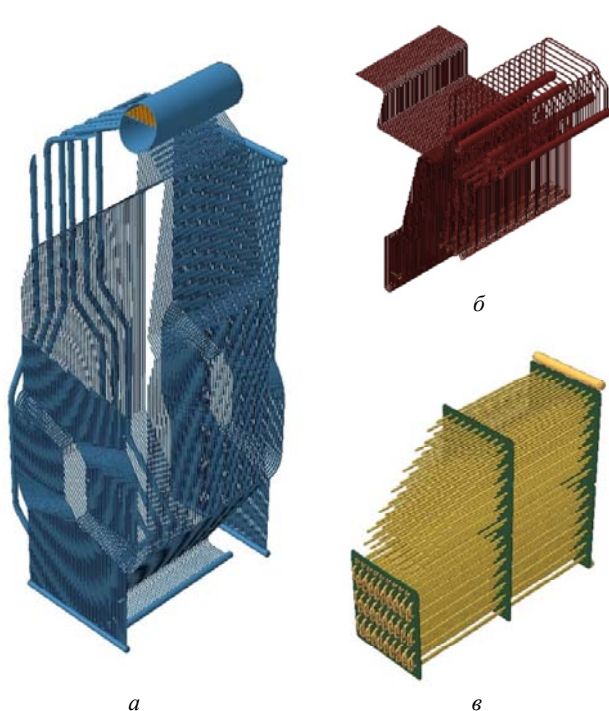


Рис. 2. Елементи трубних систем 3D моделі парогенератора Е-75-42-440 КТ: *а* - екрани топки; *б* - пароперегрівач; *в* - водяний економайзер

Це цілком можливо при блочному принципі створення геометрії. Досить створювати характерні великі блоки (див. рис. 2), на основі яких лише кількома операціями такі блоки з'єднуються в єдину порожнисту трубну систему.

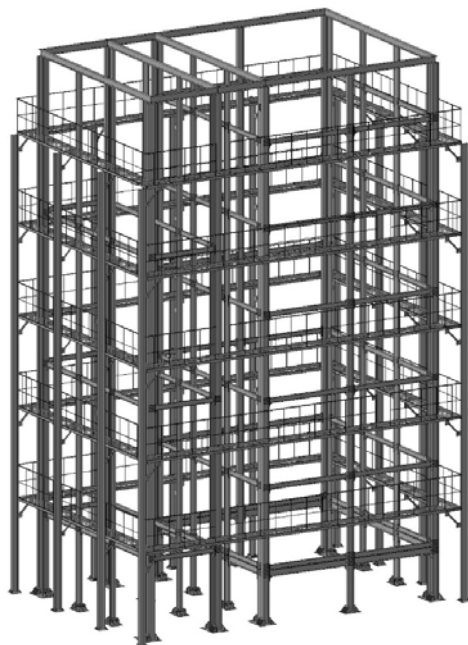
Для побудови 3D моделі каркасу парогенератора, головною метою стало виконання її максимально приближеної до креслярських розмірів, які запротоковані і занесені в паспорт парогенератора.

Це необхідно для надання потрібної міцності моделі та компонування блоків парогенератора, що дозволяє використовувати 3D моделі парогенератора в якості бази для дослідження різноманітних тепломасообмінних процесів та проведення розрахунків матеріалів на міцність.

При створенні 3D моделі каркасу парогенератора значною мірою використовувалась бібліотека «Металлоконструкції 3D» [8].

Ця стандартна бібліотека, яка входить до пакету програми КОМПАС - 3D, дозволяє швидко і якісно змоделювати металоконструкцію, габаритні розміри якої запротоковані і занесені в паспорт парогенератора (рис. 3).

Рис. 3. 3D модель каркасу парогенератора Е-75-42-440 КТМ3D



На рис. 4 зображено 3D геометричну модель парогенератора Е-75-42-440 КТ, створену із застосуванням вироблених рекомендацій і на основі документації на агрегат.

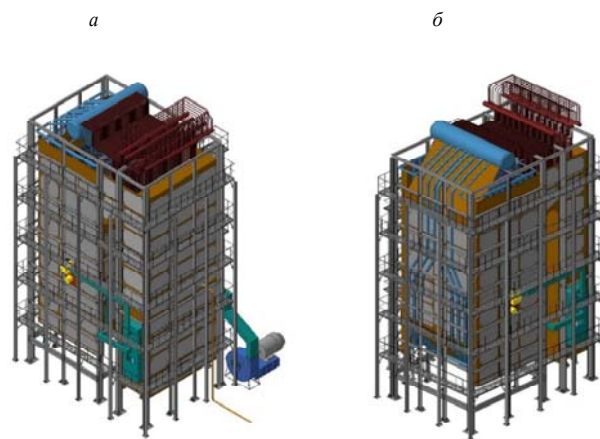


Рис. 4. 3D модель парогенератора Е-75-42-440 КТ: *а* - ізометрична проекція XYZ; *б* - ізометрична проекція ZYX

Після закінчення роботи над 3D геометрією парогенератора і очищення його від «зайвого» може виявитися, що кінцево-елементна сітка відмовляється створюватись для всієї моделі автоматично. Причин може бути безліч.

Необхідно мати на увазі, що зазвичай автоматичне створення 3D кінцево-елементних сіток спочатку базується на розмітці всіх ребер, потім на кожній поверхні, і лише потім, використовуючи поверхневу сітку як допоміжну, заповнюють об'єм кінцевими елементами.

При успішному виконанні операції, проводиться оптимізація сітки: вузли зміщуються з метою отримання більш якісних показників сітки. Параметрами розмітки

Дана 3D модель парогенератора E-75-42-440 КТ, побудована студенткою групи ТЕП-11 ДВНЗ «Криворізький національний університет» М.І. Шепеленко під керівництвом доктора технічних наук, професора О.В. Замицького.

Модель входить до проекту «Энергоблок теплоэлектростанции», який зайняв I місце в «важкій» ваговій категорії машинобудування - понад 1000 деталей, на XII конкурсі «Будущие АСы КОМПьютерного 3D-моделирования», який проходив в місті Санкт-Петербурзі, 2014 р. (Росія).

3D моделі розроблені в середовищі КОМПАС 3D можливо експортувати в середовища інших САD (ANSYS, SolidWorks и тп.) систем, це дає можливість окрім комп'ютерного моделювання агрегату створювати рендеринг моделі; виконувати анімацію, як процесів, які протікають в агрегаті, так і рухомих його частин, і найважливіше, проводити дослідження фізичних процесів, які протікають в агрегаті.

Системи ANSYS/Multiphysics, ANSYS/Mechanical, ANSYS/Professional і ANSYS/FLOTRAN дозволяють розв'язувати задачі теплообміну.

Основою теплового аналізу в ANSYS являється рівняння теплового балансу, засноване на законі збереження енергії.

(Подробиці знаходяться в ANSYS Theory Reference).

Кінцево-елементний розв'язок, отриманий з допомогою ANSYS, визначає температуру в вузлах, які в подальшому використовуються для отримання інших теплових величин.

Програма ANSYS дозволяє розраховувати всі три види теплообміну: теплопровідність, конвекцію та променевий теплообмін. [10]

Використання SolidWorks також дозволяє розв'язувати задачі теплообміну.

Основне функціональне обмеження модуля теплового аналізу COSMOSWorks це те, що температура середовища в ефектах конвекції і випромінювання не залежить від температурного стану моделі.

В ході стаціонарного розрахунку вона свідомо постійна, а при нестаціонарному розрахунку може варіюватися тільки під управлінням користувача.

Однак характеристики поверхонь (грань тіл і власне поверхонь) – коефіцієнт тепловіддачі, випромінювання, а також тепловий потік і потужність - можуть залежати від температури.

Залежність описується ламаною, що проходить через точки, визначені користувачем. [11]

Програма дозволяє відтворювати ефект зміни теплопровідних властивостей в зоні сполучення деталей.

Він може бути обумовлений наявністю клейового прошарку, недосконалістю контакту. Функція Thermal resistance (Тепловий контактний опір) дозволяє уточнити розрахунок і істотно скоротити розмірність задачі.

У довідковій системі наводяться орієнтовні значення контактних опорів для ряду матеріалів з різними поверхнями [11].

При розрахунку поверхневих моделей врахувати розподіл температури по товщині оболонки в COSMOSWorks неможливо.

Тому при вказівці температури достатньо призначити її для однієї сторони оболонки.

Якщо все-таки намагались зробити її різною на протилежних гранях єдиної поверхні, то програма сприймає останнє введене значення [11].

Висновки і шляхи подальших досліджень. Отже, використання 3D моделей як бази для дослідження теплоенергетичних об'єктів дозволяє: виконувати лінійні, динамічні та теплові розрахунки, вирішувати контактні задачі, проводити геометрично нелінійні розрахунки і оптимізацію; розв'язувати задачі променевого теплообміну; досліджувати нестаціонарний та стаціонарний режими тепло- та масообміну.

У подальшому планується на базі моделі парогенератора E-75-42-440 КТ створити фізичну модель тепломасообмінних та гідрогазодинамічних процесів в котлагрегаті (циркуляція води, процес горіння, процес пароутворення), та провести моделювання інших процесів, які протікають в обладнанні ТЕС при виробленні електричної енергії.

Список літератури

1. AutoCAD 2006 / Подробное иллюстрированное руководство // Учебное пособие / под ред. А. Г. Жадаева. — М. : Лучшие книги, 2006. - 240 с.
2. Р.Н. Квэтний, І.В. Богач, О.Р. Бойко, О.Ю. Софина, О.М. Шушура / Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень // Квэтний Р.Н., Богач І.В., Бойко О.Р., Софина О.Ю., Шушура О.М. - Навчальний посібник / http://posibnyky.vntu.edu.ua/k_m/t1/zm1..htm
3. О.Ф. Бабічева, С.М. Єсаулов / Комп'ютерне проектування електромеханічних пристроїв // Бабічева О.Ф., Єсаулов С.М. - Навчальний посібник / Харків: ХНАМГ / 2009. - 281 с.
4. С.Г. Ушаков, Ю.Н. Муромкин, Б.Л. Шельгин / Тепловой поверочно-конструкторский расчет котлов с естественной циркуляцией // Ушаков С.Г., Муромкин Ю.Н., Шельгин Б.Л. - Учебное пособие / Иваново, 2004. - 116 с.
5. Х.Н. Ясавеев, А.Г. Лаптев, М.И. Фарахов / Модернизация установок переработки углеводородных смесей. Казань: / Издательство «ФЭН», 2004. – 307 с
6. В.П. Большаков, А.Л. Бочков, А.А. Сергеев / 3D-моделирование в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex // Большаков В.П., Бочков А.Л., Сергеев А.А. – Учебный курс – СПб.: Питер, 2011, - 336 с.: ил.
7. А. Магомедов / Трубопроводы 3D — в три шага / САПР и графика 4'2009
8. О. Зыков / Металлоконструкции 3D. Изучаем новое приложение в машиностроительной линейке АСКОН / САПР и графика 1'2009.
9. Т.Ю. Соколова / AutoCAD 2009 для студента. Самоучитель. – СПб.: Питер, 2008. – 384 с.: ил. –(Серия «Самоучитель»).
10. ANSYS 5.7 Thermal Analysis Guide / http://orange.engr.ucdavis.edu/Documentation12.0/120/ans_the.pdf
11. А.А Алямовский / COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks / ДМК Пресс – 786 с.

Рукопис подано до редакції 27.03.15

UDC 563

S. M. KIRIYENKO, PhD {Biology}, State Institution of Higher Education
“Kryvyi Rih National University”

ANALYSIS OF EFFICIENCY OF BIOLOGICAL TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER APPLICATION AT PRIVATE LOCALITY NEAR THE SOUTHERN MINING AND ORE-DRESSING COMPLEX

Resulting from intensive construction activity at localities without canalization system with creation of living environment and such constructions as infectious diseases hospital, camping centers, small agro-processing enterprises problem of wastewater treatment of such objects by establishment of scientifically based, reliable, compact, low energy technological schemes and designs systems of low productivity take center stage. Not all the treatment facilities and wastewater treatment methods provide quality wastewater treatment and give reliable operations or require highly qualified personnel presence. Therefore improvement of existing and development of more effective and safe in terms of Ecology wastewater treatment methods is urgent. Using of remediation facilities is one of the perspective trends of wastewater treatment. Treatment facilities combining basic construction elements of land treatment with hydrobiocenosis of bio-plateau or bioponds with higher water plant.

BTP technology uses processes of sedimentation, filtration and natural self-purification of water objects based on the ability of higher water plants, aquatic flora and microorganisms to carry out destruction, transformation and accumulation of organic and mineral suspended solids, oil, heavy metals and bacterial contamination. Using advanced technologies based on the actions of higher water plants nowadays are environmentally acceptable and economically promising direction in wastewater treatment systems. Distribution of such technologies can contribute to improving the environmental situation at localities without canalization system in Krivoy Rog.

Key words: biological treatment of water, bio-plateau, higher water plant.

Problem and its relation with scientific and practical tasks. Domestic wastewater treatment at localities without canalization system under conditions of complex environmental situation requires competent wastewater treatment (in accordance with discharge to water objects regulations) [1,6,10].

Resulting from intensive construction activity at localities without canalization system with creation of living environment and such constructions as infectious diseases hospital, camping centers, small agro-processing enterprises problem of wastewater treatment of such objects by establishment of scientifically based, reliable, compact, low energy technological schemes and designs systems of low productivity take center stage [2].

Not all the treatment facilities and wastewater treatment methods provide quality wastewater treatment and give reliable operations or require highly qualified personnel presence. Therefore im-

provement of existing and development of more effective and safe in terms of Ecology wastewater treatment methods is urgent. Using of remediation facilities is one of the perspective trends of wastewater treatment. Treatment facilities combining basic construction elements of land treatment with hydrobiocenosis of bio-plateau or bioponds with higher water plant [1,7,12].

Research and publications analysis. Wastewater treatment method based on using water objects self-purification processes with higher water plant (HWP), water flora and micro-organisms is widely used in Western Europe (UK, Denmark, Switzerland, Finland, Spain, France, Germany, Norway, Austria, Estonia), and also USA, Canada, New Zealand, Ukraine [9, 11, 12].

Bio-plateau technology is used for domestic, industrial, agricultural, rainwater, leachate hard domestic waste [7]. Bio-plateau facilities have been designed and implemented in Donetsk, Zaporizhia, Luhansk, Kharkiv, Ternopil and Transcarpathian Regions [3].

Problem statement.

Objective: to establish ecological expediency and to define advantages of using biological methods of wastewater treatment. *Tasks:* - to determine the effect of wastewater on environment; - to consider fitotechnology method and its application at wastewater treatment; - to investigate removal of pollutants mechanisms at bio-plateau facilities; - to investigate fitotechnologies efficiency at wastewater treatment for improving ecological situation at private locality near the Southern mining and ore-dressing complex.

Object: private locality near the Southern mining and ore-dressing complex without canalization system. *Subject:* wastewater treatment at biologically engineered facilities. *Methods:* using horizontal and vertical bio-plateau.

Material statement and its results. Privy with drainage for wastewater treatment is mostly used at the private locality near the Southern mining and ore-dressing complex. Advantage of such construction is its simplicity. Disadvantage is that wastewater leaks into the ground and reaches the groundwater of the Iguletz River and makes environment threat to homeowner and his neighbors' welfare within radius of 30 m from drain privy. There is also odor. In addition there is possibility of wastewater leakage when the drain privy is overflow of wastewater or settled sludge. Besides environmental pollution the house owner faces the problem of water siphonage. At the bottom of the drain privy sludge, grease, feces, vegetables cleaning accumulate and ground absorbing possibility reduces [3]. It is not profitable for the house owner to use sewage pipe cleaner services and pay for wastewater disposal which is 95% consists of water [1]. When wastewater reaches water objects there is oxygen debt and stink damp concentration and blue-green algae, blue-green blanket reproduction, water blooming or eutrophication that causes mass water organisms extinction especially industrial fish. The presence of large quantities of organic matter in the ground where special type of sludge contains there are hydrogen sulfide, ammonia, metal ions. Such water is unfit for drinking and recreational need [3].

Great amount of wastewater contains detergent agents. Which contain surface-active substances (SAS) and various additives alkaline, neutral bath, peroxide, elements preventing pollution agents' resorptions. Detergents falling into the water, causing foaming, degrade the water organoleptic properties, disrupt the oxygen metabolism, toxic effects on fauna, and worsen processes of biological oxidation of organic substances that prevent wastewater biological purification [1]. In addition untreated water may contain pathogens of various infectious diseases.

One of the most effective, ecological and promising methods of wastewater treatment at localities without canalization system is using biologically engineered facilities. Bioengineering treatment plants (BTP) are treatment facilities that combine basic construction elements of ground treatment with hydrobiocenosis of bio-plateau bioponds with higher water plant (HWP). A distinctive feature of BTP is formed biocenosis which quantitative and qualitative characteristics are formed under the direct and indirect effects of HWP. Design of such construction provides treated fluid flow movement in a horizontal plane - through thickets of macrophyte, in the vertical plane - through the root-saturated layer of soil micro flora rich and well-developed algocenosis. The area of BTP depends on the wastewater amount [5].

Natural process is a great advantage of BTP in accordance with biological treatment in aeration chamber where biodestruction processes are stimulated and are different from natural. That leads constant supporting necessity (mostly aeration) which consists of power consumption, constant control and appropriate maintenance [4]. BTP technology uses sedimentation processes, filtration and natural self-treatment of water objects based on the ability of higher water plant, water flora and microorgan-

isms to make destruction, transformation and accumulations of organic and mineral solids, oil, heavy-metal ions and bacterial contamination.

Vertical infiltration bio-plateau. At vertical infiltration bio-plateau wastewater comes from the bio-plateau surface to the bottom vertically, oxygen comes to the system due to air diffusion from the atmosphere and through the plants roots. Nitrification processes in type bio-plateau plants occur more rapidly than in the horizontal therefore wastewater containing high nitrogen concentration treatment is possible. The disadvantages of this bio-plateau type are complex treatment process system and creating favorable conditions for insects [6, 9]. Every 10-15 years it is necessary to remove sediment from the surface of the vertical filter without violating the filter layer. This mineralized sediment moisture content of 20-30% can be used as fertilizer peat.

Horizontal infiltration bio-plateau. Wastewater moves through the downloading layers from one end to the other almost horizontal. It consists of one or more sections, which include waterproof coating downloading layers and plants. Compared with surface bio-plateau at such structures big hydraulic load and high efficiency of wastewater treatment for BOD, COD are achieved, solids, heavy metals, and at the site of treatment facilities virtually no odor and insects presence. Horizontal infiltration bio-plateau is widely used in the USA, Japan, Australia and Europe. The disadvantage of such construction type is only that the ability to remove nitrogen is slightly lower than vertical type bio-plateau.

Mixed type bio-plateau. For treatment efficiency improving it is often used different combinations of the above-mentioned bio-plateau types that leads to different fluid flows formation in one facility.

For achieving the required quality of wastewater treatment biologically engineered plants with cascade structure are used where each step of the cascade operates as an independent structure and removes necessary part of the pollution. Thus, a cascade of 3-4 plants eliminates pollution of wastewater, even in the first year of BTP.

Tanks system and water regulators are necessary for effective work of both types of BTP (horizontal and vertical filtering) [8]. Compared with traditional treatment methods removes bio-plateau system is better for suspending solids, ammonia, phosphates and surfactants (Table 1).

Table 1

| Treatment technology | Treatment efficiency % | | | | | |
|----------------------|------------------------|------|------|---------|-------------|------------|
| | Suspended substances | BOD | COD | Ammonia | Surfactants | Phosphates |
| Traditional | 62,6 | 58,8 | 61,6 | 8,4 | 2,1 | 4,1 |
| Bio-plateau | 76,5 | 92,0 | 83,3 | 1,4 | 4,6 | 3,0 |

BTP advantages:

Unproductive land can be used for bioengineering treatment plant constructing; - Constructing does not require high-qualified workers and can be implemented by local construction companies with traditional technical means; - Operation does not require electricity consumption or chemical reagents;

BTP life term without any repairs is more than 30 years as it's a self-repairing system; - HWP on the surface of bio-plateau provides deodorization of domestic wastewater so sanitary protection zone of treatment facilities complex can be about 50 m; - BTP is a part of natural landscape; - BTP service may involve a small number staff that saves construction and operating costs; BTP provides stable efficiency in summer and winter periods [2].

According to the results of the INCOCOPERNICUS project in Kharkiv region, wastewater treatment is provided by bio-plateau BODfull from 90 to 95% (5-6 mg / l), COD of 85 to 95% for suspended solids from 95 to 99% (4-5 mg / l) on petroleum from 0 to 0.05 mg / l in detergents than 85% mineralization from 20 to 99% transparency treated water reaches 30 cm according to Snellen for bacteriological from 98 to 99%[8].

Table 2

Treatment efficiency of mixed bio-plateau

| Indexes | Sampling | | | | Treatment efficiency % |
|--------------------------------------|----------|--------|----------------------|------------------------|------------------------|
| | Entry | Pond | Vertical bio-plateau | Horizontal bio-plateau | |
| 2,25 | | | 16,97 | 26,99 | |
| 3,50 | | | 1,60 | 0,25 | |
| Suspended solids, mg/dm ³ | 284,99 | 212,75 | 25,02 | 13,58 | 95,23 |
| Dissolved oxygen mg/dm ³ | 2,29 | | 1,06 | 6,83 | |

| | | | | | |
|---|--------|--|--------|--------|-------|
| COD, mgO ₂ / dm ³ | 188,57 | | 28,22 | 23,77 | 87,40 |
| BOD, mgO ₂ / dm ³ | 77,68 | | 8,83 | 3,79 | 95,12 |
| Permanganate oxidation mgO ₂ / dm ³ | 30,68 | | 6,68 | 6,17 | 79,89 |
| Ammonia nitrogen, mg/dm ³ | 54,86 | | 40,11 | 26,89 | 50,99 |
| Orthophosphate, mg/dm ³ | 0,55 | | 0,24 | 0,25 | 55,24 |
| Phosphorus general, mg/dm ³ | 6,33 | | 7,53 | 5,21 | 17,69 |
| Surfactants, mg/dm ³ | 0,337 | | 0,085 | 0,043 | 87,19 |
| Chloride, mg/dm ³ | 44,21 | | 51,33 | 42,43 | 4,04 |
| Sulfates, mg/dm ³ | 262,57 | | 239,04 | 244,84 | 6,75 |
| Bacterial contamination Total Coliform (TC index (x10 ⁵)) | 8016,4 | | 302,73 | 13,32 | 99,83 |

It eliminates odor, increases dissolved oxygen level, and reduces nitrogen and phosphorus to 35-60%. Publications analysis shows that the bio-plateau system mechanisms remote contaminants from wastewater. This complex system (plant-microorganisms-load) occurs aerobic and anaerobic biological processes involving filtration, adsorption, precipitation, absorption and transformation plants nutrients and other compounds (Table 2).

The role of HWP in agricultural ecosystems is versatile and multifunctional. First of all they are autotrophs and are directly involved in the organic matter formation. CO₂ recycled from the atmosphere and water, and oxygen is liberated, which water is saturated with. They bind nitrogen, phosphorus, calcium, magnesium and other elements and play an important role as biofilters at wastewater treatment from pollution, detain and weighed accumulate and organic particles [7]. The most often used facilities in bio-plateau are reed, cattail, blackamoor, pondweed and others.

Along with BTP treatment there is wastewater natural disinfection by HWP phytocenoses without chemical methods of wastewater treatment. The process is by extracting plants, algae, BTP microorganisms into the aquatic environment and other volatile substances that suppress pathogens such as helminthes eggs, Escherichia coli, and Mycobacterium tuberculosis [5].

Facilities don't stop in winter. Low temperature stops growing season, reduces microbial processes rate in the filtering layers that affects the wastewater treatment quality. But filter thickness does not freeze in winter, pollution transformation processes continue, but slow down. Bacterial degradation processes are responsible for wastewater treatment from organic matter (BODfull) is exothermic, providing heat in indigenous facility [6].

Conclusion and further research direction. One of the solutions to the problem of wastewater treatment near the Southern mining and ore-dressing complex is using of biologically engineered structures. Significant advantage of BTP at wastewater treatment is that it is an environmentally friendly method that simulates the natural processes of self-purification of water is much cheaper than traditional treatment systems, BTP method is also energy-saving technology that does not involve the use of coagulants, flocculants and ion compounds providing high efficiency of wastewater treatment.

BTP technology uses processes of sedimentation, filtration and natural self-purification of water objects based on the ability of higher water plants, aquatic flora and microorganisms to carry out destruction, transformation and accumulation of organic and mineral suspended solids, oil, heavy metals and bacterial contamination.

Using advanced technologies based on the actions of higher water plants nowadays are environmentally acceptable and economically promising direction in wastewater treatment systems. Distribution of such technologies can contribute to improving the environmental situation at localities without canalization system in Krivoy Rog.

References

1. Лейбович Л. И., Корчевский Н. В., НПФ «Рецикл», Николаев, сборник материалов IV Международной конференции "Сотрудничество для решения проблемы отходов", 2007 г., Харьков, Украина.
2. Стольберг В.Ф., Ладиженский В.Н., Спирин А.И. Биоплато - эффективна малозатратна екологія очищення стічних вод // Екологія довкілля та безпеки життєдіяльності. - 2003. - № 3. - С. 32-34.
3. Трочешников Н.С., Родионов А.И., Кельцев И.В., «Техника защиты окружающей среды» Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Химия, 1996.
4. Юрьев Б.Т. «Очистка сточных вод малых объектов». Рига, Авотс, 1983.
5. Abdalla, K.Z. and Hammamb, G., 2014. Correlation between Biochemical Oxygen Demand and Chemical Oxygen Demand for Various Wastewater Treatment Plants in Egypt to Obtain the Biodegradability Indices. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research* 13 (1), 42.

6. Bansal, A.K., Mitra, A., Arora, R.P., Gupta, T. and Singhvi, B.S.M., 2007. Biological treatment of domestic wastewater for aquaculture, *J. Agri. Bio. Sci.*, 2, 6-12.
7. Duncan, M. 2003. *Domestic wastewater treatment in developing countries*, UK, Cromwell Press.
8. Khambete, A.K., Christian R.A., 2014. Ranking Sewage Treatment Plants with the Application of Fuzzy Composite Programming. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 3 (2), 116-120.
9. Lloyd, B.I., Leaner, A.R., Vorkas, C.A. and Gugnesharajah, R.K., 2003. Underperformance evaluation and rehabilitation strategy for waste stabilization ponds in Mexico, *Water Science and Technology* 48 (2), 35-43.
10. Mohammed A. I., Hayder T.H., 2013. Stabilization pond for wastewater treatment. *European Scientific Journal*, 9 (14), 278
11. Nweze, N.O. and Chumboh, G.F., 2006. Physical and chemical characteristics, algal flora and coliform content of the University of Nigeria, Nsukka sewage treatment plant oxidation pond, *Nigerian Journal of Botany*, 19 (1), 103-116.
12. Prachi N.W., Sameer, U.S., 2014. Performance Evaluation of 25MLD Sewage Treatment Plant (STP) at Kalyan, *American Journal of Engineering Research* 3 (3), 310-316.

Manuscript of entered release 27.03.15

УДК 62-97: 620.9: 621.1

В.В. СУРТАЄВ, канд. техн. наук, доц., В.С. ОСИПЧУК, студент
Криворізький національний університет

РОЗВИТОК ГАЛУЗИ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

В результаті огляду і аналізу встановлено, що перспективною альтернативою традиційним джерелам енергії являється геотермальна енергетика. Геотермальна енергія дозволяє отримувати необхідну людству енергію завдяки теплоті надр Землі. Чим більше віддалений від центра Землі певний внутрішній шар, тим нижче його температура. Але навіть самий верхній шар Землі (біля 10-ти кілометрів) містить кількість теплоти, якої достатньо для забезпечення всіх енергетичних потреб людини. Через розлами в корі теплота проникає на поверхню планети. Потенціал геотермальної енергії величезний і невичерпний. Залишається лише навчитися використовувати те, що так великодушно дарує природа. Потенціал надр Землі дозволяє покрити усі потреби людини в енергії. Розглянуті теоретичні і практичні питання введення геотермальних станцій. Розглянуті схеми, устаткування і технології геотермальної енергетики в Україні і інших країнах.

Доступність і мінімум витрат на відбір пари й гарячої води з поверхні Землі давно цікавлять дослідників. Однак, у більшості країн теплота Землі прихована глибоко в її надрах. Розробку глибинних джерел теплоти почали порівняно недавно й практично одночасно в таких країнах як США, Японія, Ісландія, Китай, Філіппіни, Англія, Франція, ФРН. Найбільше досягнень у даному напрямку мають США та Франція. Промислове освоєння геотермальних ресурсів у світі почалося після створення й пуску в Італії в 1916 р. геотермальної електростанції потужністю 7,5 МВт із трьома турбінами фірми «Франко Тозі» потужністю по 2,5 МВт кожна. Однак широке промислове будівництво геотермальних електростанцій було розгорнуто тільки в 60-х рр. у США, Новій Зеландії, Японії, Ісландії й ін. країн.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. . Джерела геотермальної енергії можуть розрізнятися залежно від способу виділення енергії (у вигляді сухої або вологої пари, підземних вод, сухих порід або магми). Використання даного виду енергії пов'язане з виконанням ряду вимог. Зокрема, наприклад, необхідно враховувати рівень твердості або мінералізації підземних вод. Теплота Землі може бути використана як джерело отримання електроенергії або використовуватись безпосередньо для опалення приміщень. Задача геотермальних станцій полягає у перетворенні геотермальної енергії в електричну. Успішна робота геотермальних станцій можлива при високих температурах підземних вод, а це означає, що встановлювати такі споруди можливо тільки в певних сейсмоактивних зонах. Найбільшою кількістю геотермальних станцій на сьогоднішній день володіють такі держави, як США, Італія, Ісландія, Японія, Кенія (лідер галузі на Африканському континенті). Існують кілька видів геотермальних станцій: станції що працюють на сухому парі (перетворення здійснюється за допомогою турбіни), станції із сепаратором і станції, робота яких заснована на застосуванні бінарного циклу (взаємодія гарячої й більш прохолодної води). Останній тип є найбільш розповсюдженим в світі, що пояснюється здатністю таких установок використовувати не занадто гарячі води (нижче 190 °С). Остання обставина дозволяє користуватися теплотою Землі набагато більшої кількості країн [1].

До недоліків геотермальної енергії слід віднести обмеженість можливостей отримувати значні обсяги енергії Землі країнами світу, що розташовані у не вулканічних районах планети.

Крім того, при використанні геотермальної енергії необхідно подбати про захист навколишнього середовища, що може постраждати внаслідок викидів відпрацьованої води [4].

Аналіз досліджень і публікацій. За прогнозами експертів, у наступні кілька десятиріч в світі буде спостерігатись позитивна тенденція зростання масштабу використання геотермальної енергії, що однак буде супроводжуватись зниженням обсягів виробництва енергії альтернативними джерелами взагалі й деякими конкретними видами зокрема. Таким чином, геотермальні ресурси зможуть збільшити свою частку у світовому балансі виробництва енергії, але їх первісне відставання від інших джерел альтернативної енергії не дозволить залишити останнє місце в даному особливому рейтингу (принаймні, дослідники передбачають такий розподіл до 2030 року) [1-3].

Викладення матеріалу та результати досліджень. Доступність і мінімум витрат на відбір пари й гарячої води з поверхні Землі давно цікавлять дослідників. Однак, у більшості країн тепло Землі прихована глибоко в її надрах. Розробку глибинних джерел теплоти почали порівняно недавно й практично одночасно в таких країнах як США, Японія, Ісландія, Китай, Філіппіни, Англія, Франція, ФРН. Найбільше досягнень у даному напрямку мають США та Франція. У Парижі, наприклад, працює дев'ять геотермальних джерел. За допомогою свердловин видобувається гаряча вода, що надходить на опалення будинків. До недоліків даної технології варто віднести те, що воду, яка віддала теплоту, не можна зливати на поверхню Землі або скидати в річки, тому що вона містить велику кількість солей і різних домішок [1, 4].

У АТ «Наука» на основі розробок «Енергетичного інституту ім. Г. М. Кржижановського» за напрямом горизонтальних гравітаційних сепараторів запропоновані й виготовляються на російських заводах високоефективні геотермальні сепаратори (див. табл. 2). Ці сепаратори встановлені в модульних енергоблоках Верхньо-Мутновської ГеоТЕС і на першій черзі Мутновської ГеоТЕС. Сепаратори забезпечують рекордну якість пари (вологість на виході не вище 0,05 %), що значно знижує ерозію турбінних лопаток [5-11].

Можлива сумарна потужність таких ГеоТЕС у Росії визначається, в основному, потребою в електроенергії вулканічних районів Камчатки й деяких Курильських островів (усього близько 1 млн. кВт). Питомі капіталовкладення в будівництво електростанцій саме такого типу становлять 1000-1200 дол./кВт, а сумарні питомі інвестиції із включенням витрат на розвідку родовища, буріння свердловин і облаштування геотермального промислу - 2000-2500 дол./кВт. Собівартість електроенергії після періоду окупності приблизно вдвічі нижче, ніж на розташованих у цих районах ТЕС на органічному паливі.

На рис. 4 представлено варіант ГеоТЕС для родовища пароводяної суміші або геотермальних розсолів з використанням конденсаційних турбін з одно- або багаторазовим розширенням геотермального флюїду. Якщо на родовищах пароводяної суміші температура відсепарованої води досить висока (вище 100 °С), то можливо шляхом розширення (скидання тиску розширювача 9 (див. рис. 4) отримати додаткову пару, що спрямовується на проміжний вхід турбіни. Останнє дозволяє отримати додаткову роботу і, тим самим, підвищити ККД енергоустановки. Таких каскадів теоретично може бути кілька. На практиці, однак, можливість застосування таких схем обмежується відкладення солей в елементах устаткування в результаті підвищення концентрації солей вище границі розчинності.

Таблиця 2

Технічні характеристики геотермальних сепараторів виробництва РФ [5]

| Тип сепаратора | Тиск пари, МПа | Паровміст ППС* на вході, % | Вологість пари на виході, %, не більше | Продуктивність пари, т/год., не більше | Гідрравлічний опір | Маса, кг |
|-------------------------|----------------|----------------------------|--|--|--------------------|----------|
| C-55 | 0,5-0,9 | 15-100 | 0,05 | 55,0 | 0,1 | 7500 |
| C-85 | | | | 85,0 | | 9500 |
| C-115 | | | | 115,0 | | 10 500 |
| СП-180 (парозбірник) | | | | 180,0 | | 17 000 |
| СВ-45 (двоступінчастий) | | | | 45,0 | | 9700 |
| Р- 23 (розширювач) | | | | 0, 4...0,8 | | 0 |

На родовищах пароводяної суміші раніше всього утворюються відкладення кремінної кислоти, розчинність якої швидко зменшується при зниженні температури. На родовищах геотермальних

розсолів, що добуваються з карбонатних колекторів (Північний Кавказ) при розширенні розсолів виділяється розчинений CO_2 , що призводить до порушення вуглекислотної рівноваги й утворенню відкладень кальциту, магнезиту і т.ін. Тому застосування схем з розширювачами можливо лише при відсутності масивних відкладень солей або при використанні регулярного очищення устаткування. Розширювачі є порівняно дешевими об'ємними апаратами і, тому їхнє застосування практично не збільшує капіталовкладення, що залишаються на рівні 1000 дол./кВт [5].

На рис. 5 зображено ГеоТЕС з використанням низькокиплячих чистих або сумішевих РТ. Щоб уникнути відкладення солей, що виникають при розпарюванні геотермальних розсолів, схеми з розширювачами, застосовується схема з використанням низькокиплячих РТ. Схема рис. 5 діє наступним чином: геотермальний розсіл з підйомної свердловини 1 надходить у теплообмінник-парогенератор 2 (який звичайно виконується у вигляді двох кожухотрубчастих апаратів - випарника і підігрівача (економайзера)). Після охолодження до граничної температури, обумовленої умовою відсутності відкладень солі, розсіл повертається у шар по нагнітальній свердловині 3 (рис. 4).

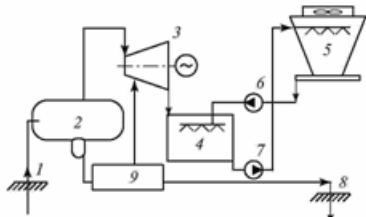


Рис. 4. Схема ГеоТЕС з конденсаційною турбіною і розширенням геотермального флюїда [5]: 1 - підйомна свердловина; 2 - сепаратор; 3 - конденсаційна турбіна; 4 - конденсатор; 5 - градирня; 6 - циркуляційний насос; 7 - конденсатний насос; 8 - нагнітальна свердловина; 9 - розширювач

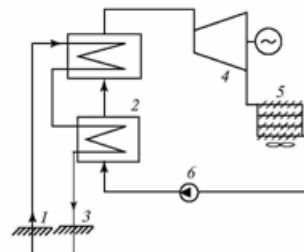


Рис. 5. Схема ГеоТЕС з використанням низькокиплячих РТ [5]: 1 - підйомна свердловина; 2 - теплообмінник парогенератор; 3 - нагнітальна свердловина; 4 - турбіна; 5 - конденсатор; 6 - циркуляційний насос

У зв'язку з високою вартістю свердловин, для збільшення витрати геотермального розсолу іноді застосовуються заглибні насоси, розташовують на глибині до 200 м у піднімальній свердловині, а для зворотного накачування практично завжди використовується нагнітальний насос перед реінжекційною свердловиною 3.

Витрата електроенергії на привід цих насосів іноді досягає 20% від вироблення електроенергії [5].

В якості РТ таких ГеоТЕС використовують холодоагенти (вуглеводні: пропан, бутан, фреони, останнім часом розглядається можливість застосування водоамічної суміші). Рідке РТ підігрівается й випаровується в парогенераторі 2 і подається на вхід турбіни 4.

Розширення пари низькокиплячих РТ у турбіні відбувається (на відміну від водяної пари) відповідно до T, s - діаграми, в частині сухої пари, що пов'язано з аномальним видом правої гілки кривої насичення, в T, s - діаграмі - ентропія зменшується при зниженні температури, тому з турбіни виходить суха пара.

Якщо його температура значно вище температури конденсації, обумовленою звичайно температурою повітря, доцільно повернути надлишкове тепло в цикл, для чого додатково використовують рекуперативний теплообмінник (невказаний на схемі), що встановлюється перед конденсатором 5, що звичайно є повітроохолоджуємим через дефіцит охолоджувальної води.

Зконденсоване РТ циркуляційним насосом 6 подається на вхід парогенератора (при наявності через нього) [5].

Першу в світі геотермальна енергоустановка за такою схемою із фреоном-22 в якості РТ була виготовлена в 1956 р. і випробувана на Паратунському родовищі термальних вод на Камчатці.

Устаткування для таких ГеоТЕС із різними РТ виготовляє ряд фірм у США, Японії, Італії, Австрії. У наш час промисловий випуск енергомодулів потужністю 0,5-3 МВт із низькокиплячими РТ здійснюється фірмою «Ормат» (Ізраїль).

Загальна потужність ГеоТЕС, побудованих у багатьох країнах з використанням даних енергомодулів, перевищує 350 МВт.

На Кіровському заводі був спроектований енергомодуль потужністю 1,5 МВт на озонобезпечному фреоні-42b.

Роботи зі створення спеціальної турбіни ведуться у ВАТ «Наука» [1-3, 5-7].

В останні роки приділяють особливу увагу до використання водоаміачної суміші в якості РТ.

Інтерес зумовлений зміною температури суміші в процесі парутворення, що, спочатку, при більш низькій температурі викіпає, в основному, аміак і в міру зменшення його концентрації температура киплячої суміші зростає.

У результаті вдається зблизити криві охолодження геотермального розсолу й нагрівання й парутворення водоаміачної суміші в I, t-діаграмі, що призводить до зниження незворотних втрат ексергії при теплообміні й підвищенню ККД циклу ГеоТЕС.

Крім того, шляхом зміни концентрації аміаку в суміші можливо ефективно використати ту саму турбіну на геотермальних родовищах з температурами розсолів 80-200 °С. Вартість енергомодулів фірми «Ормат» складає близько 1000 дол. за 1 кВт [1, 3, 5-7].

ГеоТЕС комбінованого циклу з паровою турбіною у верхньому циклі й низькокипячим РТ у нижньому циклі.

Для більше повного використання теплового потенціалу геотермальної пароводяної суміші доцільно використати комбіновану теплову схему, зображену на рис. 6.

Схема рис. 6 працює так: з підйомної свердловини 1 пароводяна суміш подається в сепаратор 2, звідки пар спрямовується у протитискову парову турбіну 3, після виходу з турбіни пар надходить у конденсатор 4, що є парогенератором низькокипячого РТ, а конденсат, що утворюється використовують на станції.

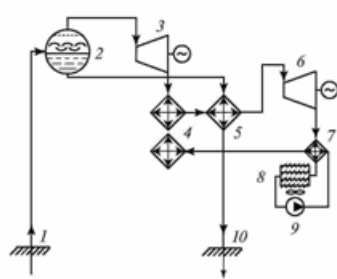


Рис. 6. Схема ГеоТЕС комбінованого циклу [5]: 1 – підйомна свердловина; 2 – сепаратор; 3 – парова турбіна; 4 – конденсатор; 5 – пароперегрівач; 6 – бінарна турбіна; 7 – рекуператор; 8 – повітряний конденсатор; 9 – живильний насос; 10 – нагнітальна свердловина

Отсепарований гарячий геотермальний розсіл подається в пароперегрівач низькокипячого РТ 5, після чого повертають в шар по нагнітальній свердловині 10. Перегріта пара низькокипячого РТ подається на вхід бінарної турбіни 6, після розширення в якій іде в рекуператор 7, де охолоджується і йде в повітряний конденсатор 8.

Зконденсоване низькокипяче РТ живильним насосом 9 подається на попередній підігрів у рекуператор 7 і потім у парогенератор 4.

Така схема дозволяє використати теплоту відсепарованого розсолу для перегріву низькокипячого РТ, що дозволяє збільшити ККД ГеоТЕС.

Особливо ефективно застосування даної схеми при низьких температурах повітря, тому що завдяки низьким температурам замерзання низькокипячих РТ (нижче -50 °С) можливо здійснювати конденсацію при негативних температурах.

Для умов Мутновського родовища пароводяної суміші (середньорічна температура повітря - 5 °С) вироблення електроенергії на комбінованій ГеоТЕС збільшується на 20 % у порівнянні із традиційним конденсаційним циклом.

Відповідний патент отримано спільно АТ «Наука» і «Енергетичним інститутом ім. Г.М. Кржижановського». Устаткування ГеоТЕС комбінованого циклу випускається ізраїльською фірмою «Ормат», і встановлено на геотермальних станціях на Філіппінах і в Індонезії.

У Росії за даною схемою планується побудувати 4-й блок Верхньо-Мутновської ГеоТЕС загальною потужністю 6 МВт [2, 3, 5-11].

Промислове освоєння геотермальних ресурсів у світі почалося після створення й пуску в Італії в 1916 р. геотермальної електростанції потужністю 7,5 МВт із трьома турбінами фірми «Франко Тозі» потужністю по 2,5 МВт кожна.

Однак широке промислове будівництво геотермальних електростанцій було розгорнуто тільки в 60-х рр. у США, Нової Зеландії, Японії, Ісландії й ін. країн [1-3, 5-7].

Сумарна встановлена потужність діючих на кінець 1990 р. ГеоТЕС у всіх країнах світу оцінюється в 7,3 млн кВт.

Найбільший прогрес у даній галузі досягнуто у США, на Філіппінах, у Мексиці, Італії, Японії, причому тільки на створення нових технологій за останні 20 років витрачено близько 2 млрд дол. США. (див. табл. 3) [1-3, 5-7].

Таблиця 3

Потужність геотермальних електростанцій (за станом на кінець 1990 р.) [1-3, 5]

| Країна | Рік випуску | Кількість електроустановок | | Сумарна потужність ГеоТЕС, МВт | | Макс. одинична потужність агрегатів ГеоТЕС, МВт |
|---------------|-------------|----------------------------|-------------|--------------------------------|-----------|---|
| | | експлуатація | будівництво | експлуатація | будується | |
| США | 1960 | 126 | 10 | 2920 | 602 | 140 |
| Філіппіни | 1977 | 41 | - | 2956 | - | 55 |
| Мексика | 1973 | 17 | 15 | 700 | 325 | 110 |
| Італія | 1913 | 41 | 14 | 456 | 298 | 26 |
| Японія | 1967 | 10 | 4 | 229 | 138 | 55 |
| Ісландія | 1969 | 12 | 1 | 208 | 30 | 35 |
| Нова Зеландія | 1958 | 14 | 4 | 260 | 116 | 30 |
| Індонезія | 1979 | 6 | 5 | 145 | 223 | 30 |
| Сальвадор | 1975 | 4 | 5 | 108 | 75 | 27 |
| Кенія | 1981 | 3 | - | 45 | - | 15 |
| Нікарагуа | 1982 | 2 | - | 70 | - | 35 |
| Туреччина | 1974 | 3 | 1 | 24 | 5 | 10 |
| Швеція | - | 1 | - | 20 | - | 20 |
| КНР | 1970 | 19 | 5 | 18 | 14 | 7 |
| СРСР | 1967 | 3 | 11 | 11 | 232 | 6 |

Відповідно до національної програми розвитку геотермальної електроенергетики США в найближчі 15-20 років очікується подвоєння потужності ГеоТЕС кожні 5 років. Основними виробниками й постачальниками основного й допоміжного устаткування для ГеоТЕС є концерн «Міцубісі» (Японія), а також фірми: «Франко Тозі», «Аскальдо» (Італія). Техніко-економічні параметри ГеоТЕС змінюються в дуже широких межах і істотно залежать від геологічних характеристик родовищ. Верхньою межею є вартість встановленої потужності 2500-3000 дол./кВт.

У цьому випадку собівартість отриманої електроенергії становить не менш 0,20-0,25 дол./кВт·год.. Однак більшість введених у дію ГеоТЕС значно дешевше (1200-2000 дол./кВт).

Собівартість електроенергії, отриманої на ГеоТЕС у даному випадку, наближається до собівартості, отриманої на вугільних ТЕС [1-3, 5].

Деякі характеристики перспективних для ГеоТЕС районів України представлені у табл. 4.

Таблиця 4

Прогнозні ресурси геотермальної енергії на території України для енергетики [1-3, 5]

| Район, родовище | Інтервал глибин, км | Середня температура порід, °С | Площа покладів, км ² | Геологічні запаси теплової енергії | Видобувні запаси при коефіцієнті видобутку 20% | КККД перетворення, % | Можлива потужність ГеоТЕС, тис МВт |
|--------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--|----------------------|------------------------------------|
| Закарпаття | 3-6 | 210-250 | 50-130 | 8,5 | 29,0 | 1,7 | 5,8 |
| Прикарпаття | 4-7 | 200 | 600 | 6,7 | 23,0 | 1,3 | 4,6 |
| Крим | 4-7 | 200-220 | 300-500 | 15,3 | 52,4 | 3,1 | 10,5 |
| Східноукраїнська область | 5-7 | 185-217 | 660-2800 | 70,0 | 240 | 14,0 | 48,0 |
| Всього | | | | 100 | 344 | 20 | 70 |

Значними ресурсами геотермальної енергії володіє Крим, для якого найбільш перспективними є Тарханкутський і Керченський півострови, де наявні найбільші геотермічні градієнти, а температура гірських порід у цих районах на глибинах 3,5-4 км може досягати 160-1800 °С.

Техніко-економічний аналіз перших експериментальних ГеоТЕС з врахуванням геологорозвідувальних робіт вказує на вартість величиною до 5000 дол. США/кВт. Надалі, при виході на серійні блоки потужністю по 10-25 МВт питома вартість станцій знизиться до 2-2,5 тис. дол.

США/кВт. ГеоТЕС з потужністю 100 МВт і більше будуть коштувати від 1200 до 2000 дол. США/кВт [1-3, 5-11].

Висновки і шляхи подальших досліджень. Виходячи із зазначеного і на основі оцінки технічних можливостей ГеоТЕС і обмежень по екологічних і економічних причинах, можливо зробити наступні висновки про розвиток геотермальної електроенергетики передбачається.

Розвиток технологій очистки мінералізованих геотермальних вод є однією з важливих умов широкого запровадження ГеоТЕС;

Технічні особливості геотермальної електроенергетики (обмежені значення верхніх температур циклів і висока мінералізація геотермальних теплоносіїв) вимагають звернути увагу дослідників на проведенні експериментів на дослідних ГеоТЕС порівняно невеликої потужності для відпрацювання технологій і відповідного устаткування;

Далеко невичерпана необхідність досліджень використання стійких до корозії матеріалів, а наявність розчинених газів вимагає розробляти додаткові системи газовиділення і утилізації, що супроводжується збільшенням витрат потужності на власні потреби до 50% і вище.

Список літератури

1. Геотермальная энергетика-Википедия: http://ru.wikipedia.org/wiki/%C3%E5%E8%F2%E5%F0%EC%E0%EB%FC%ED%E0%FF_%FD%ED%E5%F0%E3%E5%F2%E8%EA%E0
2. Гетермальная энергетика. http://ru.wikipedia.org/wiki/Гетермальная_энергетика.
3. LGE: http://www.eninnet.ru/lge/geotes_r.htm
4. Охрана окружающей среды // Учебник для технических специальностей вузов / Под ред. **С.В. Бегова** - М.: Высшая школа, 1991.
5. Геотермальные электростанции (ГеоТЭС): <http://gisee.ru/regionsupport/articles/low-energy/19412/>
6. Гетермальное энергоснабжение. www.esco.co.ua/journal/2005_11/art07_28.htm.
7. Геотермическая электростанция. БСЭ, т. 6.
8. **Выморков Б.М.** Геотермальные электростанции. – М.-Л., 1966. Конеченков А.. Энергия тепла Земли // Конеченков А., Остапенко С. Электропанорама. – 2003. – №7-8.
9. **Поваров О.А., Васильев В.А., Томков Ю.П., Томаров Г.В.** Геотермальные электрические станции с комбинированным циклом для северных районов России. <http://www.transgasindustry.com>.
10. **Занин А.И.** Паровые турбины. / **А.И. Занин, А.С. Соколов** - М.: Высшая школа, 1988.
11. **В.И. Кирюхин** Парові турбіни малої потужності КТЗ // **В.И. Кирюхин, Н.М. Тараненко, Е.П. Огурцова** и др. // М.: Энергоатомиздат, 1987

Рукопис подано до редакції 17.03.15

УДК 622.807.1

В.А. ШАПОВАЛОВ, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ІЗОКІНЕТИЧНОСТІ РУХУ ПОТОКУ ПОВІТРЯ В ПОРОЖНИНІ ПИЛОПРИБИРАЛЬНОГО НАСАДКА

Серед комплексу санітарно-гігієнічних заходів боротьби з пилом прибирання виробничих приміщень займає важливе місце. Видалення осілого пилу за допомогою промислових пилососних установок забезпечує високі санітарно-гігієнічні умови праці і підвищує продуктивність. Ефективна і економічна робота промислових пилоприбиральних установок в значній мірі залежить від робочого органу – пилоприбирального насадка, в порожнині якого відбуваються складні аеродинамічні процеси. Втрати тиску в порожнині пилоприбирального насадка складають значну частину від загальних втрат тиску у системі трубопроводів пилоприбиральних систем. Зменшення цих втрат можна спостерігати в такій конструкції насадка, який має рівновеликі площі всмоктувальної щілини, вихідного патрубка і довільних перетинів порожнини корпусу. Тобто, коли в порожнині насадка буде дотримуватися принцип ізокінетичності руху повітряного потоку. Для досягнення цього принципу зменшення довжини всмоктувальної щілини повинно відбуватися за рахунок звуження порожнини, обмеженої вертикальними поверхнями, виконаних по дугах двох кіл, а ширину всмоктувальної щілини необхідно збільшувати до діаметра патрубка між клиновидними вертикальними поверхнями, що розширюються. Аналітичне дослідження довільних площ перетинів порожнини насадка та експериментальні виміри швидкості повітряних потоків у цих перетинах показали, що для досягнення в ньому принципу ізокінетичності необхідно, щоб перехід від всмоктувальної щілини до вихідного патрубка здійснювався за овальним сполученням горизонтальних і вертикальних поверхонь корпусу, виконаних вищевказаним способом.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Виробнича діяльність підприємств теплоенергетичної, гірничо-металургійної, машинобудівної та інших галузей, які є провідними для більшості промислових центрів країни, пов'язана з інтенсивним виділенням пилу і забрудненням повітря у виробничих приміщеннях. Серед комплексу санітарно-гігієнічних заходів боротьби з пилом прибирання виробничих приміщень займає важливе місце. Видалення осілого пилу за допомогою промислових пиłosосних установок забезпечує високі санітарно-гігієнічні умови праці і підвищує продуктивність. Прибирання осілого пилу з різних поверхонь за допомогою пиłosосних установок відбувається в результаті взаємодії всмоктувального факела пилоприбирального насадка з шаром пилу. Від конструкції пилоприбирального насадка в значній мірі залежить ефективність і економічність роботи пиłosосних систем. Конструкція пилоприбирального насадка повинна забезпечувати зручний і вільний доступ до поверхонь прибирання з урахуванням таких особливостей як, розташування поверхні у просторі (вертикальне, горизонтальне), форма поверхні (гладка, шорстка), наявність вибоїн, щілин або заглиблень тощо. Також, форма і конструкція пилоприбирального насадка, в значній мірі залежить від фізико-механічних властивостей пилу – густини, сипкості, дисперсного складу, наявності сторонніх домішок і крупних часток, товщини осілого шару, давності його формування тощо. Залежність геометричних параметрів від безмежної кількості факторів спонукало розробці різноманітних видів і типів насадків, які відрізняються не тільки за формою і конструкцією, але і за принципом дії [1-4,8-11]. Але низька пилоприбиральна здатність насадків приводила до значних витрат потужності на видалення пилу, що знижує в цілому економічний ефект від роботи пиłosосних установок.

Аналіз досліджень і публікацій. На промислових підприємствах, у разі застосування пиłosосних установок, осілий пил видалається, у більшості випадків, з повітронепроникних поверхонь для чого необхідні значно більші швидкості повітря ніж для транспортування пилу по трубопроводах. Це пояснюється тим, що потік повітря, що всмоктується через насадок, рухається або паралельно шару пилу, або під кутом до нього, в залежності від розташування поверхні у просторі і конструкції насадка. При цьому швидкість потоку повітря, що всмоктується через насадок, зменшується по мірі віддалення від всмоктувальної щілини.

Більшість дослідників погоджуються з думкою, що економічність роботи насадка залежить від витрат повітря, що проходить крізь нього. Повне видалення пилу з поверхні забезпечується відповідними витратами повітря. Це пов'язано з витратами енергії на додання втрат тиску у насадку, а необхідна для цього потужність N визначається з формули [5]

$$N = 0,6\zeta_n \cdot (Q^3/F^2), \quad (1)$$

де ζ_n - коефіцієнт місцевого опору насадка; Q - витрати повітря, що проходять через насадок, м³/с; F - площа перетину вихідного патрубку насадка, м².

Отже, найбільша економічність насадка досягається при мінімальних значеннях витрат повітря і коефіцієнта місцевого опору, а також при максимальній площі перетину вихідного патрубку.

Коефіцієнт місцевого опору ζ_n залежить, головним чином, від геометричних параметрів насадка [1]. При розробці пилоприбиральних насадків залишається не вирішеним питання оптимальних геометричних розмірів його корпусу, при яких втрати тиску були б мінімальними. Це пов'язано з тим, що всмоктувальна щілина насадка має, переважно, прямокутну форму, яка плавно переходить до форми перетину рукоятки (переважно форма кола). При переході від перетину всмоктувальної щілини до перетину рукоятки для зменшення втрат тиску повинна дотримуватися умова сталості площин на всьому шляху.

Діаметр вихідного патрубку насадка має відповідати розмірам рукоятки і гнучкого шлангу, який не рекомендується приймати більшими 50 мм, оскільки при більших значеннях спостерігаються незручності в роботі через збільшення його ваги.

Для зручності роботи пилоприбиральним інструментом внутрішній діаметр рукоятки, як правило, приймають 32-40 мм. Відповідно, діаметр патрубку насадка змінюється в такому ж діапазоні розмірів.

Прибирання поверхні полу є найбільш трудомісткою операцією, особливо в умовах промислових підприємств гірничо-металургійного комплексу з потужними джерелами виділення пилу. На поверхні полу осідає найбільша кількість пилу у порівнянні з іншими категоріями пове-

рхонь. Дуже часто, внаслідок переміщення по цеху обслуговуючого персоналу і механізмів, пил на полу ущільнюється, що робить його прибирання ще більш складним.

Для продуктивного прибирання пилу з поверхні полу в промислових приміщеннях рекомендуються насадки з довжиною всмоктувальної щілини $L_{щ} = 200-400$ мм. Тому, під час розробки конструкції насадка прийнята довжина всмоктувальної щілини $L_{щ}$ буде знаходитись в заданому діапазоні.

Згідно рекомендацій [1,4-6] найбільш раціональною формою пилоприбирального насадка є така його конструкція, яка відповідає наступним вимогам. Площа всмоктувальної щілини повинна дорівнювати площі перетину патрубку насадка. Рівномірне всмоктування пилу по всій довжині щілини, а також нерозривна і безвихрова течія повітря усередині корпусу насадка забезпечується його особливою формою, яка має бокові твірні стінки корпусу у вигляді плавних кривих з радіусом, що розрахований за формулою [5,6]

$$R = 0,65 \cdot (L_{щ} - d_n), \quad (2)$$

де $L_{щ}$ – довжина всмоктувальної щілини насадка, м; d_n – внутрішній діаметр патрубку насадка, м.

При цьому в місцях сполучення бокових твірних стінок корпусу з патрубком насадка радіус кола R повинен бути перпендикулярним до поверхні патрубку.

Постановка завдання. Під час конструктивного проектування насадка залишається не вирішеними питання: якою буде висота насадка $H_n = Y_A$ і яким буде кут розкриття його корпусу $\beta = \angle ADA'$. Данні параметри представлені на рис. 1.

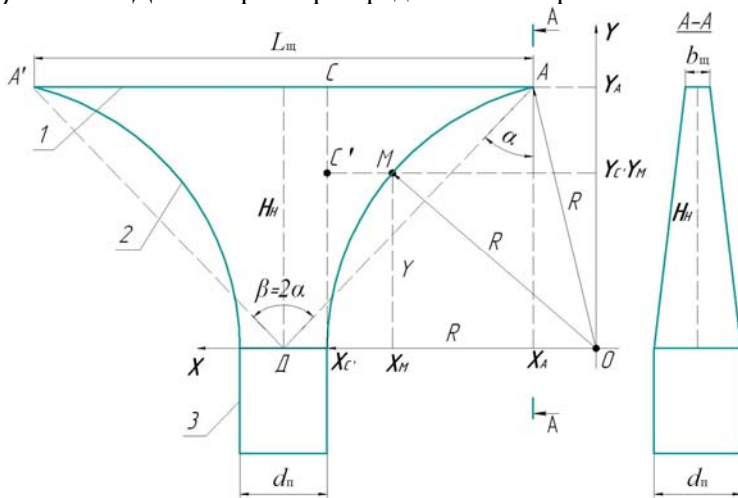


Рис. 1. Розрахункова схема конструктивних параметрів насадка 1 – всмоктувальна щілина насадка; 2 – бокова твірна стінка корпусу насадка; 3 – патрубок насадка

Дослідження цих завдань дозволяє встановити наступне. Дотримуючись принципу ізокінетичності руху повітряного потоку при надходженні його у порожнину насадка і патрубку, за прийнятими параметрами d_n і ширини його щілини $b_{щ}$ визначається довжина всмоктувальної щілини $L_{щ}$

$$L_{щ} = \pi d_n^2 / 4b_{щ}. \quad (3)$$

Далі за формулою (2) розраховується радіус кола R , твірна якого утворює бокову поверхню корпусу насадка. Так як довжина відрізка AC (див. рис. 1) дорівнює

$$AC = (L_{щ} - d_n) / 2, \quad (4)$$

то

$$X_A = R - 0,5 \cdot (L_{щ} - d_n), \quad (5)$$

або з урахуванням значення R з формули (2), остаточно отримуємо

$$X_A = 0,15 \cdot (L_{щ} - d_n). \quad (6)$$

Із рівняння кола $X^2 + Y^2 = R^2$, розраховуємо значення H_n висоти корпусу насадка

$$H_n = Y_A = \sqrt{R^2 - X_A^2} = 0,632 \cdot (L_{щ} - d_n). \quad (7)$$

Кут розкриття β корпусу насадка дорівнює

$$\beta = 2 \arctg \alpha = 2 \arctg (H_n / x_A). \quad (8)$$

Отже, розміри насадка геометрично подібні, так як кут розкриття β не залежить від розмірів всмоктувальної щілини і висоти корпусу насадка.

Як було зазначено раніше, ефективна і економічна робота пилоприбиральних установок в значній мірі залежить від робочого органу - пилоприбирального насадка, в порожнині якого відбуваються складні аеродинамічні процеси. За даними дослідників втрати тиску в порожнині пилоприбирального насадка і у гнучкому шлангу сягають 50% від загальних втрат тиску у системі трубопроводів пилоприбиральних установок [5,6]. Дослідження аеродинамічних характеристик насадків [1] показують, що втрати тиску в порожнині корпусу насадка залежать, головним чином, від витрат повітря, що проходять крізь нього і коефіцієнта місцевого опору, і обу-

мовлені утворенням вихрових зон під час течії повітря крізь нього. Зменшення цих втрат можна спостерігати в такій конструкції насадка, який має рівновеликі площі всмоктувальної щілини, вихідного патрубка і довільних перетинів порожнини корпусу. Тобто, коли в порожнині насадка буде дотримуватися принцип ізокінетичності руху повітряного потоку.

Викладення матеріалу та результати. Дослідимо тепер питання про ізокінетичність потоку в порожнині корпусу насадка, якщо розширення всмоктувальної щілини в одній площині клиноподібне від розміру $b_{щ}$ до діаметра d_n патрубка (див. рис. 1).

Методами аналітичної геометрії нами визначено, що довжина відрізка MC' змінюється згідно залежності

$$MC' = R - \sqrt{R^2 - Y^2}, \quad (9)$$

де Y - відстань (змінна висота насадка) від патрубка до перетину $S_{щ}(Y)$, мм.

Змінна довжина щілини $L_{щ}(Y)$ в залежності від параметра Y буде описуватися закономірністю

$$L_{щ}(Y) = d_n + 2\left(R - \sqrt{R^2 - Y^2}\right). \quad (10)$$

Ширина щілини насадка $b_{щ}(Y)$ від змінної Y буде залежати так

$$b_{щ}(Y) = b_{щ} + \left[\frac{(H_n - Y)(d_n - b_{щ})}{H_n}\right]. \quad (11)$$

В залежності від форми перетину порожнини насадка (прямокутна або еліпсоподібна) площа перетину $S_{щ}(Y)$ цієї порожнини буде мати значення

$$S_{щ}(Y) = a \cdot L_{щ}(Y) \cdot b_{щ}(Y), \quad (12)$$

де a - коефіцієнт форми всмоктувальної щілини насадка; $a=1$ - для прямокутної форми; $a=\pi/4=0,785$ - для еліпсоподібної форми.

За відомими значеннями площ перетину насадка $S_{щ}(Y)$ і площі всмоктувальної щілини $S_{щ}$ можна тлумачити про ізокінетичність руху повітряного потоку в порожнині його корпусу. Якщо врахувати умову нерозривності потоку, згідно якої об'ємні витрати повітря у довільному перетині насадка $Q(Y)$ дорівнюватимуть витратам повітря у всмоктувальній щілині $Q_{щ}$, то виходячи з цієї умови можна отримати закономірність зміни швидкості $V(Y)$

$$V(Y) = V_{щ} \cdot \left[S_{щ}/S_{щ}(Y)\right], \quad (13)$$

де $V_{щ}$ - швидкість повітря у всмоктувальній щілині.

Для безрозмірного значення $\bar{V}(Y) = V(Y)/V_{щ}$ рівняння (13) буде мати вигляд

$$\bar{V}(Y) = S_{щ}/S_{щ}(Y) = 1/\bar{S}(Y). \quad (14)$$

З метою перевірки аналітичного методу оцінки ізокінетичності руху повітряного потоку в порожнині насадка, виготовленого по формі, представленій на рис. 1, були проведені його аеродинамічні випробування.

Дослідницький насадок був виготовлений з листової сталі товщиною $\sigma=1,5$ мм. Його геометричні параметри були такими: довжина всмоктувальної щілини $L_{щ}=240$ мм; ширина всмоктувальної щілини $b_{щ}=4,9$ мм; радіус твірної бокової поверхні корпусу $R=133$ мм; розмір патрубка насадка 38×38 мм; висота корпусу насадка $H_n=129$ мм. Проекція довільного перетину порожнини корпусу має прямокутну форму.

Аеродинамічні випробування насадка проводилися на лабораторній моделі, яка представляла наступну конструкцію. Насадка приєднувалась до рукоятки і гнучкого шлангу, який в свою чергу був приєднаний до витратоміра типу ГКФ ГОСТ 5364-50 (клас похибки 0,5% від значення витрати повітря, що вимірюється). Витратомір приєднувався до збудника тяги (побутовий пилосос), з можливістю регулювання його продуктивності.

Методика експерименту полягає в наступному. За допомогою збудника тяги забезпечувався рух повітря крізь насадок і, за допомогою витратоміра визначалися витрати повітря Q . За даними витрат повітря Q розраховувалася швидкість повітря $V_{щ}$ у всмоктувальній щілині насадка

$$V_{щ} = Q/(L_{щ}b_{щ}), \quad (15)$$

де Q - витрати повітря, m^3/c ; $b_{щ}$ - ширина всмоктувальної щілини, м.

При кожному режимі роботи збудника тяги п'ятикратно вимірювався статичний напір в порожнині насадка уздовж осі Y (див. рис 1) на відстанях $Y=0; 32; 64; 99; 124$ мм від патрубка насадка. На підставі вимірів для кожного режиму розраховувалися середні значення статичного напору в рукоятці. Динамічний напір в рукоятці діаметром $d_p = 36$ мм вимірювався трубкою

Піто-Пранделя на відстані $0,111d_p \approx 4$ мм від стінки труби рукоятки [7]. Одночасно реєструвалися витрати повітря за допомогою витратоміра.

Обробка результатів експерименту проводилася за наступною методикою. Середня швидкість повітря в рукоятці розраховувалася за формулою

$$V_p = \sqrt{(2h_p \rho_p g) / \rho_{пов}}, \quad (16)$$

де h_p – висота водяного стовпа в манометричній трубці, м; ρ_p – густина води, $\rho_p = 1000$ кг/м³; $\rho_{пов}$ – густина повітря, $\rho_{пов} = 1,2$ кг/м³.

Швидкість повітря у всмоктувальній щілині насадка розраховувалася на підставі закону про нерозривність повітряного потоку за формулою

$$V'_{щ} = (V_p S_p) / S_{щ}, \quad (17)$$

де S_p – площа перетину рукоятки, м².

Далі порівнювалися значення $V'_{щ}$, визначеним за швидкісним напором в рукоятці за формулою (17) зі значенням $V_{щ}$, визначеним за допомогою показників витратоміра за формулою (15). Якщо відомі витрати повітря Q і його швидкість $V'_{щ}$, то коефіцієнт місцевого опору входу повітря в насадок розраховувався за формулою

$$\zeta = [(2h'_{щ} \rho_p g) / \rho_{пов}] \cdot [S'_{щ} / (S_{щ} V'_{щ})]^2 - 1, \quad (18)$$

де $h'_{щ}$ – розрідження в перерізі корпусу насадка, м; $S'_{щ}$ – площа перерізу корпусу насадка, м².

Якщо припустити, що коефіцієнт витрат повітря $\mu(Y)$ в довільному перетині корпусу насадка

$$\mu(Y) = 1 / \sqrt{1 + \zeta} \quad (19)$$

не буде змінюватися внаслідок малої довжини насадка, то відносне значення швидкостей $\bar{V}(Y) = V(Y) / \bar{V}_{щ}$ через статичне розрідження $h(Y)$ буде визначатися із закономірності

$$\bar{V}(Y) = S_{щ} / S(Y) \cdot \sqrt{h'_{щ} / h(Y)}. \quad (20)$$

З іншого боку, теж саме значення швидкості $\bar{V}(Y)$ можна визначити з відношення перетинів

$$\bar{V}(Y) = S_{щ} / S(Y). \quad (21)$$

В табл. 1 наведено остаточні розрахунки параметрів $\zeta, V_{щ}, V'_{щ}, S(Y)$, а також $\bar{V}(Y)$, розрахованих за формулами (20) і (21), відповідно, для різних швидкостей $V_{щ}$ у всмоктувальній щілині насадка.

Таблиця 1

Результати аеродинамічних випробувань насадка

| Швидкість повітря у всмоктувальній щілині насадка, м/с ($S_{щ} = 1,175 \cdot 10^{-3}$ м ²) | | | $V_{щ}$ (за даними витратоміра), м/с | | | | | | | | |
|--|------|------|--|----------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|--|
| | | | 17,34±0,72 | | 20,62±0,81 | | 22,37±0,67 | | | | |
| Коефіцієнт місцевого опору входу повітря в насадку, ζ | | | $V'_{щ}$ (за швидкісним напором в рукоятці), м/с | | | | | | | | |
| | | | 17,16±0,84 | | 20,23±0,73 | | 22,16±0,95 | | | | |
| $Y \cdot 10^3$, м | | | 3,48±0,46 | | | 4,48±0,28 | | | 4,37±0,19 | | |
| | | | $S(Y) \cdot 10^3$, м ² | $S_{щ} / S(Y)$ | $h(Y) \cdot 10^3$, м | $\bar{V}(Y)$ (20) | $h(Y) \cdot 10^3$, м | $\bar{V}(Y)$ (20) | $h(Y) \cdot 10^3$, м | $\bar{V}(Y)$ (20) | |
| 0 | 1,44 | 0,82 | 30 | 0,72 | 47 | 0,75 | 58 | 0,73 | | | |
| 32 | 1,36 | 0,86 | 26 | 0,72 | 44 | 0,72 | 53 | 0,71 | | | |
| 64 | 1,53 | 0,77 | 25 | 0,67 | 37 | 0,72 | 46 | 0,70 | | | |
| 99 | 1,59 | 0,74 | 25 | 0,65 | 41 | 0,66 | 51 | 0,65 | | | |
| 124 | 1,28 | 0,92 | 20 | 0,75 | 34 | 0,75 | 40 | 0,75 | | | |

Аналіз результатів аеродинамічних випробувань насадка дозволяє встановити наступне. Коефіцієнт ζ місцевого опору входу повітря крізь всмоктувальну щілину насадка змінюється у межах $\zeta \in (3,02-4,56)$. Для інженерних розрахунків мереж пилоприбиральних установок можна рекомендувати значення $\zeta \approx 5$ для забезпечення більш ефективної роботи пилоприбирального насадка.

Припущення про те, що коефіцієнт витрат повітря $\mu(Y)$ в довільному перетині корпусу насадка (див. формулу 19) буде постійним не підтвердилось.

Доказом цього є незбіг значень відносної швидкості $\bar{V}(Y)$, розрахованої за формулою (20), зі значеннями $S_{щ}/S(Y)$ (табл. 1).

Змінність значень коефіцієнта $\mu(Y)$ пояснюється тим, що у напрямку руху повітря крізь порожнину насадка площі перетинів збільшувалися від значення $S_{щ} = 1,175 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ до максимуму $S(0,099) = 1,59 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$, а потім знов зменшувалися до значення $S(0,124) = 1,28 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

Крім непостійних площ перетинів у дослідницькому зразку насадка, опір руху повітря в його порожнині чинять сили тертя об стінки корпусу, які під час досліджень не враховувалися.

Уточнюємо конструктивні параметри насадка, скориставшись формулами (2) і (3). При заданій довжині всмоктувальної щілини $L_{щ} = 240 \text{ мм}$ і розміру патрубку $38 \times 38 \text{ мм}$ уточнюємо ширину щілини $b_{щ}$, скориставшись формулою (3)

$$b_{щ} = \frac{38 \cdot 38}{240} \approx 6 \text{ мм.}$$

Радіус твірної бокової поверхні корпусу R визначаємо, згідно рекомендацій Курникова А.А. [5,6] за формулою (2)

$$R = 0,65 (240 - 38) = 131 \text{ мм}$$

Висоту корпусу насадка H_n визначаємо за формулою (7)

$$H_n = 0,632 \cdot (240 - 38) = 128 \text{ мм}$$

Площа всмоктувальної щілини насадка буде складати $S_{щ} = 240 \times 6 = 1440 \text{ мм}^2$ і вона буде дорівнювати площі перерізу патрубку $S_n = 38 \times 38 = 1444 \text{ мм}^2$.

Розрахунки перерізів $S(Y)$, виконані за формулами (10) - (12) для $a = 1$ наведено в табл. 2.

Аналіз результатів теоретичних розрахунків $S_{щ}/S_{щ}(Y)$ вказує на те, що як би дослідницький насадок був виготовлений згідно рекомендованим параметрам, мм: $b_{щ}=6$; $L_{щ} = 240$; $R=131$; $H_n=128$; (замість $b_{щ}=4,9$; $L_{щ} = 240$; $R=133$; $H_n=129$), то в такому насадку умова ізокінетичності руху повітря не відповідала на 13% для перетину на відстані 99 мм.

В дослідницькій моделі насадка умова ізокінетичності руху повітря не відповідала на 26%, тобто повітряний потік в корпусі насадка уповільнюється в 1,4 рази порівняно із швидкістю повітря у всмоктувальній щілині (при $Y=99 \text{ мм}$).

Таблиця 2

Розрахункові значення площ $S_{щ}(Y)$ поперечних перерізів корпусу насадка, виконаних по формі прямокутника

| Y, мм | Значення параметрів | | | $S_{щ}/S_{щ}(Y)$ (рекомендоване) | $S_{щ}/S_{щ}(Y)$ (дослідницьке) |
|-------|---------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | $L_{щ}(Y)$, мм | $b_{щ}(Y)$, мм | $S_{щ}(Y)$, мм ² | | |
| 0 | 38 | 38 | 1444 | 1 | 0,82 |
| 32 | 46 | 30 | 1380 | 1 | 0,86 |
| 64 | 71 | 22 | 1562 | 0,92 | 0,77 |
| 99 | 128 | 13 | 1664 | 0,87 | 0,74 |
| 124 | 216 | 7 | 1512 | 0,95 | 0,92 |
| 128 | 240 | 6 | 1440 | 1 | - |

Оскільки дослідження підтвердили правильність аналітичної моделі рекомендованих параметрів насадка, то під час його проектування в табл. 3 наведені данні розрахунків відносних площ $\bar{S}(Y)$ порожнини насадка в залежності від діаметра патрубку d_n і відповідних розмірів довжини щілини $L_{щ}$ і ширини щілини $b_{щ}$

$$\bar{S}(Y) = S_{щ}(Y)/S_{щ}, \quad (22)$$

для відносних висот

$$\bar{Y} = Y/H_n. \quad (23)$$

Аналіз результатів розрахунку показує наступне. Якщо при переході від круглого перерізу патрубку до всмоктувальної щілини перерізи корпусу насадка виконувати прямокутної форми, то на відстані від патрубка, для $\bar{Y} = 0,2-0,6$ площі перерізів збільшуються. При цьому, збільшення площі перерізу у порівнянні з площею всмоктувальної щілини може сягати 38 %. Відповідно, при такій формі порожнини насадка умова ізокінетичності дотримуватися не буде.

Розрахунок площ перерізів порожнини насадка
(в чисельнику - для прямокутної форми, в знаменнику - для еліпсоподібної форми)

| d_n , мм | $b_{щ}$, мм | $L_{щ}$, мм | $H_{щ}$, мм | $S_{щ}$, мм ² | \bar{Y} | | | | | |
|------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| | | | | | 0 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 |
| | | | | | $\bar{S}(Y)$ | | | | | |
| 32 | 5 | 160,70 | 81,38 | 803,85 | $\frac{1,0}{1,0}$ | $\frac{1,16}{0,91}$ | $\frac{1,18}{0,92}$ | $\frac{1,24}{0,98}$ | $\frac{1,21}{0,94}$ | $\frac{1,0}{-}$ |
| 32 | 8 | 100,42 | 43,28 | 803,84 | $\frac{1,0}{1,0}$ | $\frac{1,14}{0,89}$ | $\frac{1,08}{0,84}$ | $\frac{1,06}{0,83}$ | $\frac{1,03}{0,81}$ | $\frac{1,0}{-}$ |
| 36 | 5 | 203,5 | 105,9 | 1017 | $\frac{1,0}{1,0}$ | $\frac{1,18}{0,93}$ | $\frac{1,23}{0,96}$ | $\frac{1,31}{1,03}$ | $\frac{1,29}{1,01}$ | $\frac{1,0}{-}$ |
| 36 | 8 | 127,2 | 57,6 | 1017 | $\frac{1,0}{1,0}$ | $\frac{1,14}{0,89}$ | $\frac{1,11}{0,87}$ | $\frac{1,11}{0,87}$ | $\frac{1,09}{0,86}$ | $\frac{1,0}{-}$ |
| 40 | 5 | 251,2 | 133,5 | 1256 | $\frac{1,0}{1,0}$ | $\frac{1,19}{0,93}$ | $\frac{1,27}{0,99}$ | $\frac{1,38}{1,08}$ | $\frac{1,35}{1,05}$ | $\frac{1,0}{-}$ |
| 40 | 8 | 157,0 | 73,9 | 1256 | $\frac{1,0}{1,0}$ | $\frac{1,15}{0,90}$ | $\frac{1,13}{0,89}$ | $\frac{1,14}{0,89}$ | $\frac{1,10}{0,86}$ | $\frac{1,0}{-}$ |

Перехід від круглої форми патрубку діаметром d_n до прямокутної щілини, виконаний по еліпсоподібним перерізам з більшою піввіссю $L_{щ}(Y)$ і малою піввіссю $b_{щ}(Y)$, буде давати дещо занижені значення площ у порівнянні з площею всмоктувальної щілини. Тому найбільш відповідною формою перерізу порожнини корпусу насадка є форма овалу. В цьому випадку значення площ перерізів будуть дуже близькими до значень площі всмоктувальної щілини та площі перерізу патрубка, і в насадку буде дотримуватися умова ізокінетичності для повітряного потоку.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Отже, зменшення довжини всмоктувальної щілини повинно відбуватися за рахунок звуження порожнини корпусу, обмеженої вертикальними поверхнями, виконаними по дугах двох кіл, а ширину всмоктувальної щілини необхідно збільшувати до діаметра патрубка між клиновидними вертикальними поверхнями, що розширюються.

Аналітичне дослідження довільних площ перетинів $S(Y)$ порожнини насадка та експериментальні виміри швидкостей повітряних потоків у цих перетинах показали, що для досягнення в ньому принципу ізокінетичності необхідно, щоб перехід від всмоктувальної щілини до вихідного патрубка здійснювався за овальним сполученням горизонтальних і вертикальних поверхонь, виконаних вказаним способом.

Список літератури

1. Баулина Е.Г. Исследование пылесосных насадков//Научные работы Академии коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова. Механизация работ по благоустройству городов. - М.: 1960. - С. 134-154.
2. Сабельников М.В. Смыловсасывающий насадок//Промышленная вентиляция и большая химия. Материалы семинара МДНТП им. Ф.Э. Дзержинского. - М.: 1965. - С. 23-30.
3. Пашунов И.С. Исследование водопылесосных насадков//Вакуумная пылеуборка: Материалы семинара. - М.:МДНТП им. Ф.Э.Дзержинского, 1972. - С. 105-113.
4. Грачев Ю.Г. Исследование процесса уноса пыли с поверхности применительно к пылесосным насадкам вакуумных систем пылеуборки: Автореф. дис. к-та техн.наук: 05.23.03/Уральский политех.ин-т им. С.М.Кирова. - Свердловск, 1974. - 20 с.
5. Курников А.А. Пневматическая пылеуборка цехов машиностроительных заводов./ Курников А.А., Курников В.А. - М.: Машиностроение, 1983. - 152 с.
6. Курников А.А. Вакуумный способ удаления пыли из помещений щебеночных заводов./ Курников А.А., Терентьев И.В. - М.: «Транспорт», 1969. С.14-15.
7. Альтшуль А.Д. Гидравлика и аэродинамика. Основы механики жидкостей./Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. - М.: Стройиздат, 1975.- 323 с.
8. А. с. 1489715 СССР, А 47 L 9/02. Пылеуборочный насадок / В.А.Минко, С.А. Трищенко, В.Г. Чертов (СССР). - № 4246486/31-12. ; заявлено 19.05.87 ; опубл. 30.06.89.
9. А. с. 1646539 СССР, А 47 L 9/02. Насадок для уборки криволинейных поверхностей / В.А. Зайцев, С.А. Трищенко (СССР). - № 4688131/12 ; заявлено 05.05.89 ; опубл. 07.05.91, Бюл. № 17.
10. А. с. 1220632 СССР, А 47 L 9/02. Насадок к пылесосу / Т.Ф. Чернов (СССР). - №3790301/28-12 ; заявлено 17.09.84 ; опубл. 30.03.86, Бюл. №12.
11. А. с. 1546079 СССР, А 47 L 9/02. Пылеуборочный насадок / В.А.Минко, С.А.Трищенко, В.Г.Чертов (СССР). - №4428602/31-12 ; заявлено 24.05.88 ; опубл. 28.02.90, Бюл. №8.

Рукопис подано до редакції 27.03.15

Ю.Г. ОСАДЧУК, канд. техн. наук, доц., И.А. КОЗАКЕВИЧ, ст. преподаватель,
И.Ю. ЛИСЮТЕНКО, магистрант, Криворожский национальный университет

АНАЛИЗ ПУЛЬСАЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА ДВУХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Асинхронный двухфазный электропривод является одним из наиболее перспективных для привода малых мощностей. В работе рассмотрены основные схемы, используемые в регулируемом электроприводе на базе двухфазного асинхронного двигателя, к их числу относится питание от трехфазного инвертора напряжения, а также схема на базе матричного преобразователя. Обосновано, что более целесообразной по экономическим соображениям является схема, предусматривающая питание двигателя от трехфазного инвертора. Для этой схемы проведен анализ способов формирования выходного напряжения с помощью широтно-импульсной модуляции. Для варианта, предполагающего использование пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции, на основании спектрального анализа получен гармонический состав напряжений и токов двигателя, а также оценены пульсации электромагнитного момента. Доказано, что наличие таких пульсаций приводит к существенному снижению показателей качества регулирования системы управления электроприводом. Путем анализа уравнений, описывающих состояние двухфазной асинхронной машины, получены аналитические зависимости для статорных и роторных токов, а также электромагнитного момента машины. Результаты подтверждены моделированием методом конечных элементов в среде Ansoft Maxwell, а также с использованием модели с сосредоточенными параметрами в среде Matlab/Simulink.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Электрические приводы малой мощности, получающие питание от однофазного напряжения, которые используются в различных промышленных и бытовых установках, в данное время все чаще базируются на двухфазных двигателях, которые по своим характеристикам не отличаются от трехфазных. Но, в то же время, они имеют некоторые преимущества, которые касаются более простой схемы обмоток, что имеет большое значение при их автоматизированном производстве [1-5]. Двухфазные двигатели в данный момент изготавливаются либо как асинхронные с короткозамкнутым ротором, либо как синхронные с постоянными магнитами. Они очень распространены в качестве приводных двигателей насосов в стиральных и посудомоечных машинах, а также в циркуляционных насосах для центрального отопления жилых помещений. В этом случае постоянные магниты изготавливаются устойчивыми к влиянию воды и щелочных жидкостей, что позволяет сделать насос абсолютно водонепроницаемым. Статорные обмотки конфигурируются в последовательную или параллельную двухфазную систему и, как правило, являются одинаковыми по параметрам. Обмотки, которые формируют одну фазу, соединяются таким образом, чтобы создавать противоположную друг другу магнитную полярность.

Анализ исследований и публикаций. На рис. 1 представлена структура силовой цепи двухфазного преобразователя, получающего питание от однофазной цепи [4]. Инвертор состоит из трех транзисторных цепей, питающих его выходные клеммы.

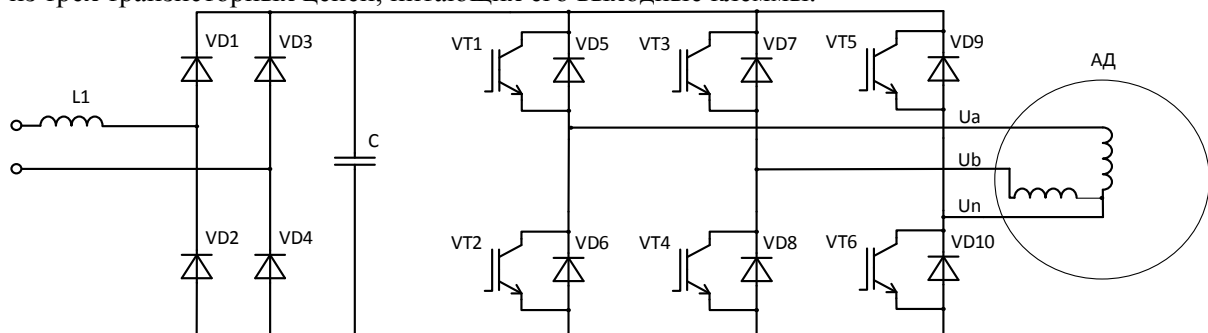


Рис. 1. Структура силового преобразователя для двухфазного асинхронного двигателя на базе трехфазного инвертора

Первая цепь формирует общую точку для двух фаз двигателя. Кроме того, в регулируемом двухфазном электроприводе используется схема на основе матричного преобразователя, представленная на рис. 2. Уменьшение потерь в силовой части привода, которое достигается за счет применения мягкой коммутации, не оправдывает увеличения количества силовых элементов и

усложнение алгоритма управления приводом, поэтому применение данной схемы существенно ограничено [7].

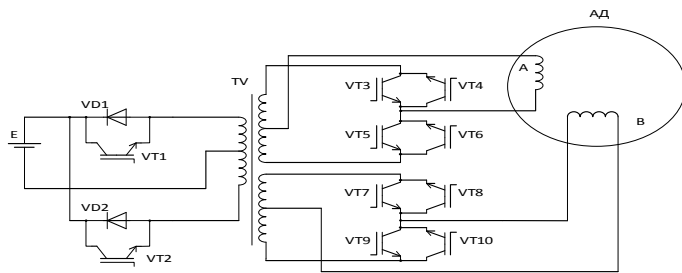


Рис. 2. Структура силового преобразователя для двухфазного асинхронного двигателя на базе матричной топологии

Постановка задачи. Проанализировать адекватность математической модели, основанной на теории идеализированной электрической машины, для оценки пульсаций электромагнитного момента путем дискретно-

полевого моделирования двухфазного асинхронного двигателя, получающего питание от неидеального источника питания.

Изложение материала и результаты. Для построения математической модели двухфазного инвертора было использовано комплексное преобразование Фурье.

В разработанной модели были сделаны следующие допущения:

1. Силовые ключи способны коммутировать ток бесконечно большой величины.
2. В закрытом состоянии силовые ключи выдерживают бесконечно большое напряжение.
3. Падение напряжения на открытом ключе равно нулю.
4. Ток утечки через закрытый ключ равен нулю.

5. Задержки включения и выключения ключей отсутствуют. 6. Входной конденсатор инвертора имеет достаточную емкость. Это позволяет считать, что инвертор получает питание напряжением, которое остается постоянным при любой нагрузке. Эти допущения позволяют нам упростить анализ цепи питания двигателя и построить статическую математическую модель инвертора в установившемся режиме работы.

Управление инвертором осуществляется с помощью классической пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции, которая модифицирована для работы с двухфазной системой.

Кривая, которая формируется с помощью широтно-импульсной модуляции, содержит гармонические составляющие низкого порядка.

Таким образом, если желаемой формой средней величины выходного напряжения есть синусоидальная, то необходимо влиять на два параметра: коэффициент модуляции по напряжению, который определяется отношением амплитуды заданного напряжения к напряжению звена постоянного тока преобразователя, а также коэффициент модуляции по частоте, который определяется отношением частоты модуляции к заданной выходной частоте инвертора.

Как и в случае пространственно-векторной модуляции для трехфазного инвертора, питающего трехфазный двигатель, в данном случае имеется шесть устойчивых состояний, которые обеспечивают ненулевую величину напряжения на выходе, а также два состояния, которые соответствуют нулевому напряжению [6,7].

Отличие заключается в том, что эти вектора не являются равными по величине: часть из них равна напряжению звена постоянного тока U_{dc} , а часть – $\sqrt{2}U_{dc}$.

Коэффициенты модуляции по напряжению для трех плеч инвертора при желаемой выходной форме среднего напряжения за период модуляции, соответствующего синусоиду, описываются следующими выражениями

$$m_a(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} m \cos(2\pi ft); \quad m_b(t) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} m \cos(2\pi ft); \quad m_n(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} m \sin(2\pi ft),$$

где $m_a(t)$, $m_b(t)$, $m_n(t)$ - коэффициенты модуляции для плеча, питающего фазу А двигателя, фазу В двигателя, а также нулевую точку, соответственно; m – коэффициент модуляции, определяемый отношением амплитуды желаемого выходного напряжения инвертора к напряжению звена постоянного тока; f - частота выходного напряжения инвертора.

Переключающая функция каждого плеча инвертора формируется путем сравнения текущего значения коэффициента модуляции с пилообразной кривой опорного напряжения, которая описывается следующим образом

$$s(t) = f_k t - \text{trunc}(f_k t),$$

где f_k - частота коммутации ключей инвертора, $trunc()$ - функция округления путем отбрасывания дробной части.

Тогда переключающие функции плеча инвертора определяются так

$$s_a(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } m_a(t) \geq s(t); \\ 0, & \text{если } m_a(t) < s(t). \end{cases} \quad s_b(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } m_b(t) \geq s(t); \\ 0, & \text{если } m_b(t) < s(t). \end{cases} \quad s_n(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } m_n(t) \geq s(t); \\ 0, & \text{если } m_n(t) < s(t). \end{cases}$$

Разность потенциалов между соответствующей выходной клеммой инвертора и отрицательной шиной звена постоянного тока

$$u_a(t) = U_{dc} s_a(t); \quad u_b(t) = U_{dc} s_b(t); \quad u_c(t) = U_{dc} s_c(t).$$

Фазные напряжения двигателя

$$u_{an}(t) = u_a(t) - u_n(t); \quad u_{bn}(t) = u_b(t) - u_n(t).$$

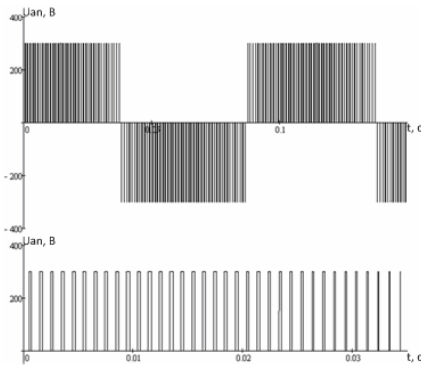


Рис. 3. Форма фазного напряжения двигателя

Двухфазный асинхронный двигатель может быть описан следующей системой дифференциальных уравнений в системе отсчета, которая является неподвижной относительно статора машины

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt} &= u_{s\alpha} - R_s i_{s\alpha}; & \frac{d\psi_{s\beta}}{dt} &= u_{s\beta} - R_s i_{s\beta}; \\ \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} &= u_{r\alpha} - R_r i_{r\alpha} - \omega_r \psi_{r\beta}; & \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} &= u_{r\beta} - R_r i_{r\beta} + \omega_r \psi_{r\alpha}; \\ \psi_{s\alpha} &= L_s i_{s\alpha} + L_m i_{r\alpha}; & \psi_{s\beta} &= L_s i_{s\beta} + L_m i_{r\beta}; \\ \psi_{r\alpha} &= L_m i_{s\alpha} + L_r i_{r\alpha}; & \psi_{r\beta} &= L_m i_{s\beta} + L_r i_{r\beta}; \\ M &= p L_m (i_{s\beta} i_{r\alpha} - i_{s\alpha} i_{r\beta}) \end{aligned}$$

Запишем систему уравнений в векторной форме

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{\psi}_s}{dt} &= \bar{u}_s - R_s \bar{i}_s; & \frac{d\bar{\psi}_r}{dt} &= \bar{u}_r - R_r \bar{i}_r - j\omega_r \bar{\psi}_r; \\ \bar{\psi}_s &= L_s \bar{i}_s + L_m \bar{i}_r; & \bar{\psi}_r &= L_m \bar{i}_s + L_r \bar{i}_r. \end{aligned}$$

Выполнив математические преобразования, получим выражения для токов статора и ротора двухфазного асинхронного двигателя в статическом режиме

$$\begin{aligned} \bar{i}_s &= \frac{\bar{u}_s \left(\frac{R_r}{\omega - \omega_r} + j\omega L_r \right)}{\left(R_s + j\omega L_s \right) \left(\frac{R_r}{\omega - \omega_r} + j\omega L_r \right) - \omega^2 L_m^2}; \\ \bar{i}_r &= \frac{\bar{u}_s j\omega L_m \left(j\omega L_r + \frac{R_r}{\omega - \omega_r} \right)}{\left(R_s + j\omega L_s \right) \left(j\omega(L_r - L_m) + \frac{R_r}{\omega - \omega_r} \right) \left(\frac{R_r}{\omega - \omega_r} + j\omega L_r \right) - \omega^2 L_m^2 \left(j\omega(L_r - L_m) + \frac{R_r}{\omega - \omega_r} \right)}. \end{aligned}$$

Полученные выражения позволяют синтезировать передаточную функцию двухфазного двигателя по каналу напряжение статора – ток статора (ротора), а в дальнейшем получить амплитудно-частотные характеристики для исследования соотношения между величинами гармоник разных частот.

Поскольку электромагнитный момент двигателя возникает в результате взаимодействия поля, создаваемого током статора, и тока ротора, то, анализируя гармонический спектр статорных и роторных токов (рис. 4,5), получим значения величин гармоник, возникающих в электромагнитном моменте двигателя (рис. 6).

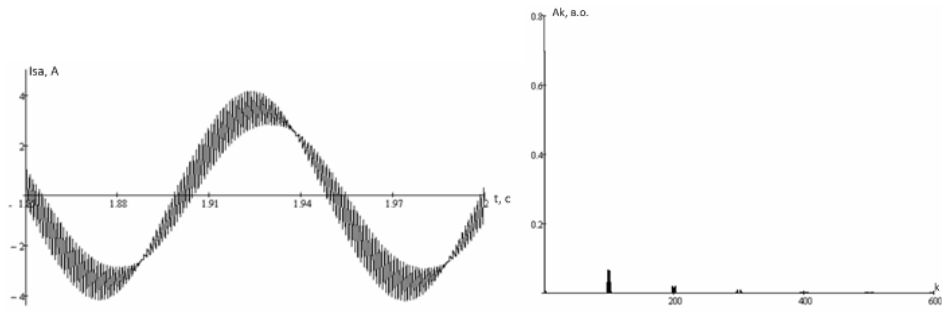


Рис. 4. Форма статорного тока двухфазного двигателя и его частотный спектр

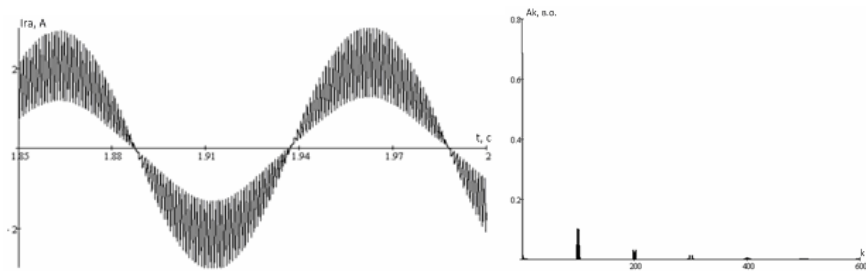


Рис. 5. Форма роторного тока двухфазного двигателя и его частотный спектр

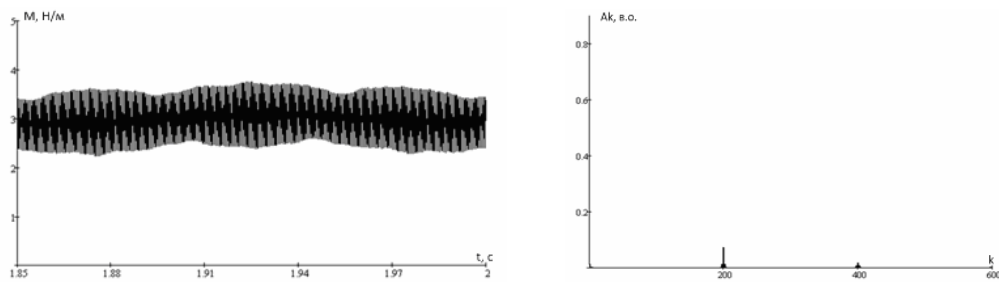


Рис. 6. Форма электромагнитного момента двухфазного двигателя и его частотный спектр

Для анализа гармоник, возникающих в результате сложной геометрии машины, воспользуемся моделью в среде Ansoft Maxwell 3D, представленной на рис. 7.

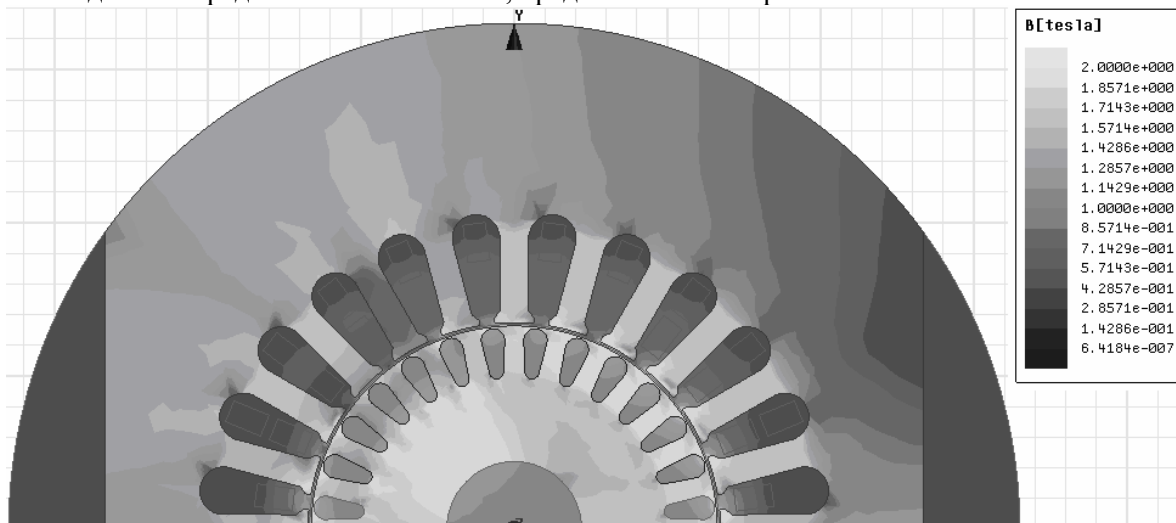


Рис. 7. Математическая модель двухфазного двигателя в среде Ansoft Maxwell

Силовая часть привода моделировалась в среде Simplorer.

В результате выполненного анализа было установлено, что наиболее значимым источником такого рода гармоник является наличие дискретных стержней ротора, а зависимости, кото-

рыми описываются частоты наиболее заметных составляющих, соответствуют аналогичным для трехфазных асинхронных машин.

Выводы и направление дальнейших исследований. 1. Использование двухфазных асинхронных двигателей для приводов небольшой мощности более целесообразно, чем трехфазных, из-за простоты конструкции и дешевизны.

2. Алгоритмы пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции для случая питания двухфазного двигателя от трехфазного инвертора требует модификации порядка расчета времен включения базовых векторов.

3. Сравнение результатов моделирования, проведенных методом конечных элементов, с аналогичными, полученными путем моделирования двухфазного двигателя путем решения дифференциальных уравнений, полученных на основе теории идеализированной электрической машины, позволяют сделать вывод относительно того, что использование модели с сосредоточенными параметрами не приводит к существенному снижению точности, хотя и не учитывает наличие пространственных гармоник, но позволяет существенно упростить процесс расчета.

Список литературы

1. Синчук О.Н., Юрченко Н.Н., Чернышев А.А. и др. Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровозов / Под ред. О.Н. Синчука. – К., 2006. – 252 с.
2. Гузов Э.С., Омельченко А.В. Двухфазный асинхронный тяговый электропривод рудничных электровозов // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. 4/2011 (16). – С. 90–95.
3. Омельченко А.В. Модельные исследования двухфазного тягового электропривода рудничного электровоза // Електромеханічні та енергозберігаючі системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць X Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів. – Кременчук: КрНУ, 28–29 марта 2012. – С. 257–258.
4. Zaskalicky P., Dobrucky B. Analytical method of a torque ripple calculation for two-phase IM supplied by three-leg SPWM inverter // International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2014, pp. 731–736.
5. Blaabjerg F., Lugeanu F., Skaug K., Tonnes M. Two-phase induction motor drives // IEEE Industry Applications Magazine, Vol. 10/4, 2004, pp. 24–32.
6. Tomaselli L.C., Lazzarin T.B., Martins D.C., Barbi I. Application of the vector modulation in the symmetrical two-phase induction machine drive // IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2005, pp. 1253–1258.
7. Kascak S., Zaskalicky P., Dobrucky B., Prazenica M. Two-phase space vector modulation of FOC controlled ASM fed by 2-phase VSI inverter // 15th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2012, pp. 131–135.

Рукопись поступила в редакцию 12.03.15

УДК 622.274.3.

А.С. ГРОМАДСКИЙ, Б.И. РИМАРЧУК, доктора техн. наук, проф.,

Ю.Г. ГОРБАЧЕВ, канд. техн. наук, доц.,

Д.И. КУЗЬМЕНКО, ассистент, Криворожский национальный университет

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЭТАЖНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Разработана и испытана в промышленных условиях новая технология бурения скважин, при которой компенсационная скважина увеличенного диаметра не заряжается, а выполняет во врубе роль дополнительной обнаженной полости. Уточнены параметры вруба и схемы бурения забоя. Разработан новый буровой инструмент для формирования компенсационных скважин как в одну, так и в две стадии, у которого скорость бурения выше в 1,9 раз, а скорость износа меньше в 1,53 раза. Рекомендованы формулы для расчета расстояния между взрывааемым шпуром и компенсационной полостью в зависимости от крепости породы. В результате применения новой технологии бурения скважин количество шпуров при бурении в забое по породам средней крепости $f=10-12$ по шкале проф. М.М. Протодьяконова уменьшено в 1,2 раза, количество шпуров подлежащих заряданию как для пород средней крепости $f=10-12$, так и для крепких пород $f=15-18$ уменьшено в 1,08 раз. КИШ при стандартной схеме проходки забоя сечением $5,7 \text{ м}^2$ по породам средней крепости $f=10-12$ составляет 0,75, а по крепким породам $f=15-18$ – 0,92. В результате применения новой технологии проходки забоя такого же сечения достигнуты коэффициенты использования шпуров по породам средней крепости $f=10-12$ (с одной компенсационной скважиной) – 0,9, а по крепким породам $f=15-18$ (с двумя компенсационными скважинами) – 1,0.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Объем проведения подэтажных выработок, составляет 60% от общего объема проходческих работ на шахтах. Сложность проведения нарезных выработок обуславливается специфическими условиями, в которых осуществляется этот процесс, а именно зажимом забоя выработки при малой плоскости забоя, малый размер свободного пространства выработки, который не позволяет применять мощное буровое оборудование. Соответственно и эффективность взрывных работ в таких условиях относительно невысокая.

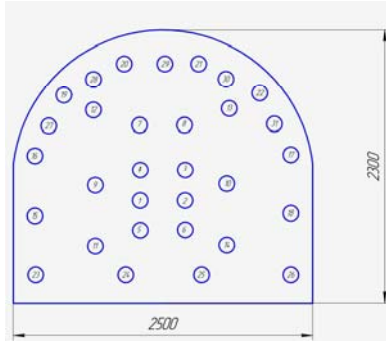


Рис. 1. Стандартная сетка шпуров забоя сечением 5,7 м²

Установлено, что КИШ при стандартной схеме проходки забоя (рис. 1) сечением 5,7 м² ш. им. Ленина по породам средней крепости $f=10-12$ составляет 0,75, а по крепким породам $f=15-18 - 0,92$. Это имеет серьезные негативные экономические последствия в связи с неэффективным использованием ресурсов, которые теряются на буровзрывные работы.

Анализ исследований и публикаций. Наиболее существенное влияние на показатели и темпы проведения горных выработок оказывает глубина отбойки за цикл [1].

Одним из наиболее эффективных путей, обеспечивающих увеличение глубины отбойки, является применение компенсационных скважин [2]. Применение этих скважин дают такие возможности:

- повышение мощности взрыва на каждом единичном шпуре. Это позволяет снизить общее количество пробуренных шпуров в проходческом забое и уменьшить количество ВВ, патронов боевиков, медных проводов;

- получается более гладкий и правильный по форме забой после взрыва;

- уменьшается выход негабарита и разброс породы при взрыве;

- образование оконтуривающих шпуров с максимальным уменьшением прочности на контуре выработки благодаря снижению монолитности компенсационными скважинами.

Необходимо отметить, что наряду выше отмеченными возможностями, которые предоставляет использование компенсационных скважин при их использовании возникает серьезная проблема. Эта проблема заключается в несовершенстве бурового инструмента для бурения компенсационных скважин.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является разработка эффективного породоразрушающего инструмента для бурения компенсационных скважин, а также определение рационального расположения компенсационных скважин во врубе.

Изложение материала и результаты. Эффективность отбойки на компенсационное пространство, имеющее относительно небольшие размеры, зависит главным образом от рационального расположения компенсационных скважин во врубе. По этому рекомендуется для крепких пород с коэффициентом крепости $f=18$ расстояние между взрываемым шпуром и компенсационной полостью устанавливать в диапазоне следующих значений

$$a_1 = (4,5-5,5) D$$

где a_1 - расстояние между центрами первого "боевого" шпура и компенсационной полостью, см; D - диаметр компенсационной скважины или шпура, см.

В пластичных вязких породах (склонных к запрессовке) целесообразно принимать значение, близкое к нижнему пределу; в хрупких породах расстояние может быть несколько больше.

Аналогичные значения следует принимать и для схем с несколькими компенсационными скважинами (шпурами).

На рис. 2 показаны варианты рационального расположения компенсационных скважин во врубе при бурении на подэтажных выработках.

Для пород средней крепости $f=10-12$ целесообразно применять схему с одной компенсационной скважиной (рис. 2а), а для крепких пород $f=15-18$ - схему с двумя компенсационными скважинами (рис. 2б).

Известен способ образования компенсационных скважин методом расширения ранее пробуренных шпуров для превращения их в компенсационные скважины [3].

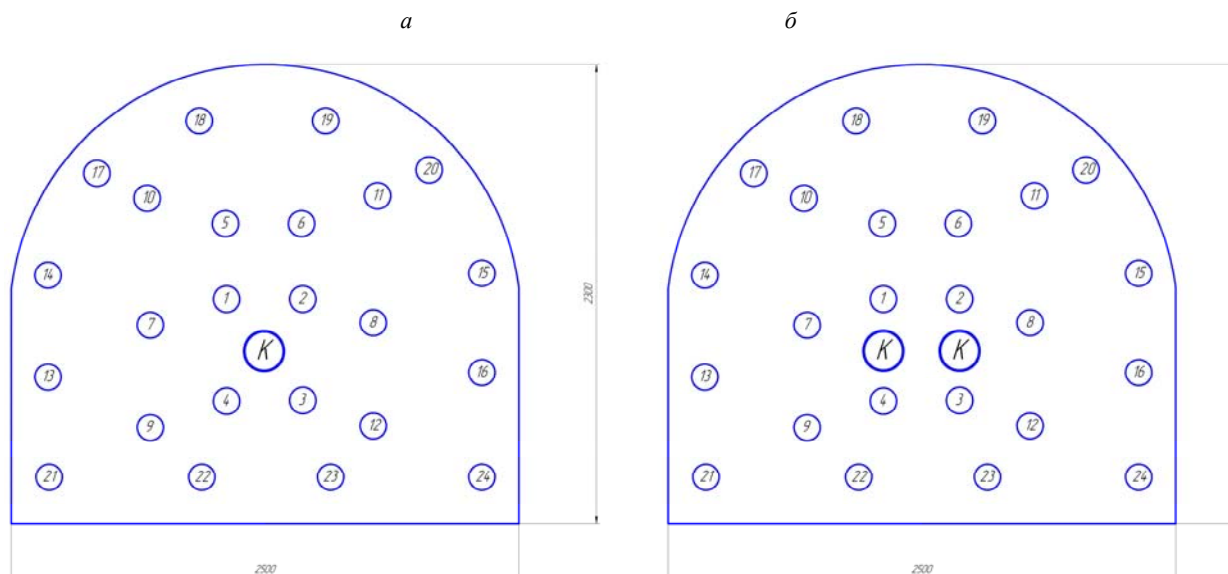


Рис. 2. Рациональное расположения компенсационных скважин во врубе:
a – с одной компенсационной скважиной; *б* – с двумя компенсационными скважинами

Для реализации данного способа предусмотрено применение коронки с расширяющей частью, в передней части которой используют направляющий центратор, вставляемый в предварительно пробуренный шпур в первой стадии - коронки КРР-65, серийно выпускаемой ЗАО «Бинур», рис. 3.



Рис. 3. Общий вид коронки КРР-65

К недостаткам данного способа следует отнести необходимость бурения в две стадии. В первой стадии бурится шпур коронкой $\varnothing 40-42$ мм, а затем осуществляется расширение скважины до $\varnothing 60-70$ мм коронкой с расширяющей частью КРР-65. У нее низкая эффективность передачи ударных импульсов от буровой штанги, по которой наносит удары поршень - ударник перфоратора. Ударные импульсы трансформируются в волну напряжения, которая пройдя буровую штангу через конусное сопряжение штанга-коронка, передается на корпус коронки КРР-65 и далее на ее расширяющую часть. На этом участке происходят основные потери энергии ударных импульсов из-за несовершенной формы перехода корпуса коронки на ее расширяющую часть, а также несовершенной лезвийной формы ее породоразрушающих элементов и нерациональной треугольной формы пазов для выноса шлама. Такая форма пазов не только не обеспечивает необходимую очистку забоя от шлама, который повторно измельчается твердосплавным вооружением коронки, увеличивая износ всех элементов коронки, но и снижает передачу энергии ударов поршня перфоратора на лезвия коронки.

Кроме того направляющий стержень вследствие того, что он не прижат к забюю, а находится в уже пробуренном шпуре под действием ударных волн, проходящих через коронку, часто отсоединяется от коронки и остается в расширенной скважине.

Это происходит потому, что волна напряжения, проходящая через корпус расширяющей части коронки, на несколько микрон увеличивает его в размере и, соответственно, увеличивает диаметр внутреннего конуса в нем. Поэтому натяг конусного сопряжения постепенно ослабляется и направляющий стержень отсоединяется от корпуса в среднем 1 раз после расширения двух шпуров.

Для его извлечения непроизводительно тратится время, снижая эффективность процесса расширения шпуров, что установлено авторами.

Разработана штыревая комбинированная коронка-расширитель, которая обеспечивает возможность бурения компенсационной скважины в одну и две стадии рис. 4.



Рис. 4. Штыревая комбинированная коронка-расширитель



Рис. 5. Результаты сравнительных испытаний по породам крепостью $f=10$

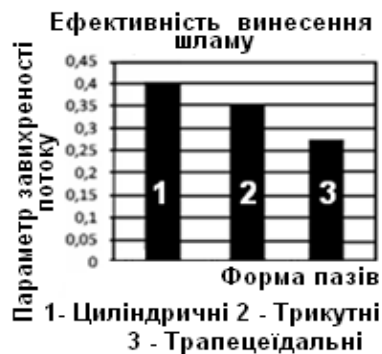


Рис. 6. Эффективность выноса шлама

Опытные образцы предложенных коронок, были изготовлены и испытаны в производственных условиях на ш. им. Фрунзе ПАТ «Евраз Суха Балка» г. Кривой Рог при бурении породы средней крепости $f=10$ по шкале проф. М.М. Протодьяконова с использованием разработанной схемы разбуривания, см. рис. 2, по сравнению с коронкой - расширителем KPP-65.

Как видно из рис. 5, наименьшие затраты времени (11 мин.) на бурение компенсационной скважины приходятся на предложенный расширитель (тип 1). Это вместе с бурением шпура коронкой $\varnothing 41$ мм в первой стадии. У предложенной одностадийной коронки (тип 2) - 16 мин. Самые большие затраты времени приходятся на бурение расширителем KPP-65 способа - прототипа - 18 мин. вместе со временем, затрачиваемым на бурение подготовительного шпура. Это без учета времени, которое приходится тратить на извлечение периодически отсоединяющегося направляющего стержня. Кроме того, из-за более низкой эффективности выноса шлама расширителя KPP-65, у которого треугольные пазы для выноса шлама (см. рис.6). При этом у него самая высокая скорость износа 2,3 г на 1 пог. м пробуренной скважины, рис. 7.



Рис. 7. Результаты сравнительных испытаний по породам крепостью $f=10$

Испытания по крепким породам $f=18$ проведены на ш. им. Ленина ПАТ «Кривбассжелезрудком» с использованием разработанной нами схеме разбуривания см. рис. 2.

При одностадийном бурении компенсационной скважины предложенной комбинированной коронкой (тип 1, показанной на рис. 4) и бурении в две стадии предложенным расширителем (тип 2), как видно из рис. 8 в этих условиях скорость бурения как в одну стадию комбинированной коронкой опережающей коронкой меньшего диаметра, так и в две стадии, суммарная скорость бурения с учетом бурения опережающего шпура и расширения скважины с одностадийным способом одинакова - 0,134 м/мин.

Это значит, что при бурении крепкой породы целесообразно применять одностадийный способ бурения компенсационной скважины.

При этом для данной крепости породы с использованием способа - прототипа скорость разбуривания скважины в предварительно пробуренном шпуре $\varnothing 41$ мм расширителем KPP-65 практически равна нулю.

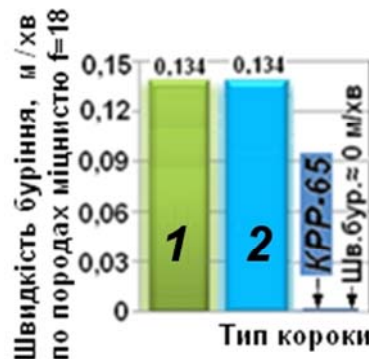


Рис. 8. Результаты сравнительных испытаний по породам крепостью $f=18$

Это происходит из-за несовершенной формы его корпуса и пазов для выноса шлама, а также лезвийной формы породоразрушающих элементов, на которых в этой связи напряжение на них для разрушения крепкой породы недостаточно.

Выводы. Одним из наиболее эффективных путей, обеспечивающих увеличение глубины отбойки, является применение компенсационных скважин;

Разработана и испытана в промышленных условиях новая технология бурения скважин, при которой компенсационная скважина увеличенного диаметра не заряжается, а выполняет во врубе роль дополнительной обнаженной полости.

Уточнены параметры вруба и схемы разбуривания забоя (схемы бурения с одной и двумя компенсационными скважинами прилагаются).

Скорость бурения экспериментальной коронки - расширителя в 1,9 раз выше, чем у серийно выпускаемой коронки КРР-65;

Скорость износа серийно выпускаемой коронки КРР-65 выше, чем у экспериментальной коронки - расширителя;

По сравнению со стандартным паспортом БВР количество шпуров при бурении в забое по породам средней крепости $f=10-12$ по шкале проф. М.М. Протоdjeяконова уменьшено в 1,2 раза.

По крепким породам $f=15-18$ количество шпуров в забое по стандартному паспорту БВР и новой технологии, включая две компенсационные скважины, одинаково - по 26 шпуров.

Количество шпуров подлежащих заряданию как для пород средней крепости $f=10-12$, так и для крепких пород $f=15-18$ уменьшено в 1,08 раз.

КИШ при стандартной схеме проходки забоя сечением $5,7 \text{ м}^2$ по породам средней крепости $f=10-12$ составляет 0,75, а по крепким породам $f=15-18-0,92$.

В результате применения новой технологии проходки забоя такого же сечения достигнуты коэффициенты использования шпуров по породам средней крепости $f=10-12$ (с одной компенсационной скважиной) - 0,9, а по крепким породам $f=15-18$ (с двумя компенсационными скважинами)

Список литературы

1. **Рабинович М.И.** Введение в теорию колебаний и волн / М.И. Рабинович, Д.И. Трубецков. – М.: Регулярная и хаотическая механика, 2000. – 560 с.
2. **Каварма И.И.** Новый штыревой породоразрушающий инструмент для бурения скважин на шахтах Кривбасса / И.И.Каварма, А.А.Хруцкий // Разработка рудных месторождений. - Кривой Рог: КТУ. - 2002. - Вып. 78.
3. **Keskinen E., Karvinen T., Montonen J., Heinonen M.** Dynamics of stress wavep during percussive drilling process. In: Proceedings of 13th World Congress in Mechanism and Machine Science. Guanajuato 2011, 1–5.
4. **Luiz F. P. Franca** A bit–rock interaction model for rotary–percussive drilling. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 2011; 48(5):827- 835.
5. **Lundberg B., Okrouhlik M.** Efficiency of a percussive rock drilling process with consideration of wave energy radiation into the rock. International Journal of Impact Engineering 2006; 32(10):1573–1583.
6. **Жуков И.А.** Формирование упругих волн в волноводах при ударе по ним полукатеноидальными бойками: Автореферат дис. канд. техн. наук. – Томск, 2005. – 132 с.
7. **Рындин В.П.** Определение энергетических параметров и совершенствование динамики ударных систем бурильных машин: Автореферат... дис. докт. техн. наук. – Кемерово, 2005. – 330 с.
8. **Губанов Е.Ф.** Ударное разрушение хрупких сред при использовании в них отверстий без поворота инструмента: Автореферат дис... канд. техн. наук. – Томск, 2003. – 22 с.
9. **Дерюшева В.Н.** Модели пневмогидравлического ударного узла с учетом свойств формирователя импульса и нагрузки: Автореферат ... канд. техн. наук. – Томск, 2009. – 19 с.
10. **Жуков И.А.** Формирование упругих волн в волноводах при ударе по ним полукатеноидальными бойками: Автореферат дис. канд. техн. наук. – Томск, 2005. – 132 с.
11. **Чувиллин А.М., Ермаов Г.Т., Соколов Н.П. и др.** Применение коронок – расширителей для бурения компенсационных скважин на проходческих работах, Минцветмет СССР, ЦНИИ экономики и информации цветной металлургии. Обзорная информация. Выпуск 6. М. 1988. 39 с.

Рукопись поступила в редакцию 26.03.15

S.V. FILATOV, cand. of tehn. sciences, associate professor
S.A. ZHUKOV, doctor of engineering sciences, professor
I.V. GIRIN, senior teacher, A.S. FILATOV, master's degree
Krivoy Rog Technical University

DECREASE OF IRON-ORE TRANSPORTATION COST PRICE BY SUPERSIZE TRUCKS AT THE EXPENSE OF ROLLING COEFFICIENT REDUCTION

The problem and its connection with scientific and practical tasks. The work theme coincides with the project program «TACIS» introduced in Ukraine, concerning increase of combustive-lubricating materials efficiency use.

This project has the purpose to help Ukrainian government to develop and introduce power saving technologies into motor transport and to reduce requirements for combustive-lubricating materials.

Relative density of transportation costs in overall specific expenses of mining operations at pit depth of 50-70 m makes 35-40 %, and at depth of 50-65 % - 250-300 m. Still the bigger cost transportation expenses will have in pits with project depth of 650-700 m.

Thus transportation can expenses up grow to 70 % from the overall expenses on mining operations.

The analysis of researches and publications. Nowadays, part of mining by open-pit method in ferrous metallurgy exceeds 80%, non-ferrous - 70%, to coal industry - 50%, non-metallic - almost 100%. The analysis of work of operating pits, studies of mining-technical terms, their exploitation, testifies that the main problem of the open-pit mining is becoming by the transport problem.

Without regarding to the equipment of pits by a new transport equipment, trucks by a carrying capacity 110 tons and higher, improvement of technology and organization of production, the prime price of mining of 1 t of raw ore grows with every year.

By such method a decision of task on the grounding of parameters of pit motorways is actual.

With a transition from the planned economy to to market relations considerable changes happened in the structure of domestic mining-metallurgical complex of Ukraine.

Extraordinarily quickly, passing the row of the organizational stages, it began to develop due to conception about development of mining-metallurgical complex of Ukraine to 2016 year, which is approved by Decision of Verkhovna Rada.

It is in particular marked that one of basic operating of mining-metallurgical complex conditions is reorientation of production process on resource-saving technologies.

Exactly to this pressing question for Ukraine this article is devoted, with the purpose of the cost cutting on transporting of iron-ore heavy pit trucks and the same considerably to cut prime cost the finished good, that enable to compete Ukrainian mining raw material at the international market of iron-ore.

Statement of the problem. The substantiation of parameters of a pit ramp and its cross-section profile, and working out of methodical recommendations concerning building of a new cross-section profile of a pit ramp which will raise overall performance of supersize trucks is offered.

The cost price of transportations, expenses of combustive-lubricating materials means, deterioration of autotypes, labor input of maintenance service and servicing at the expense of decrease in factor of resistance of movement and pressure in a stain of contact of a wheel with road, thereby will raise trucks safety, and also will reduce stripping at pit-walls widening.

Statement of a material and results. Influence of constructive corners of installation of operated wheels on parameters of movement of a supersize truck.

As it is known from a car design, a wheel, has incline and toe-in. In a design of a supersize truck there is a incline and toe-in. If to look at front of the car at wheels (a Fig. 1) it is visible that the prout-axle pivot deviates a vertical on a corner α - a corner of inclined. In this connection, the distance between the top and bottom parts of a wheel isn't identical.

From above this distance will be bigger, and from below – smaller.

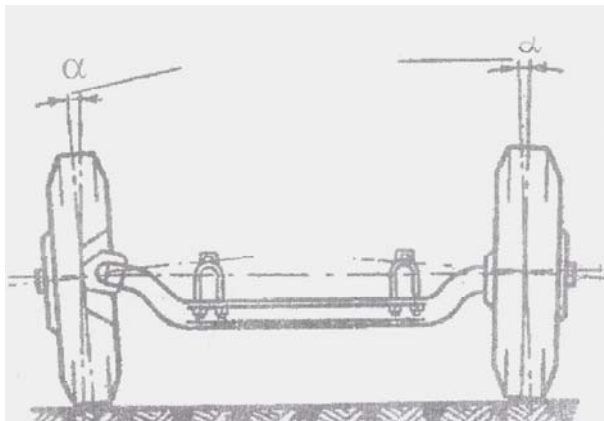


Fig. 1. Wheels disorder angle

If to look at front wheels from above, we will see that planes in which lie wheels, deviate a longitudinal vertical axial plane of the car, that is wheels have ascensions. (A Fig. 2). The ascension size is a difference of distance between wheels along the edges of their rims in front and behind (A-Б); regulate it, changing length of cross-section draft.

Prout-axle pivot and wheels are established so that to raise firmness of operated wheels during the car movement and to facilitate driving of

them. Sizes of angles of installation prout-axle pivot, a angle of disorder of wheels and their ascension for each car of a steel [1-2].

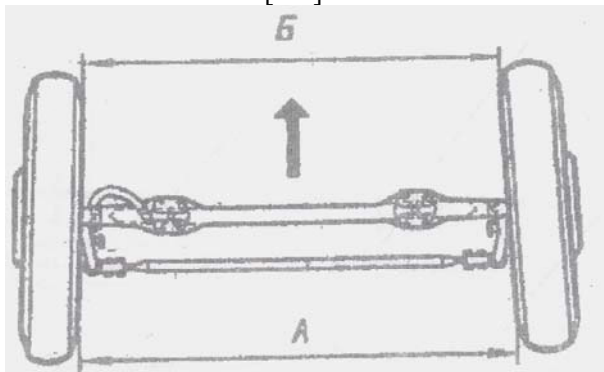


Fig.2. Convergence of wheels angles

Thus, by means of an inclination prout-axle pivot in longitudinal and cross-section directions automatic stabilization of forward wheels which supervise over direction of movement and forces which arise at rotation of inclined wheels also is provided.

On supersize trucks of mark of BelAZ, KOMATSU, KATERPILLAR various designs of a steering trapeze are applied. The steering trapeze is applied to truck of BelAZ-7512 with rotary

cylinders 1, damping the device 2, and cross-section steering draft 3. The difference between the sizes A and B also should be no more than 5 mm, and an exit to a rod, the cylinder of turn $B=325\pm 2$ mm (a Fig. 3) [3-6]

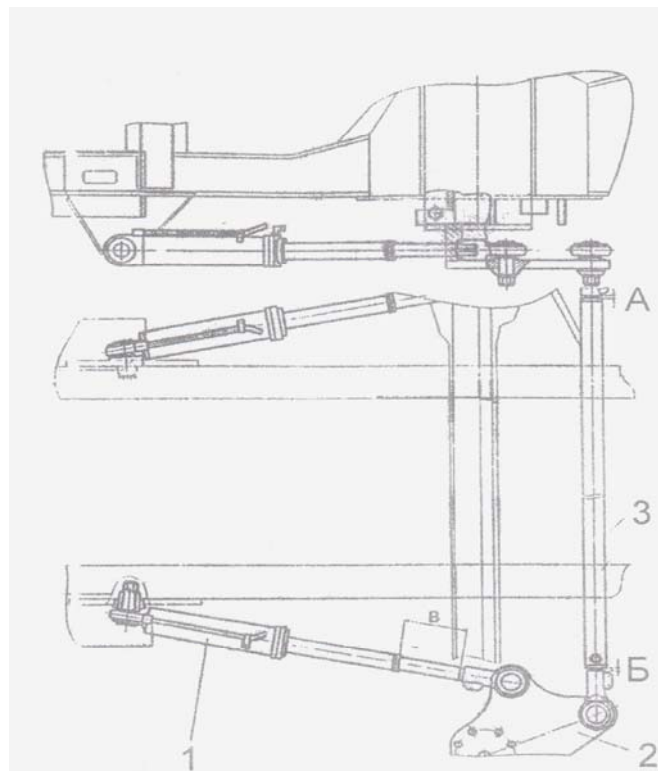


Fig 3. A steering trapeze of a supersize truck BelAZ-7512

At angle of lift, equals to 4-5°, capacity which is spent on wheel movement, approximately exceeds capacity by 3 times which is spent at rectilinear movement of these wheels. Thus the momentum force necessary for rolling of a wheel with input, can be several times more forces which needs to be put to it at rolling without pull.

Slope angles of front axle pivot on some supersize trucks are resulted in tabl. 1

Table 1

Angles of slope front axle pivot on supersize trucks

| Truck mark | Angle of camber, ° | Angle of wheels convergence A-B, (mm) |
|----------------|--------------------|---------------------------------------|
| БелАЗ-7512 | 0,5-1 | 5-7 |
| KOMATSUHD-1200 | 0,5-1 | 5-7 |
| KAT 725 | 0,5-1 | 5-7 |

Force which establishes operated wheels in a rectilinear direction is called as force of lateral input of a wheel and she constantly tries to turn out wheels to perpendicularly longitudinal axes of the car, this force also causes also a lateral deflection of the tire. Truck wheels which move, should slide in parallel each other, thus under the influence of the lateral elastic tire and force of withdrawal, a wheel, want to be developed: right – on the right, and left – on left. It will cause some sliding of the tire and will increase its deterioration. To reduce this sliding, a wheel is assembled with some convergence.

Change of the tire form under the influence of normal loading.

The tire directly adjoins to a road surface. Being pumped with air, it becomes elastic and capable to accept the big loadings. Under the influence of external loading the tire receives difficult deformation. This deformation for convenience of studying usually divide on simpler: normal (radial), circular (tangential), longitudinal, cross-section (lateral) and angular.

Under the influence of normal loading whole tire, all its elements is deformed. In different points of a circle of a wheel and a tire profile this deformation has different size. If rolling wheels is absent, tire deformation on a circle is distributed symmetrically concerning a vertical plane which passes through a wheel axis. The tires of a radial and diagonal design pumped up by air in a longitudinal plane of a wheel have the circle form. Under the influence of normal loading this form of various types of tires changes differently.

On size and character of distribution of specific pressure considerable influence has a wheel inclination to road.

With growth of slope angle of a wheel to road non-uniformity of distribution of specific pressure grows. Especially big non-uniformity of distribution of specific pressure is observed in a direction of a cross-section axis of contact. Pressure diagram on a contact plane has symmetry axes. The contact form is very deformed and isn't similar to an ellipse or an oval [7]. A Fig. 4

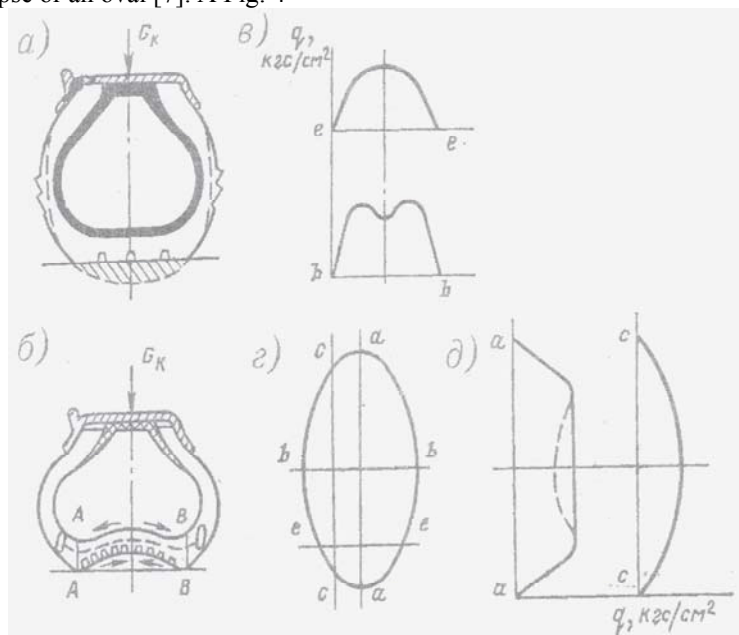


Fig. 4. Distribution of pressure on a plane of contact of a motionless wheel which leans against a rigid surface: - a tire profile at normal loading on a wheel; b - a tire profile at very heavy load; v - distribution of specific pressure in contact; g - section of a stain of contact of a wheel; d - pressure diagram of distributions of specific pressure

Analyzing influence of loading on the tire of a supersize truck, it is possible to draw a conclusion that deformation of the tire of a supersize truck is difficult physical process because the tire is deformed not only under weight of vertical load, but also under size horizontal and tangents of forces.

In practice operation normal rigidity depends on a number of factors, namely from dynamic modes of load, the form of a basic surface, the form and the sizes non-uniformity, temperature and tire materials.

Influence of deformation of the tire of a supersize truck on its resistance of movement.

At transition from a motionless wheel to what rotating in a range of speeds 0-5км/ч, and for separate tires, – to 30 km/h, falling of rigidity of the tire which for diagonal tires makes from 10 to 20 %, for radial – from 2до 8 % is observed. This phenomenon is connected with a relaxation in rubber and a cord, and also with non-uniform rigidity on a circle of the tire and with sliding places in a stain of contact which in radial tires is much less, than at the diagonal.

With growth of speed, from 3-5 km/h, rigidity of all tires which is connected with increase in lateral walls to a frame grows.

Resistance of movement of the tire on a road surface is found out mainly through a material hysteresis, that is a tire deflection. On the basis of experimental data, energy expenses are distributed thus: internal hysteresis expenses make 90-95 %, a friction between the tire and road of 2-10 %, air resistance of 1,5-3,5 % [7-11]

The conclusions and recommendations. That's why, decrease in the cost price of transportation of iron ore by supersize trucks at the expense of factor reduction growing rolling wheels, is an actual problem both mining-metallurgical industry and economy, ecology and transport.

References

1. Доценко І. К., Шагомяло М.І. Автомобіль.-К.:Радянська школа 1961, 329с.
2. Белорусский автозавод «Карьерный самосвал БелАЗ-7512 и его модификации. Дополнения к руководству по ремонту и эксплуатации» Жодино. – 1996, 313с.
3. Карьерный самосвал БелАЗ-7512. На англ. яз.; Изд-во «Внешторг БелавтоМАЗ». М.: 1999
4. Caterpillar, KAT-785. Caterpillar, Inc., Printed in Switzerland 1990
5. Komatsu Mining Systems, Inc., Komatsu-530M., Printed in USA 1997.
6. Komatsu Mining Systems. Каталог продукции., напечатано в США, 1998.
7. Кнороз В.И. и др. Работа автомобильной шины. М.: Транспорт, 1976. – 238с.
8. Дж. Вонг. Теория наземных транспортных средств. Перевод с англ.– М.:«Машиностроение»1982, 238с.
9. Гірін В.С., Жуков С.О., Крейсман Е.А. Босняк М.Г. Спеціалізовані автотранспортні засоби. Навчальний посібник 2-ге видавництво, перероблено і доповнено – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005 р. 296 с.;
10. Пахомов В.І., Гірін В.С., Жуков С.О. Эффективность рациональных режимов эксплуатации автосамосвалов при разработке глубоких карьеров. Монография. Кривой Рог: Издательский дом. 2008. -148с.
11. Крейсман Е.А., Філатов С.В., Жуков С.О., Гірін В.С. Эффективность поперечного профилювання берм при будівництві кар'єрних автодоріг. Дніпропетровськ. Наука і освіта. 2004. – 240 с.

Рукопись поступила в редакцию 17.03.15

УДК 621.313.33

М.М. МАКСИМОВ, Ю.Б. ФІЛІПП, кандидати техн. наук, доценти,
Р.О. РИБКІН, магістрант, Криворізький національний університет

ФОРМУВАННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОГО СТРУМУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З МОДУЛЯЦІЄЮ КЕРУЮЧОЇ ДІЇ

На підставі того, що асинхронні двигуни з різних причин виходять з ладу (через перевантаження, несприятливі умови навколишнього середовища, низьку якість мережі живлення та ін.) було визначено необхідність проведення комплексу ремонтних робіт, в результаті яких двигун можна повторно експлуатували протягом тривалого часу. Визначено найбільш вразливе місце електричної машини під час проведення ремонтних робіт.

На підставі відомих раніше публікацій, в яких зазначається можливість дослідження реальних характеристик відремонтованого двигуна, було проведено якісний аналіз із зазначенням існуючих недоліків, які були б максимально зменшені з використанням запропонованої системи.

У результаті, запропоновано декілька варіантів зміни електромагнітної енергії обмоток двигуна, що дасть можливість навантажити його виключаючи можливість механічного впливу на вал. Дані обставини наочно обґрунтовуються наведеними формулами зміни частоти, напруги живлення та моменту.

Для представлення режимів роботи електричної машини у повному циклі навантаження наведено графік штучної та природної механічних характеристик із зазначенням усіх робочих точок.

Для доведення реальної працездатності запропонованої системи було проведено її моделювання з повним циклом навантаження та представлені результати у вигляді осцилограм фазових координат довільно обраного двигуна.

Величина статичного навантаження обиралась згідно з умов дотримання номінального струму та не перевищення перевантажувальної здатності асинхронного двигуна. Оскільки, за мету роботи ставилось не лише створення

універсальної моделі, а й економічно вигідної – було додатково визначено потужність, яка виділялась у вигляді втрат та побудовано її осцилограму.

Ключові слова: асинхронний двигун, частота, форма напруги, модуляція, навантаження, потужність, синхронна швидкість.

Проблеми та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Як відомо, асинхронні двигуни (АД) є найбільш поширеним класом електричних машин, які широко використовуються в різних сферах діяльності [1,5,10]. Тому до них ставляться високі вимоги з боку надійності та тривалості експлуатації, що в свою чергу приводить до збільшення відповідальності електротехнічних підприємств.

При ремонті, самим вразливим місцем АД, в плані зміни своїх властивостей, є електротехнічна сталь, пакет якої піддається як механічним, так і тепловим впливам, що приводить до суттєвої зміни її характеристик та цілісності [2,3].

Найбільш впливовим фактором є процес температурного впливу на пакет при випаленні обмоток, що необхідним процесом для їх видалення. З іншого боку, якість ремонту за технологічними показниками не відповідає рівню технології виробництва, що пояснюється відсутністю універсального обладнання для дослідження «випадкового» двигуна [8,9].

Отже, відремонтована машина за своїми характеристиками відрізняється від базового заводського виробу (хоча експлуатація орієнтується на усереднені заводські показники) і в процесі повторної експлуатації виходить з ладу за досить короткий час [4,6,7,11].

Аналіз досліджень та публікацій. Відомі роботи, в яких розглядається можливість навантаження АД без впливу на вал двигуна шляхом зміни кінетичної енергії чергуванням режимів роботи двигуна [12].

Також відома робота, в якій на основі системи ТРН-АД встановлено можливість навантаження двигуна під впливом гармонічних складових струму та напруги [13].

Основними недоліками такої системи є спотворення напруги та поява в мережі струму вищих гармонік.

Постановка завдання. Головним завданням статті є дослідження способу навантаження модуляційного типу за допомогою системи ПЧ-АД, що дасть можливість забезпечити струмові навантаження статорних обмоток двигуна.

З іншого боку, дана система повинна відповідати всім вимогам щодо простоти реалізації, універсальності та економічності використання.

Викладення матеріалу та результати. Для зміни електромагнітної енергії обмоток, яка визначається величиною струму контуру намагнічування, можливі три підходи:

вплив на форму напруги живлення (модуляція амплітуди);

вплив на частоту напруги живлення (модуляція частоти);

вплив на форму поля (полігармонічне навантаження).

Враховуючи той факт, що для перетворювача частоти, одночасно із зміною частоти напруги живлення необхідно регулювати і амплітуду напруги живлення (для уникнення насичення магнітної системи) - навантаження модуляцією амплітуди і частоти являє собою один процес.

Процес зміни частоти відбувається згідно з виразом

$$f(t)=f_0+\Delta f \cdot \sin(\Omega_k \cdot t), \quad (1)$$

де f_0 - постійна складова частоти; Δf - приріст частоти напруги живлення; Ω_k - кутова частота зміни приросту частоти живлення.

Тоді, синхронна швидкість поля двигуна

$$\omega_o(t) = \omega_o + \Delta\omega \cdot \sin(\Omega_k \cdot t) = \omega_o + \frac{2\pi\Delta f}{p} \sin(\Omega_k \cdot t). \quad (2)$$

Форма напруги живлення АД описується виразом

$$U=U_o \sin(\omega_o \cdot t) \cdot (k+m \cdot \sin(\Omega_k \cdot t)), \quad (3)$$

де U_o - амплітуда; k, m - коефіцієнти модуляції; Ω - кутова частота модуляції амплітуди.

Тоді, момент АД, який розвивається за умови рівності швидкості обертання ротора і основного магнітного потоку

$$M - M_1 \cos(\Omega t) + \frac{M_2}{2} \sin(2\Omega t) = \Phi_1 \cdot I_{2m} \cdot \cos(\Omega t) + \frac{\Phi_2 \cdot I_{2m}}{2} \sin(2\Omega t), \quad (4)$$

де, I_{2m} - амплітуда роторного струму; Φ_1 - основний потік; Φ_2 - амплітуда пульсуючого потоку.

У випадку частотної модуляції АД по чергово працює в режимі двигуна та режимі генераторно-го гальмування. Навантажувальний цикл зображено на рис. 1.

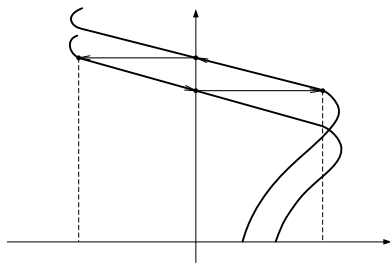


Рис. 1. Цикл навантаження при перегріванні). частотній модуляції напруги живлення

Точка «b» - номінальний режим роботи; ділянка «bc» - генераторний режим з переходом на штучну характеристику; ділянка «da» - перехід на природну характеристику; ділянка «ab» - розгін двигуна до номінальної швидкості.

Величини f_0 та Δf обираються таким чином, щоб величина струму двигуна та моменту навантаження не перевищували номінальне значення (для уникнення

ω

В якості досліджуваного двигуна було обрано АД типу 4AM180S2 ($P_n=22$ кВт, $n_n=3000$ рад/с).

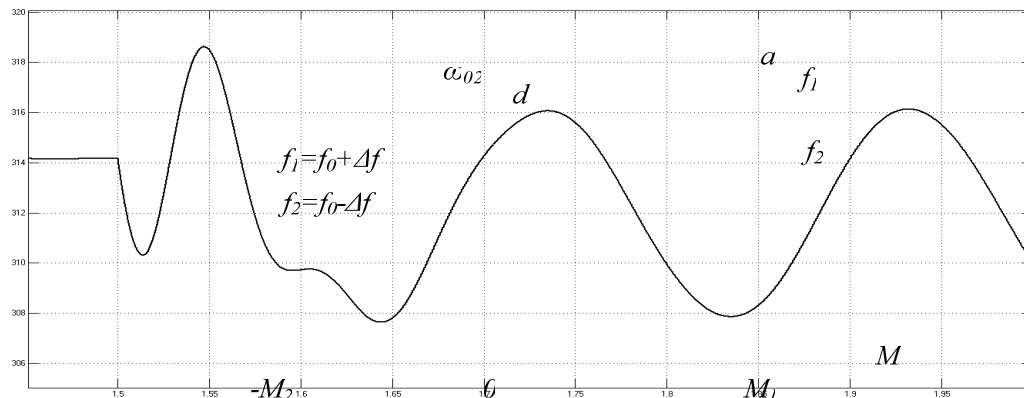


Рис. 2. Осцилограма швидкості обертання ротора двигуна при керованому впливі $30+40 \cdot \sin(31,4t)$

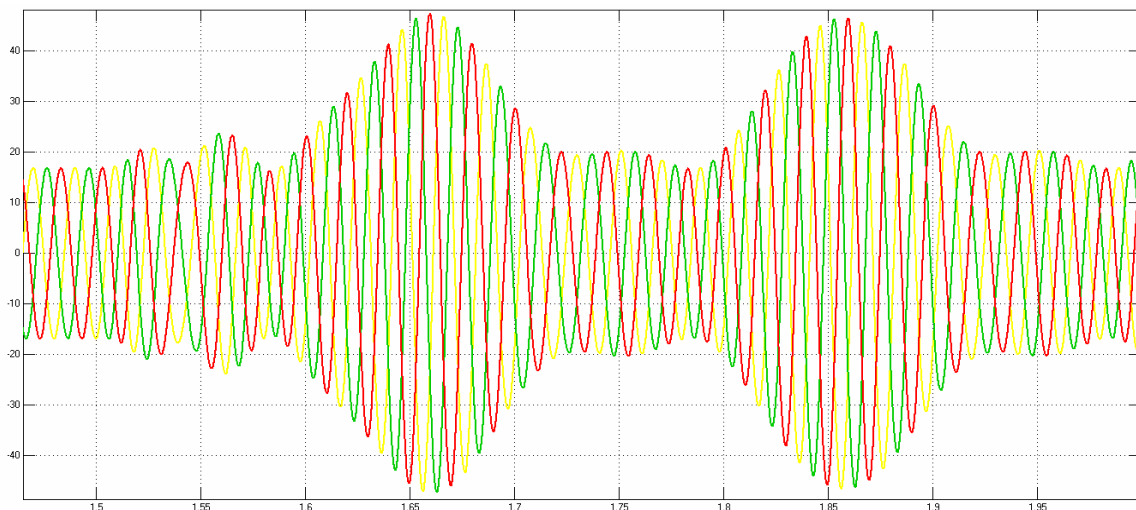


Рис. 3. Осцилограма струму в трьох фазах двигуна при керованому впливі $30+40 \cdot \sin(31,4t)$

На рис. 2 зображено осцилограму швидкості обертання ротора при керованому впливі $30+40 \cdot \sin(31,4t)$. Як видно, коливання швидкості відбувається з частотою 5 Гц.

На рис. 3 представлено фазні струми I_A, I_B, I_C . У поданому випадку відмінність максимальних значень струмів складає:

- від'ємна півхвиля - 3,5 %;
- додатна півхвиля - 2,6 %;
- діючих значень струму - 1,9 %.

Величини діючих значень навантажувальних струмів в даному випадку: $I_{\theta(A)}=33,15$ А; $I_{\theta(B)}=32,91$ А; $I_{\theta(C)}=33,55$ А, що складає 76,8; 76,2; 77,7 % від номінального значення відповідно.

Слід також зазначити, що для системи навантаження модуляційного типу період повторюваності кривої струму відповідає періоду модуляції, який визначається

$$T_{\Omega}=(2\pi/\Omega). \quad (5)$$

Отже, ефективне значення струму, яке визначає нагрівання АД, необхідно визначати саме за період часу T_{Ω} .

Формування знакозмінного моменту видно з рис. 4. У цьому випадку розмах моменту складає 89,64 Н·м (додатна частина: 70 Н·м; від'ємна частина: -19,64 Н·м) при номінальному значенні 70,06 Н·м.

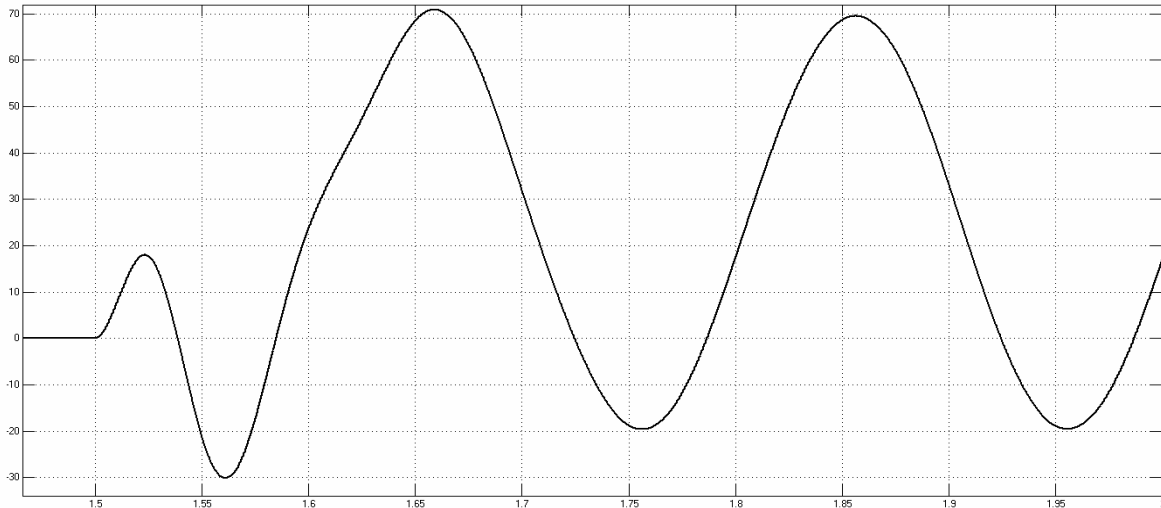


Рис.4. Осцилограма моменту АД при керованому впливі $30+40 \sin(31,4t)$

Такі показники, як рівномірність навантаження фаз, можливість навантаження роторного кола та економічність визначають ефективність використання модуляційного навантаження для ПЧ-АД. І, якщо перші два показники витримуються даною системою, то проблема економічності має бути досліджена.

Втрати в АД, які визначаються як різниця електромагнітної потужності та потужності на валу двигуна, змінюються залежно від навантаження (рис. 5).

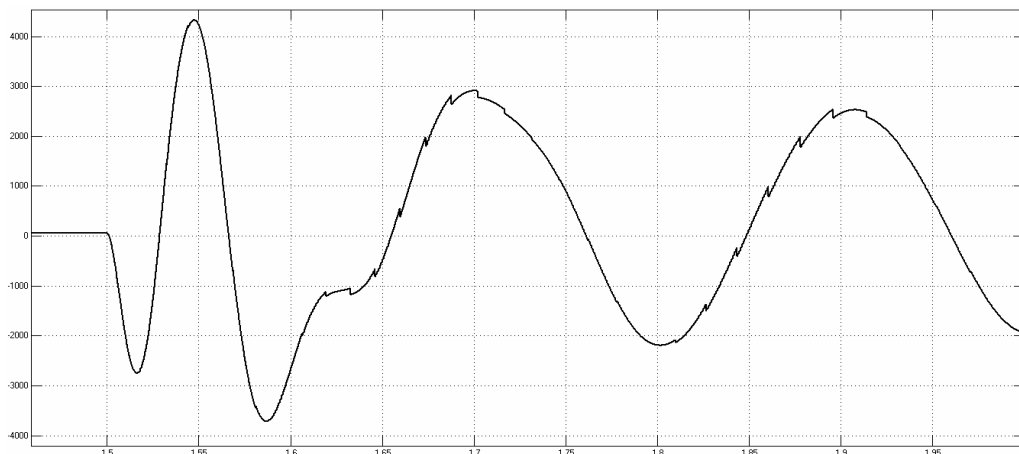


Рис. 5. Графік зміни втрат АД при керованому впливі $30+40 \sin(31,4t)$

Причому, від'ємна півхвиля свідчить про рекуперативне гальмування.

Висновки та напрямок подальших досліджень. На підставі проведених досліджень можна зробити висновок про те, що використовуючи систему ПЧ-АД можна досягти навантаження двигуна без дії на вал. Зміна частоти і амплітуди напруги живлення АД дає можливість варіювати рівень навантаження кола статора пульсуючим струмом.

Для підтвердження працездатності системи було проведено її моделювання при статичному навантаженні та визначено величину потужності втрат, що дає представлення про позитивні якості як з економічної точки зору, так і з технічної.

Список літератури

1. Гольдберг О.Д. Качество и надежность асинхронных двигателей. М.: Энергия. 1968. - 176 с.
2. Гольдберг О.Д., Абдуллаев И.М., Абиев Л.Н. Автоматизация контроля параметров и диагностика асинхронных двигателей. – М.: Энергоатомиздат, 1991. - 160 с.
3. Гемке Р.Г. Неисправности электрических машин. Л.: Энергоатомиздат, 1989. - 336 с.
4. Винников Ч.М. Технологические расчеты при ремонте двигателей переменного тока. – М.: Энергия, 1970.- 224 с.
5. Куйбишев А.В. Надежность асинхронных электродвигателей общепромышленного применения. М.: Изд-во стандартов, 1972.-104 с.
6. Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин. Л.: Энергоатомиздат, 1984.-400 с.
7. Клюев А.А. Автоматизация испытаний электрических машин средней мощности // Сб. Электротехническая промышленность. Сер. «Электротехнические машины». – М.: Информэлектро, 1980. - Вып. 8 (114).
8. Determination of motor quality through routine electrical tests // Soukup George C. / Ind. Appl. Soc. 35 Th Annu. Petrol and Chem Ind. Conf., Dallas. Tex., Sept. 12-14. 1988. с 187 – 195.
9. Stack T.L. The repair and Maintenance of Rotating Electrical Machines. – Mining Technology, 1975, v.57, № 662. p.460-470.
10. Sieradzka M. Badania eksploatacyjnego trwalosci silnicow indukcyjnych. – Elektrotechnika. Buil. Inform., 1972, 26, № 2, с. 61-71.
11. A. Stavrou, H. G. Sedding, and J. Penman Current monitoring for detecting inter-turn short circuits in induction motors // IEEE Trans. Energy Convers., vol. 16, № 1, pp. 32–37, Mar. 2001.
12. Родькин Д.И. Системы динамического нагружения и диагностики электродвигателей при послеремонтных испытаниях. – М.:Недра,1992.-236 с.
132. Максимов М.М. та ін. Формування параметрів пульсуючого струму в колах короткозамкнених асинхронних двигунів. – Гірничий вісник. - Кривий Ріг. - КНУ, 2013. – Вип. 96.- С. 176-178.

Рукопис подано до редакції 23.03.15

УДК 658.3: 622.8

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

СЕРТИФІКАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОХОРОНОЮ ПРАЦІ ЯК ОСНОВА УСПІШНОЇ ПОЛІТИКИ В ГАЛУЗІ ОХОРОНИ ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Показано значущість розроблення СУОП за вимогами стандарту OHSAS 18001. Відповідальність за ефективну роботу в галузі охорони праці та профілактики професійної патології лежить на керівництві підприємства, за яким закріплені зобов'язання за надання ресурсів, необхідних для впровадження, контролю та удосконалення СУОП. Даний стандарт застосовується відносно будь-яких підприємств, які бажать виключити або звести до мінімуму ризики і небезпеки для своїх співробітників і зацікавлених сторін, які у зв'язку зі своєю професійною діяльністю піддають ризику своє здоров'я і безпеку. Перехід України до ринкової економіки, задекларування курсу на інтеграцію з країнами ЄС, вимагає від підприємств усіх форм власності переходу на європейські стандарти у всіх сферах діяльності, в тому числі охорони праці. Вимоги OHSAS 18001 легко з'єднуються з вимогами інших міжнародних стандартів, такими як ISO 9000 та ISO 14000. Крім того, стандарт OHSAS 18001 є загальнотехнічним стандартом, що дозволяє впроваджувати його в будь-яку сферу виробництва і будь-якому секторі економіки. На підставі цього запропоновано сертифікування СУОП, що дозволить об'єктивно оцінити результативність її функціонування.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Рівень виробничого травматизму і професійної захворюваності є основним показником стану охорони праці в тій чи іншій сфері економічної діяльності, регіоні та в державі у цілому. Незважаючи на щорічну оптимістичну динаміку зниження кількості нещасних випадків, виявлених серед працівників підприємств різного виду економічної діяльності, за даними Державної служби гірничого нагляду

та промислової безпеки України і Державної служби статистики України, рівень травматизму на виробництві в Україні залишається високим.

Це пояснюється наявністю причин настання нещасних випадків на виробництві, які істотно впливають на вірогідність ризику травмування або загибелі при цьому працівників, а саме організаційні, технічні та психофізіологічні причини.

Серед організаційних причин найбільше травмування працівників траплялося при порушенні ними трудової і виробничої дисципліни, роль якої в останні три роки постійно зростала: з 18,8 % (2011 р.) до 20,0 % (2013 р.) - на 6,4 %, у середньому - 16,9 % працівників.

Через технічні причини настання нещасних випадків на виробництві у 2009 р. травмувалося 12,9% працівників, 2010 - 14,1%, 2011 - 12,6%, 2012 - 11,8%, у 2013 р. - 12,6%, у середньому - 12,8%. Так, найбільше травмуються працівники через незадовільний технічний стан виробничих об'єктів, засобів виробництва, виробничого обладнання та транспортних засобів підприємств, установ і організацій.

Психофізіологічні причини призвели до травмування 3,4% працівників у 2009 р.; 3,2% - у 2010, 3,3% - в 2011, 8,1% - у 2012 та 10,5% - у 2013 р., у середньому - 5,7%.

Зазначені матеріали про основні причини настання нещасних випадків, пов'язаних із виробництвом, підкреслюють нагальну необхідність урахування особливостей травмування і загибелі працівників, що потрібно обов'язково враховувати під час розроблення та здійснення заходів та засобів щодо поліпшення безпеки, гігієни праці та виробничого середовища [6].

Аналіз досліджень та публікацій. Система стандартів OHSAS 18001 передбачає впровадження менеджменту та адміністрування гігієни та безпеки праці на робочих місцях. Основна увага цього стандарту направлена на безпеку праці і благополуччя працюючих.

Даний стандарт застосовуються для підприємств різного виду економічної діяльності, які бажають виключити або звести до мінімуму ризику і небезпеки для своїх співробітників та зацікавлених сторін, які в зв'язку зі своєю професійною діяльністю піддають ризику своє здоров'я і безпеку. Необхідність впровадження стандартів серії OHSAS 18001 на підприємствах вітчизняного виробництва пояснюється вимогами міжнародного співтовариства для успішної інтеграції підприємств у світову економічну систему. Найбільш ефективним напрямком управління ризиками в галузі охорони здоров'я та безпеки праці, пов'язаними з діяльністю організації є впровадження СУОП за вимогами стандарту OHSAS. [2,4,7,8,9].

Постановка завдання. Метою даного дослідження є аналіз, оцінка функціонування СУОП на підприємстві, розробка на цій основі науково - обґрунтованих пропозицій по можливому напрямку впровадження сертифікації СУОП на відповідність специфікації OHSAS 18001: 2007. [8,9]

Викладення матеріалів та результати. З метою визначення ефективності функціонування СУОП та обов'язкового впровадження сертифікації на підприємствах був проведений аналіз на основі проекту методичних рекомендацій з оцінки ефективності функціонування СУОП на підприємстві ТОВ «ЕКОСПЕЦІНВЕСТ».[5]. Збір вихідних даних на підприємстві проводилось за спеціально розробленими формами для оцінки ефективності функціонування СУОП, які наведені у проекті методичних рекомендацій з оцінки ефективності функціонування СУОП на підприємстві.[5]

Для оцінки ефективності функціонування СУОП розраховується коефіцієнт, що враховує порушення вимог щодо дії основних функцій в системі управління охороною праці.

$$\Phi = (\Phi_d + \Phi_n + \Phi_3 + \Phi_l + \Phi_p + \Phi_o + \Phi_6 + \Phi_n + \Phi_k + \Phi_c) : 10, \quad (1)$$
$$\Phi = (1+1+1+1+1+1+1+1) : 10 = 1$$

де Φ_d - коефіцієнт, що враховує наявність на підприємстві переліку осіб, які підлягають професійному добору; Φ_n - коефіцієнт, який враховує наявність нормативно-правового акта підприємства, що регулює навчання з питань охорони праці; Φ_3 - коефіцієнт, що враховує наявність порядку забезпечення працівників засобами індивідуального захисту; Φ_l - коефіцієнт, який враховує наявність документів підприємства, що регулюють питання лікувально-профілактичного обслуговування; Φ_p - коефіцієнт, який враховує наявність документів, що регулюють питання оптимального режиму праці та відпочинку працівників, які виконують роботи підвищеної небезпеки; Φ_o - коефіцієнт, що враховує наявність порядку щодо оцінки та моніторингу стану безпеки обладнання; Φ_6 - коефіцієнт, що враховує наявність порядку щодо оцінки та моніторингу стану будівель та споруд; Φ_n - коефіцієнт, що враховує наявність планових

заходів; Φ_k - коефіцієнт, що враховує наявність системи адміністративно-громадського контролю; Φ_c - коефіцієнт, що враховує наявність системи стимулювання.

Стан дотримання вимог безпеки, що викладені в основних завданнях СУОП, оцінюється коефіцієнтами « Π_1 »...« Π_9 », які обраховуються як співвідношення кількості осіб, які працюють з виконанням вимог безпеки, до загальної кількості працівників, на яких поширюються вказані норми та які працюють на момент перевірки на робочих місцях.

Коефіцієнт, що враховує фактичний стан проведення професійного добору за висновками психофізіологічної експертизи на підприємстві, визначається за формулою

$$\Pi_1 = P_e / P_n \quad (2)$$

$$\Pi_1 = (184/219) = 0,84,$$

де P_e - кількість працівників, які мають висновок психофізіологічної експертизи; P_n - кількість працівників, які виконують роботи підвищеної небезпеки.

Коефіцієнт, що враховує фактичний стан навчання з питань охорони праці на підприємстві, визначається за формулою

$$\Pi_2 = P_n / P_e \quad (3)$$

$$\Pi_2 = (219/219) = 1,$$

де P_n - кількість працівників, які пройшли навчання; P_e - кількість працівників, які повинні пройти навчання.

Коефіцієнт, що враховує фактичний стан безпеки обладнання на підприємстві, визначається за формулою

$$\Pi_3 = O_b / O_v \quad (4)$$

$$\Pi_3 = (42/42) = 1,$$

де O_b - кількість обладнання, що відповідає вимогам безпеки; O_v - кількість усього обладнання.

Коефіцієнт, що враховує фактичний стан безпеки технологічних процесів на підприємстві, визначається за формулою

$$\Pi_4 = T_b / T_v \quad (5)$$

$$\Pi_4 = (2/2) = 1,$$

де T_b - кількість безпечних технологічних процесів; T_v - кількість технологічних процесів, усього.

Коефіцієнт, що враховує фактичний стан будівель та споруд на підприємстві, визначається за формулою

$$\Pi_5 = C_b / C_v \quad (6)$$

$$\Pi_5 = (19/19) = 1,$$

де C_b - кількість будівель та споруд, що своєчасно проходять ремонт та огляди; C_v - загальна кількість будівель та споруд.

Коефіцієнт, що враховує фактичний стан дотримання нормативних санітарно-гігієнічних умов праці на підприємстві, визначається за формулою

$$\Pi_6 = Y_n / Y_v \quad (7)$$

$$\Pi_6 = (31/206) = 0,1505$$

де Y_n - кількість робочих місць, що відповідають вимогам санітарних норм; Y_v - загальна кількість робочих місць.

Коефіцієнт, що враховує фактичний стан наявності та використання засобів індивідуального захисту на підприємстві, визначається за формулою

$$\Pi_7 = Z_n / Z_v \quad (8)$$

$$\Pi_7 = (219/219) = 1,$$

де Z_n - кількість осіб, які користуються засобами індивідуального захисту у повному обсязі; Z_v - кількість осіб, які повинні користуватися.

Коефіцієнт, що враховує фактичний стан дотримання режиму праці та відпочинку на підприємстві, визначається за формулою

$$\Pi_8 = P_s / P_n \quad (9)$$

$$\Pi_8 = (219/219) = 1,$$

де P_3 - кількість осіб, які виконують роботи підвищеної небезпеки і працюють з додержанням КЗпП; P_n - кількість працівників, які виконують роботи підвищеної небезпеки.

Коефіцієнт, що враховує фактичний стан проведення медичних оглядів на підприємстві, визначається за формулою

$$P_9 = M_n / M_n \quad (10)$$
$$P_9 = (219/219)=1,$$

де M_b - кількість осіб, які пройшли медичний огляд; M_n - кількість осіб, які повинні пройти медичний огляд.

В основу розрахунку ефективності функціонування СУОП покладено механізм оцінки наявних функцій СУОП та якісного вирішення основних її завдань.

Ефективність функціонування СУОП визначається за формулою

$$E = \Phi \times \sum_{i=1}^9 (K_i \times P_i) = \Phi \times ((K_2 \times P_2) + (K_3 \times P_3) + (K_4 \times P_4) + (K_5 \times P_5) + (K_6 \times P_6) + (K_7 \times P_7) + (K_8 \times P_8) + (K_9 \times P_9)),$$
$$E = 1 \times \sum_{i=1}^9 (0,009 \times 0,84) + (0,740 \times 1) + (0,057 \times 1) + (0,084 \times 1) + (0,057 \times 1) + (0,013 \times 0,1505) + (0,035 \times 1) + (0,002 \times 1) + (0,002 \times 1) = 0,997 \approx 1,$$

де K_1 - умовні вагові коефіцієнти впливу основних завдань СУОП на її ефективність (наведені у проекті методичних рекомендацій з оцінки ефективності функціонування СУОП на підприємстві). [5] Для даних Методичних рекомендацій значення умовних вагових коефіцієнтів є постійними протягом п'яти (2011-2015) років.

Дані, які представлено в проекті методичних рекомендацій з оцінки ефективності функціонування СУОП на підприємстві, свідчать, що рівень ефективності функціонування СУОП на підприємстві ТОВ «ЕКОСПЕЦІНВЕСТ» високий. На основі проведеного аналізу, пропонується впровадження функціонування СУОП відповідно до вимог OHSAS на підприємстві, з метою надання йому можливість контролювати ризики і поліпшити його діяльність. Тобто реалізація програми по впровадженню стандарту OHSAS відкриє нові можливості для підприємств в рамках управління охороною праці на виробництві. Серед основних переваг можна виділити:

зниження випадків травматизму, професійних захворювань та смертельних випадків;

зменшення фінансових витрат, включаючи оплату лікарняних або страховки за станом непрацездатності працівників;

поліпшення привабливості та іміджу підприємства за рахунок низьких показників травматизму;

покращення інвестиційної привабливості компаній [1].

Крім впровадження СУОП відповідно до вимог OHSAS на підприємстві, сертифікація розробленої СУОП забезпечує регламентацію норм охорони праці та безпеки персоналу.

Основні етапи процесу сертифікації складаються з:

визначення області сертифікації;

попередній аудит (аналіз недоліків і діагностика поточного відповідності вимогам стандарту);

сертифікаційний аудит, проводиться в 2 етапи:

Етап 1 - аналіз для перевірки готовності підприємства до сертифікації;

Етап 2 - оцінка впровадження та результативності СУОП підприємства.

При позитивному результаті Етапу 2 аудиту видається сертифікат терміном дії 3 роки;

Наглядові аудити для підтвердження того, що система менеджменту продовжує відповідати вимогам стандарту, та моніторингу постійного поліпшення;

Ре-сертифікація через 3 роки для підтвердження триваючого відповідності та результативності СУОП в цілому [10].

Тобто сертифікація розробленої СУОП за стандартом OHSAS 18001 дозволить об'єктивно оцінити результативність її функціонування.

Висновок та напрямок подальших досліджень. Результат цього аналізу, полягає в запобіганні виникнення нещасних випадків на виробництві та зниженні рівня вироб-

ничого травматизму, тобто в впровадженні сертифікації по стандартах серії OHSAS 18000, яка забезпечує регламентацію норм охорони праці та безпеки персоналу. Сертифікація СУОП (OHSAS) на підприємствах Кривого Рогу проводить ДП «КРИВБАССТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ».[2] Підприємство, що має сертифікат охорони праці, позиціонує себе на ринку як надійного партнера, яке дійсно піклується про своїх співробітників. Для того щоб впроваджені стандарти приносили дійсну користь, а не були черговим позитивним папірцем у послужному списку організації, необхідно залучення всіх співробітників в роботу над безпекою виробництва. Тільки двосторонній підхід до проблеми безпеки й охорони праці як з боку керівників, так і з боку персоналу, здатний привести до появи безпечних робочих місць, підвищенню культури виробництва, зниження рівня ризиків для здоров'я співробітників і скорочення загальної кількості нещасних випадків на підприємстві [8,9].

Список літератури

1. http://uchebnikionline.com/bgd/upravlinnya_ohoronoyu_pratsi_ta_rizikom_za_mizhnarodnimi_standartami_gogitash_vili_gg/mizhnarodniy_standart_ohsas_180022000.htm
2. <http://www.krivbasscenter.dp.ua/index.html>
3. «На допомогу спеціалісту з охорони праці»: Наук. - виробн. журнал. К.: ДП «Редакція журналу «Охорона праці», 2014. – № 4. – с. 16-18.
4. «На допомогу спеціалісту з охорони праці»: Наук. - виробн. журнал. К.: ДП «Редакція журналу «Охорона праці», 2014. – № 8. – с. 18-21.
5. «На допомогу спеціалісту з охорони праці»: Наук. - виробн. журнал. К.: ДП «Редакція журналу «Охорона праці», 2014. – № 10. – с. 12-19.
6. «На допомогу спеціалісту з охорони праці»: Наук. - виробн. журнал. К.: ДП «Редакція журналу «Охорона праці», 2014. – № 12. – с. 64.
7. http://opb.org.ua/579/1/Diodor_04_09.pdf
8. BS OHSAS 18001:2008 «Occupational health and safety management systems - Requirements»
9. ILO - OSH 2001 «Guidelines on Occupational Safety and Health Management Systems»
10. www.bureau-veritas.ru

Рукопис подано до редакції 26.03.15

УДК 669.054.8

Г.В. ГУБІН, д-р техн. наук, проф.,
Г.Г. ГУБІН, Т.П. ЯРОШ, кандидати техн. наук, доц.,
Криворізький національний університет

ДО ПИТАННЯ ПРО ПЕРЕРОБКУ ЧЕРВОНИХ ШЛАМІВ ЯК КОМПЛЕКСНОЇ ЗАЛІЗОВМІСНОЇ ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ

Наведені дані про хімічний і мінеральний склад червоних шламів – відходів глиноземного виробництва. Показано, що найбільш перспективним напрямом утилізації червоних шламів можна вважати чорну металургію. Доцільність використання червоних шламів у металургії обумовлена високим вмістом заліза, відношенням CaO: SiO₂ більш, ніж 1, та достатньо високим вмістом Al₂O₃. Однак використанню червоного шламу у складі доменної шихти заважає наявність у ньому до 6% лужних металів у вигляді оксидів натрію, калію і цирконію. Введення червоних шламів в агломераційну шихту до 2-5% можливо, але при цьому потрібно відпрацювання технології доменної плавки, і не вирішується проблема повної їхньої утилізації. При виробництві залізородних окатишів червоний шлам може бути використаний як зміцнювальна зв'язка замість дефіцитного лужного бентоніту. Але при цьому погіршуються фізико-хімічні й механічні властивості випалених окатишів і ускладнюються умови їх виробництва.

Запропонована безвідходна технологія пірометалургійної переробки червоних шламів методом рідкофазного відновлення. Даний спосіб переробки червоних шламів дозволяє одержати чавун, який направляється на сталеплавильний переділ або використовується в ливарному виробництві, та шлак, який можна використати для додаткового вилучення глинозему або як клінкер для отримання глиноземистого цементу. Продуктивність установки по переробці підсушеного до вмісту вологи 15% шламу може складати 350-380 тис. т на рік. З 1 тони переробленого червоного шламу буде виходити по даній технології приблизно 0,35 т чавуну і до 0,5 т глиноземистого клінкера.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В даний час у відстійниках Миколаївського глиноземного заводу накопичилося більш ніж 30 млн. т відходів, так званих червоних шламів. Як і будь-яке шламосховище, відстійники червоних шламів представ-

ляють значну загрозу навколишньому середовищу, особливо в разі їх переповнення і прориву. Про це свідчать події, які мали місце нещодавно в Румунії. Ця проблема загостриться ще сильніше, коли буде остаточно знято мораторій на продаж землі, тому що більше немає вільних земель для спорудження нових хвостосховищ. Тому, щоб не зупиняти завод, необхідно розпочати утилізацію червоних шламів.

Аналіз досліджень і публікацій. Червоні шлами завдяки своєму речовинному складу треба розглядати не просто як відходи глиноземного виробництва, а як вторинну техногенну сировину, що потребує комплексної переробки до отримання з них товарних продуктів. Червоні шлами можна ефективно використовувати в наступних галузях промисловості: чорній металургії, будівельній, скляній промисловості та сільському господарстві.

Підвищений вміст оксидів заліза, алюмінію і титану робить червоні шлами привабливими для витягу цих металів. Одержання металів можливо здійснювати різними способами [1-10]. У світі родовища бокситів сильно відрізняються по хіміко-мінералогічному складу, тому в процесі Байера потрібні різні умови для успішної екстракції оксиду алюмінію. В результаті переробки різних бокситів одержують червоні шлами різного складу. Наприклад, Гірниче Бюро США досліджувало технологію екстракції оксиду алюмінію, заліза і титану з ямайського червоного шламу. Одержання алюмінію за цією технологією потребує спікання шламу з карбонатом натрію для утворення алюмінату натрію. Останній розчиняється лугом і промивається. Витягання заліза відбувається при відновленні його оксиду до металу, який відділяється магнітною сепарацією і потім розплавляється з отриманням чавуну. Екстракція оксиду титану може здійснюватися різними способами. Класичний процес Кролю, що проводиться після карбохлорування, може бути застосований, якщо оксид титану знаходиться у вигляді рутилу. Якщо він знаходиться у вигляді перовскиту, його необхідно перевести в рутил за допомогою сульфатизації для одержання товарного продукту. Витягання оксиду титану викликає появу інших реакцій і може бути здійснено після виділення певних складових. Тому послідовність витягання продуктів з доданою вартістю є важливим питанням для успішної екстракції. Після виділення оксиду алюмінію, заліза і титану залишається матеріал, дуже схожий на портландцемент.

Найбільш перспективним напрямом утилізації червоних шламів можна вважати чорну металургію. Червоний шлам тут використовують як залізовмісну добавку в шихту при виготовленні агломерату й окатишів із залізородного концентрату для доменного процесу. Однак використанню червоного шламу у складі, наприклад, доменної шихти заважає наявність у ньому до 6% лужних металів у вигляді оксидів натрію, калію і цирконію. Дослідження додавання червоних шламів в аглошихту показують, що введення їх до 2-5 % можливо, але при цьому потрібно відпрацювання технології доменної плавки, і головне, не вирішується проблема повної їхньої утилізації [11]. При виробництві залізородних окатишів червоний шлам може бути використаний як зміцнювальна зв'язка замість дефіцитного лужного бентоніту. Але дослідження інституту «Механобрчормет» (м. Кривий Ріг) у 80-х роках показали, що при використанні червоного шламу Миколаївського глиноземного заводу погіршуються фізико-хімічні й механічні властивості випалених окатишів і ускладнюються умови їх виробництва [12].

Для утилізації червоних шламів запропоновані різні технології, одна з яких запропонована Криворізьким національним університетом і Інститутом геохімії навколишнього середовища НАН України [12-14].

У даний час відомо ряд технологій рідкофазного відновлення, наприклад, Romelt, DIOS, Hismelt та ін., які дозволяють використовувати в якості залізородної частини шихти неокисковані тонкоподрібнені матеріали, а в якості палива і відновника використовують некоксовіне вугілля [15].

Постановка завдання. Завданням даної роботи було розробка ефективних заходів щодо переробки червоних шламів як комплексної залізовмісної техногенної сировини з одночасним підвищенням екологічної безпеки виробництва.

Викладення матеріалу та результати. Червоні шлами – це піщано-глиниста грудкова маса, пронизана оксидами заліза. Найбільше значення для байеровського шламу має гематит, який є баластним матеріалом. Він має найбільшу щільність і найбільший розмір часток при питомій поверхні $1,5 \text{ м}^2/\text{г}$, що суттєво впливає на швидкість осадження та згущення в системі промивки.

Залежно від якості бокситу і особливостей його переробки червоний шлам містить, %: 40-55 Fe₂O₃, 14-18 Al₂O₃, 5-10 CaO, 5-10 SiO₂, 4-6 TiO₂, 2-4 Na₂O. Мікрокомпонентний склад шла-мів наступний, г/т: 5 Cu, 10 Be, 50 B, 4 S, 0,2 Co, 30 Ga, 30 Se, 20 La, 30 Ce, 20 Mo, 8 V, 20 Ni [10]. Хімічний склад шла-мів Миколаївського глиноземного заводу (МГЗ) та Запорізького алю-мінієвого комбінату (ЗАЛК) наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад відвальних червоних шла-мів [9]

| Підприємство | Рік | Вміст основних оксидів, % мас. | | | | | | | |
|--------------|------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-----|------------------|-------------------|------|
| | | п.п.п. | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | CaO | TiO ₂ | Na ₂ O | інші |
| ЗАЛК | 1979 | 8,6 | 16,6 | 7,0 | 48,8 | 8,2 | 5,3 | 4,8 | 6,7 |
| | 1983 | 9,4 | 15,3 | 6,3 | 50,7 | 8,1 | 6,3 | 4,2 | - |
| МГЗ | 1979 | 10,7 | 12,1 | 4,1 | 59,7 | 7,7 | 5,7 | 1,7 | - |
| | 1983 | 10,9 | 12,2 | 4,6 | 56,7 | 7,7 | 5,4 | 1,8 | 1,3 |

Щільність червоного шламу – 2,8 кг/м³. Гранулометричний склад і питома поверхня червоного шламу залежать від тонкості помелу бокситу, хімічного диспергування часток бокситу в процесі їх автоклавного вилуговування, розмірів фаз, що утворюються, і агрегації часток шламу в процесі відмивання і згущення під впливом коагулянтів-флокулянтів. У практиці переробки більшості типів бокситів за способом Байєра їх подрібнюють на 60-80 % (по масі) у середньому до мінус 0,063 мм. Мінеральний склад різних фракцій відрізняється.

Фракція 100-250 мкм складається з кварцу, гематиту, кальциту, у фракції 50-100 мкм переважають гематит, алюмогетит, в якому 5-8% заліза заміщено алюмінієм, у фракції 10-50 мкм спостерігається гематит, алюмогематит, алюмогетит, в якому 7-12% Fe заміщено Al, підвищується вміст гідрогранатів, а у фракції менше 10 мкм основу складають гідроалюмосилікати типу канкриніту, гідрогранат, вторинний карбонат, алюмогетит, в якому 25% Fe заміщено Al, гідрогематит, рутил.

У процесі зберігання в шламах здійснюються певні зміни під впливом технічної води з рН=11-13, діоксиду вуглецю та кисню, які потрапляють у розчин з повітря. Хімічні перетворення в шламах значно підвищуються під дією температури. Основними активними фазами шла-мів є гідрогранати кальцію (нозеан і канкриніт), які під впливом вуглекислого газу через 1-3 роки розкладаються на гідрокарбоалюмінат кальцію і аморфний кремнезем. На швидкість протікання цього процесу впливає кількість кремнезему в гідрогранаті, що сповільнює цей процес і наявність ізоморфних домішок заліза й титана.

Алюмогетит і гематит в умовах шламонакопичувача не змінюються. Присутність гідрокарбоалюмінату кальцію добре фіксується рентгенофазовим аналізом у лежалих шламах. Під впливом підвищеної температури він розкладається на карбонат кальцію і гідроаргіліт.

Гідроалюмосилікати натрію шламосховища під впливом розчиненого в технічній воді CaO, піддаються низькотемпературній каустифікації.

Слід зазначити, що хімічний склад всіх відвальних шла-мів змінюється згодом у бік зниження лужності і підвищення вмісту SiO₂.

Доцільність використання червоних шла-мів у металургії обумовлена високим вмістом заліза, відношенням CaO: SiO₂ більш, ніж 1, та достатньо високим вмістом Al₂O₃.

Серед згаданих вище процесів рідкофазного відновлення, перспективним і опробуваним на дослідно-промисловій установці є російський процес Romelt, розроблений в Московському інституті сталі і сплавів під керівництвом професора В.А. Роменца [16]. У 70-х роках у цьому ж інституті під керівництвом професора А.В. Ванюкова на кафедрі важких кольорових металів успішно велися роботи з промислового освоєння процесу переробки сульфідних мідно-нікелевих руд плавкою в рідкій ванні на Норільському гірничо-металургійному комбінаті. Цей досвід дозволив В.А. Роменцу спільно з А.В. Ванюковим і ін. у 1979 р. запропонувати принципово новий процес рідкофазного відновлення заліза в шлаковій ванні, що барботується кисневим дуттям, з допалюванням над ванною горючих газів. Це новий безперервний одностадійний

рідкофазний процес отримання чавуну з різної залізвмісної сировини і відходів з використанням марок вугілля, що не коксується.

Процеси рідкофазного відновлення доки не отримали значного поширення, проте мають непогані перспективи. Переваги технології рідкофазного відновлення:

виключає застосування дорогого металургійного коксу;

дозволяє застосовувати різні види залізорудної сировини, в тому числі й відходи металургійного виробництва без попереднього огрудкування;

забезпечує високий витяг заліза, дозволяючи переробляти незбагачені або слабозбагачені руди, зменшуючи втрати заліза і обсяги видобутої руди.

Альтернативні безкоксіві процеси по рівню енергоємності стають конкурентоздатними з традиційним аглококсодоменим виробництвом. По суті, це енерго-технологічні комплекси, що дозволяють виробляти метал, шлак для суміжних галузей промисловості і сільського господарства, а також електроенергію для власних потреб і на сторону за рахунок ентальпії відхідних газів.

Ще однією перевагою таких процесів є зниження впливу на навколишнє середовище, оскільки відсутнє коксохімічне виробництво та агломерація руд.

Принципову схему установки рідкофазного відновлення наведено на рис. 1.

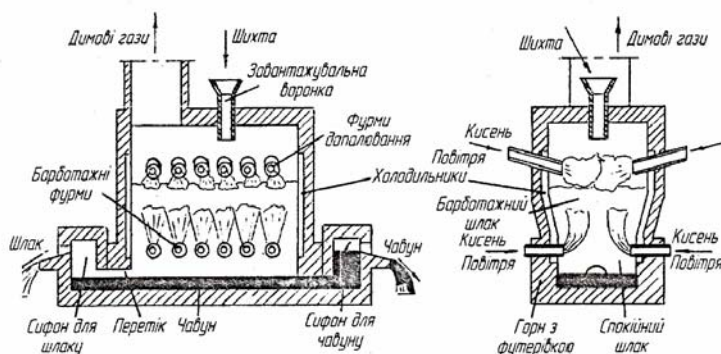


Рис. 1. Схема печі рідкофазного відновлення

Оксиди заліза відновлюються до металу вуглецем твердого палива, що завантажується на поверхню розплаву.

Залізо, яке утворилося у вигляді чавуну, збирається на подині агрегату.

Склад отриманого шлаку при необхідності коригується добавками флюсу залежно від його подальшого призначення.

Гази, що відходять, використовуються для сушіння, підігріву та попереднього відновлення оксидів заліза, а також для виробництва електроенергії.

Даний спосіб переробки червоних шлаків дозволяє одержати чавун, який направляється на сталеплавильний переділ або використовується в ливарному виробництві, та шлак, який можна використати для додаткового вилучення глинозему або як клінкер для отримання глиноземистого цементу.

Чавун, що отримується за даною технологією, відрізняється від доменного пониженим вмістом кремнію і марганцю (0,05-0,15 %).

Переробка червоних шлаків на установках з плавильно-відновними агрегатами є безвідходним виробництвом, оскільки пил вловлюється та повертається інжекторами в плавильну камеру в шламовий розплав.

Продуктивність установки по переробці підсушеного до вмісту вологи 15% шламу може складати 350-380 тис. т на рік. З 1 т переробленого червоного шламу буде виходити по даній технології приблизно 0,35 т чавуну і до 0,5 т глиноземистого клінкера.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Впровадження і використання установок та процесу рідкофазного відновлення дозволить вирішити проблему ефективної переробки шлаків по безвідходній, екологічно чистій технології з отриманням металу і шлаку для виробництва цементу та інших будівельних матеріалів або для довиймання глинозему.

Високий потенціал тепла вторинних енергоресурсів дозволяє забезпечити установку електроенергією, а надлишок відправляти стороннім споживачам. При всьому цьому вирішується проблема відведення землі для складування відходів.

Список літератури

1. **Furman, J.E. Mauser, M.O. Butler and W.A. Stikney.** Utilization of Red Mud Residues From Alumina Production// U.S. Bureau of Mines Report of Investigation 7454. – 1970.
2. **Piga, F. Pochetti and L. Stoppa.** Recovering Metals From Red Mud Generated during Alumina Production// JOM 45 (11). – 1993. - pp. 55-59.
3. **Braithwait G.B.** Patent No. 2078211 – A. (Jan. 1982).
4. **Guceione.** “Red Mud”, a Solid Waste, Can Now Be Converted To High-Quality Steel// Eng. Min. J. 172 (9). – 1972. – pp. 136-138.
5. **Vochon, R. Tyagi, J-C. Auclair and R.J. Wilkinson.** Chemical and Biological Leaching of Aluminum from Red Mud// Environ. Sci. Technol. 28 (1). – 1994. – pp. 26-30.
6. Vereinigte Aluminium-Werke. FR Patent No. 2117930 - A (Dec. 1971).
7. **Baetz, R.C. Lightbourne.** U.S. Patent No. 3690828 (Sept. 1972).
8. **B. Mishra, M. Slavic and D. Kirkpatrick.** Application of processed Red-Mud in Blast Furnaces// Proceedings the 2nd International Conference on RAMM 99. – 1999. – pp. 557-568.
9. **Корнеев В.И., Сусс А.Т., Цеховой А.Н.** Красные шламы (свойства складирование, применение). М.: Металлургия, 1991. – 144 с.
10. **Утков В.А., Мешин В.В., Ланкин В.П., Тесля В.Г.** Промышленные способы переработки красных шламов// Состояние, проблемы и направления использования в народном хозяйстве красного шлама. – Николаев. – 1999. – С. 11-13.
11. **Плотніков В.В., Ярош Т.П., Марасанова О.В.** Перспективи утилізації промислових відходів у металургійному виробництві// Вісник Криворізького національного університету. – Випуск 32. – 2012. – С. 215-219.
12. **Губіна В.Г., Кадошніков В.М.** Червоний шлам Миколаївського глиноземного заводу – цінна техногенна сировина// Геолого-мінералогічний вісник. – 2005. – № 2. – С. 122-126.
13. Промислові відходи України. Проблеми та шляхи їх вирішення/ **Т.В. Тарасова, В.Г. Губіна, Л.П. Кващук та ін.** – К.: Логос, 2011. – 199 с.
14. **Ладыгин А.В.** Использование жидкофазного восстановления для получения чугуна из красных шламов// Разработка рудных месторождений. – Выпуск 94. – 2011. – С. 217-219.
15. **Губін Г.В., Півень В.А.** Сучасні промислові способи безкоксової металургії заліза. – Кривий Ріг, 2010. – 336 с.
16. **Роменец В., Биласанов А.** Российская плавка// Металлы Евразии. – 2006. – № 6. – С. 70-75.

Рукопис подано до редакції 26.03.15

УДК 620.9: 621.771.065.+004.942: 621.771.065

А.А. ШЕПЕЛЬ, аспірантка, Криворізький національний університет

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ШИРОКИХ ПОЛОС

Разработана математическая модель, реализующая новую методику снижения энергозатрат для процесса горячей прокатки широких полос. Предложенная методика расчета учитывает специфику компоновки технологического оборудования непрерывного широкополосного стана горячей прокатки 1700 Мариупольского металлургического комбината имени Ильича, а также размерный и марочный сортамент сталей. С учетом технологических возможностей оборудования данного широкополосного стана горячей прокатки решены программно задачи расчета энергосиловых параметров обеспечивающих требуемые показатели качества готовой полосы. Исследовано влияние легирующих элементов в наиболее используемых марках стали, что позволило скорректировать их оптимальный химический состав с учетом температурного режима прокатки. Из существующих методик для расчета сопротивления деформации использована методика, которая позволяет определить мгновенное значение сопротивления деформации в широком диапазоне химического состава сталей, охватывающем практически весь сортамент углеродистых марок стали при условиях, характерных для их горячей прокатки, а так же позволяет рассчитать сопротивление деформации в любой точке очага деформации при прокатке в зависимости от температуры, скорости и накопленной деформации в данной точке. При этом обеспечивается возможность расчета давления металла на валки и момента прокатки с использованием дифференциальных уравнений контактных напряжений, не прибегая к их аналитическому преобразованию с достаточно грубыми упрощениями.

Ключевые слова: энергосиловые параметры, широкая полоса, горячая прокатка, энергосбережение, марка стали.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Сохранение конкурентоспособности на международных рынках стали обуславливает наряду с оптимизацией технологических режимов горячей прокатки разработку и реализацию мер по снижению энергетических затрат процесса. Металлургия считается одним из главных потребителей энергии. Прокатный передел занимает 2 место, после доменного производства по затратам энергии на изго-

товление готовой продукции, причем 95% приходится на долю газа и электроэнергии, что свидетельствует об актуальности внедрения энергосберегающих технологий в металлургии, в частности при прокатке широких горячекатаных полос. Удельный расход энергии на производимую продукцию, в итоге определяют энергосиловые параметры прокатки [1-4].

Анализ исследований и публикаций. Производство широкополосной горячекатаной стали в Украине сосредоточено на ШСГП 1700 ПАО ММК им. Ильича и 1680 ПАО «Запорожсталь». На ШСГП 1700 толщина прокатываемых полос соответствует 1,5-11 мм, а ширина –1000-1540 мм.

Данный стан имеет в своем составе методические печи, а также шесть черновых и шесть чистовых рабочих клетей. С целью повышения качества поверхности полосы и уменьшения ее разнотолщинности на последних трех чистовых клетях установлены гидравлические нажимные устройства ГНУ и осевое перемещение рабочих валков, которые обеспечивают точность профиля и формы полосы соответственно требованиям международных стандартов. Техническая характеристика рабочих клетей широкополосного стана горячей прокатки 1700 Мариупольского металлургического комбината им. Ильича представлена в табл. 1.

Таблица 1

Техническая характеристика рабочих клетей ШСГП 1700 [5]

| Номер клетки | Диаметр рабочих валков, мм | Диаметр опорных валков, мм | Скорость прокатки, м/с | Главный электродвигатель | | Расстояние до предыдущей клетки, м |
|--------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------------------|-----------|------------------------------------|
| | | | | мощность, кВт | n, об/мин | |
| ок | 900-810 | | 0,84 | 4000 | 600 | - |
| 1 | 1020-900 | 1450-1370 | 1,27 | 4000 | 600 | 10,15 |
| 2 | 1020-900 | 1450-1250 | 1,35 | 4000 | 600 | 18,50 |
| 3 | 880-810 | 1300-1170 | 1,74 | 4000 | 600 | 22,98 |
| 4 | 880-810 | 1300-1184 | 1,74 | 4000 | 600 | 35,42 |
| 4а | 880-810 | 1300-1170 | 2,9 | 4000 | 600 | 53,00 |
| 5 | 675/665 | 1325/1245 | 1,32-2,5 | 8000 | 175-330 | 6 |
| 6 | 646/625 | 1325/1260 | 1,9-3,6 | 8000 | 175-330 | 5,8 |
| 7 | 665/646 | 1325/1260 | 3,75-8,15 | 8000 | 110-240 | 5,8 |
| 8 | 676/655 | 1325/1270 | 3,75-8,15 | 8000 | 110-240 | 5,8 |
| 9 | 692/676 | 1325/1270 | 5,95-11,2 | 8000 | 175-330 | 5,8 |
| 10 | 705/692 | 1325/1270 | 5,95-12,5 | 2 _{шт.} ^x 5000 | 175-330 | 5,8 |

Развитие современных широкополосных станов идет по трем взаимосвязанным основным направлениям, а именно: снижение тепловых потерь при прокатке, повышение качества горячекатаных полос, в первую очередь, их точности и плоскостности [6-11].

Снижение требуемой температуры нагрева заготовок, обусловленной температурой конца прокатки, позволяет снизить расход энергоносителей непосредственно на участке нагрева. Пластичность прокатываемого материала, а, следовательно, и энергосиловые параметры процесса, то есть расход электрической энергии, потребляемой двигателями рабочих клетей прокатного стана, также непосредственно связаны с температурой прокатки. Кроме того, нестабильность температурного режима, в частности, «температурный клин» - неравномерность распределения температуры по длине полосы, вызванная повышенным охлаждением ее заднего конца по отношению к переднему - приводит к снижению точности горячекатаной металлопродукции [6,12].

Сопротивление деформации является важнейшей характеристикой деформируемой стали, которая определяет энергосиловые и кинематические параметры процесса прокатки. Величина сопротивления деформации определяется химическим составом и структурой деформируемого металла, степенью и температурно-скоростными условиями деформации [13-15].

В реальных условиях технологического процесса невозможно абсолютно точно и адекватно учесть всю доступную информацию. Повышение эффективности производственных процессов невозможно без усовершенствования и разработки новых методов моделирования.

Широкое использование в теории прокатки математических моделей позволяет предвидеть результаты внесения тех или иных изменений в технологию процесса прокатки или конструкцию стана, что позволяет выбрать оптимальный вариант решения поставленной задачи, в данном случае, снижения энергетических затрат, и свидетельствует об актуальности работы.

Постановка задачи. Целью работы является определение наиболее оптимального режима горячей прокатки с точки зрения затрат электроэнергии.

Изложение материала и результатов. Одним из основных энергосиловых параметров при термической обработке металлов является мощность прокатки. Для расчета данного параметра нами использовалась наиболее широко применяемая на практике формула [16]

$$N_{np} = \frac{M_{np} \cdot n_{об}}{0,975}, \text{ кВт} \quad (1)$$

где $n_{об}$ – число оборотов валков в минуту, об/мин; M_{np} – момент прокатки, МН·м. С другой стороны, момент прокатки может быть вычислен следующим образом: $M_{np} = 2 \cdot P \cdot \psi \cdot l_{\delta}$, МН·м, где l_{δ} – длина геометрического очага деформации, м; ψ – коэффициент плеча, показывающий, какую часть от длины очага деформации составляет плечо; $\psi = 0,498 - 0,283(l_{\delta}/h_{cp})$, при $l_{\delta}/h_{cp} = 0,5 \div 7$; h_{cp} – средняя толщина полосы мм; P – сила прокатки, МН. [16,17]

Силу прокатки определялось по формуле: $P = p_{cp} F$, где F – площадь контакта с валками, м; p_{cp} – среднее контактное нормальное давление, МПа; $p_{cp} = 1,15 \cdot \sigma_s \cdot n_{\sigma}$ [13].

Коэффициент напряженного состояния (при $m > 2$) определяется из выражения: $n_{\sigma} = 0,75 + 0,25m$, $m = l_{\delta}/h_{cp}$.

При расчете в качестве исходной заготовки использовали сляб с параметрами 152×1420×6000 мм. Исходные данные для расчетов указаны в табл. 2

Таблица 2

| Исходные данные параметров прокатки по клетям стана Параметр | Номера клетей стана | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------|-------|-------|-------|-------|-----|---|----------|---------|-----------|-----|-----------|-----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Δh_f , мм | 20 | 45 | 31 | 17 | 12 | 10 | 7 | 3 | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 | 0,5 |
| Δh_b , мм | 0 | 0 | 45 | 35 | 15 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| R , мм | 450 | 475 | 475 | 440 | 440 | 440 | | 325 | 325 | 325 | 325 | 325 | 325 |
| V , м/с, согласно паспортным данным оборудования | 0,84 | 1,27 | 1,35 | 1,74 | 1,74 | 2,9 | | 1,32-2,5 | 1,9-3,6 | 3,75-8,15 | | 5,95-11,2 | 12 |
| L_m , м | | 10,15 | 18,50 | 22,98 | 35,42 | 53 | | 6 | 5,8 | 5,8 | 5,8 | 5,8 | 5,8 |

Для расчета минимальных затрат электроэнергии при прокатке полосы использован алгоритм случайного поиска (рис.1). Находим заданное количество оптимальных, с точки зрения затрат электроэнергии, по содержанию химических составляющих марок сталей.

Используя источник «Технологическая инструкция ТИ 227-П.ГЛ-21-2005 ОАО «Мариупольский металлургический комбинат имени Ильича». Производство горячекатаной листовой стали на непрерывном широкополосном стане 1700» подбираем по полученным результатам наиболее оптимальные по условиям используемого технологического режима прокатки марки стали (табл. 3).

Таблица 3

Оптимальные марки стали по условиям используемого режима прокатки

| Марка стали | C | Si | Mn | Ni | S | P | Cr | Cu | As | N |
|-------------|-------------|-------------|------------|---------|---------|----------|--------|------------|---------|----------|
| 08кп | 0,05 - 0,11 | до 0,03 | 0,25 - 0,5 | до 0,25 | до 0,04 | до 0,035 | до 0,1 | до 0,25 | до 0,08 | |
| 10Г2С1(Д) | до 0,12 | 0,8 - 1,1 | 1,3 - 1,65 | до 0,3 | до 0,04 | до 0,035 | до 0,3 | 0,15 - 0,3 | до 0,08 | до 0,012 |
| 09Г2(Д) | до 0,12 | 0,17 - 0,37 | 1,4 - 1,8 | до 0,3 | до 0,04 | до 0,035 | до 0,3 | 0,15 - 0,3 | до 0,08 | до 0,012 |
| Ст3сп | 0,14 - 0,22 | 0,15 - 0,3 | 0,4 - 0,65 | до 0,3 | до 0,05 | до 0,04 | до 0,3 | до 0,3 | до 0,08 | до 0,008 |

| Расчет контактного давления | | | | | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Результат Выход | | | | | | | | | | | |
| Способ задания состава стали | | | | | | | | | | | |
| <input type="radio"/> Случайный <input type="radio"/> Перебор <input type="radio"/> По мин. знач. <input type="radio"/> По макс. знач. <input checked="" type="radio"/> По средним знач. <input type="radio"/> Задать знач. | | | | | | | | | | | |
| Химический состав стали | | | | | | | | | | | |
| Хим. состав | C | Si | Mn | Ni | S | P | Cr | Cu | V | | |
| Процент содержание | 0,575 | 0,825 | 0,790 | 0,150 | 0,025 | 0,025 | 0,150 | 0,140 | 0,130 | | |
| Энергия деформации Q = 351022,91 | | | | | | | | | | | |
| Скоростная константа A = 1,089076289 | | | | | | | | | | | |
| № клетки | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 21.время прокатки | 0,00 | 7,99 | 13,70 | 13,21 | 20,36 | 18,28 | 0,00 | 2,33 | 1,61 | 1,13 | 0,81 |
| 22.Δ-падение температуры | 0,00 | 5,19 | 13,16 | 18,86 | 38,51 | 44,33 | 0,00 | 14,04 | 13,29 | 12,53 | 12,31 |
| 23.Т-температура выхода | 1200,00 | 1194,80 | 1181,60 | 1162,80 | 1124,30 | 1079,90 | 1079,90 | 1065,90 | 1052,60 | 1040,10 | 1027,80 |
| 24.Ерз-относит.деформация | 0,14 | 0,42 | 0,44 | 0,36 | 0,37 | 0,46 | 0,53 | 0,36 | 0,34 | 0,36 | 0,34 |

Рис. 1. Окно изображения программы для вычисления энергосиловых параметров (контактного давления)

Для расчета сопротивления деформации σ_s использована эмпирическая формула (2), которая позволяет определить мгновенное значение сопротивления деформации в широком диапазоне химического состава сталей, охватывающем практически весь сортамент углеродистых марок стали при условиях, характерных для их горячей прокатки. Данная методика позволяет рассчитать сопротивление деформации в любой точке очага деформации при прокатке в зависимости от температуры, скорости и накопленной деформации в данной точке. При этом обеспечивается возможность расчета давления металла на валки и момента прокатки с использованием дифференциальных уравнений контактных напряжений, не прибегая к их аналитическому преобразованию с достаточно грубыми упрощениями [14]

$$\sigma_s = \sigma_y + (\sigma_p - \sigma_y) \left\{ \frac{2\varepsilon_x - \varepsilon_p}{\varepsilon} \exp\left(\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_x}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{\varepsilon}{\varepsilon_x}\right) \right] - \exp\left(\frac{\varepsilon_p - \varepsilon}{\varepsilon_x}\right) \right\}, \quad (2)$$

где $\sigma_y = 51,23(Z/A)^{0,133}$ - установившееся напряжение, при котором наступает равновесие процессов упрочнения и динамической рекристаллизации; $\sigma_p = 72,22(Z/A)^{0,133}$ - максимальное сопротивление деформации; $\varepsilon_p = 0,236(Z/A)^{0,109}$ - логарифмическая деформация максимума деформационного упрочнения; $\varepsilon_x = 0,194(Z/A)^{0,109}$ - относительная деформация, соответствующая началу динамической рекристаллизации; $Z = u \cdot \exp(Q/8,318T)$ - комплексный температурно-скоростной параметр (8,318 Дж·моль⁻¹К⁻¹ - универсальная газовая постоянная); T - температура деформации, К; u - скорость деформации, с⁻¹; Q - энергия активации деформации.

Для расчета текущей температуры металла, проходящего через i -ю клетку использовалась следующая формула [12]

$$T_i = T_0 - \left[T_0 + 273 - \left(1000 / \sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{t+273}{100}\right)^3 + 0,055 \frac{\tau}{H_i}}} \right) \right],$$

где τ - время прокатки, с; H_i - толщина полосы перед клетью, мм.

Энергия активации деформации вычисляется по формуле

$$Q = 308700 + 37100 \ln(C\%) + 10900 \ln(C\%)^2 + 2700(Si\%) + 8100(Mn\%) + 337100(Cr\%) + 249900(Ni\%) - 119230(Cu\%) + 180850(V\%) - 288100(P\%) - 855000(S\%),$$

где $\varepsilon = \ln(h_0/h_1)$ логарифмическая относительная деформация; $A = 0,146 \cdot \exp(9,1 \times 10^{-5} Q)$ - скоростная константа деформируемой стали.

Данная методика расчета применима при прокатке сталей следующего химического состава:

| C | Si | Mn | Ni | S | P | Cr | Cu | V |
|----------|--------|-----------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| 0,05-1,1 | 0-1,65 | 0,03-1,55 | ≤0,3 | ≤0,05 | ≤0,05 | ≤0,3 | ≤0,28 | ≤0,26 |

| Расчет мощности | | | | | | |
|--|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Выход | | | | | | |
| № клетки | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. P-усилие прокатки, МН*м | 7,02 | 16,65 | 15,98 | 12,88 | 13,28 | 17,96 |
| 2. K _{си} -коэф плеча | 0,48 | 0,46 | 0,45 | 0,45 | 0,44 | 0,41 |
| 3. M _{пр} -момент прокатки, МН*м | 0,64 | 2,24 | 1,75 | 0,99 | 0,84 | 0,98 |
| 4. N _{пр} -мощность прокатки, кВт | 392,4 | 1378,8 | 1074,1 | 612,2 | 517,5 | 605,1 |
| Суммарная мощность 5101,3 | | | | | | |

Рис. 2. Окно программы для расчета мощности прокатки

Выводы и направления последующих исследований.

Предложенная методика расчета учитывает специфику компоновки технологического

оборудования непрерывного широкополосного стана горячей прокатки 1700 ММК им. Ильича, а также размерный и марочный сортамент сталей.

С учетом технологических возможностей оборудования данного широкополосного стана горячей прокатки решены программно задачи расчета энергосиловых параметров обеспечивающих требуемые показатели качества готовой полосы.

Список литературы

1. Шепель А.А. Совершенствование технологий и оборудования процесса прокатки на широкополосных станах первого поколения / Технологический аудит и резервы производства №5 1(19), 2014 С. 45-51
2. Жучков С. М. Оптимизация расхода энергии при непрерывной сортовой прокатке: монография / С. М. Жучков, А. П. Лохматов, Л. В. Кулаков. - К.: Наук.думка, 2008. - 191 с.
3. Снижение энергозатрат при прокатке полос /А.Л. Остапенко, Ю.В. Коновалов, А.Е.Руднев, В.В. Кисель. – К.: Техніка, 1983. – 223 с.
4. Оптимизация расхода энергии в процессах деформации / А.Хензель, Т.Шпиттель, М.Шпиттель и др. – М.: Металлургия, 1985. – 184 с.
5. Коновалов, Ю.В. Справочник прокатчика. Книга 1. Производство горячекатаных листов и полос [текст] / Ю.В. Коновалов. – М.: Теплотехник, 2008. – 640 с.
6. Грудев, А.П. Технология прокатного производства [текст]: Учебник. / А.П. Грудев, Л.Ф. Машкин, М.И. Ханнин. – М.: Металлургия, 1994. – 656 с.
7. Сталь на рубеже столетий [Текст]: учебн. пособие / Л.Н. Белянчиков, Д.И. Бородин, В.С. Валавин и др. ; под научной редакцией Ю.С. Карабасова. – М.: МИСис, 2001. – 664 с.
8. Рудской, А. И. Теория и технология прокатного производства [текст]: учебн. пособие / А. И. Рудской , В. А. Лунев. – СПб. : Наука, 2008. – 525 с.
9. Полухин П.И. Прокатное производство [текст]: Учебник / П.И. Полухин, Н.М. Федосов, А.А. Королёв, Ю.М. Матвеев. – М.: Металлургия, 1982. – 696 с.
10. Диомидов, Б.Б. Технология прокатного производства [текст]: учебн. пособие / Б.Б. Диомидов, Н.В. Литовченко – М.: Металлургия, 1979. – 488 с.
11. Василев Я.Д., Мінаєв О.А. Теорія повздовжньої прокатки. – Підручник. – Донецьк: УНІТЕХ 2009. – 488 с.
12. Третьяков А.В. Температурный режим работы валков прокатных станов. М.: Металлургия, 1964-285 с.
13. Зюзин В. И., Бровман М. Я., Мельников А. Ф. Сопротивление деформации сталей при горячей прокатке. - М.: Металлургия, 1964. - 270 с.
14. 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.
15. 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.
16. Технология процессов прокатки и волочения. Листопрокатное производство [текст]: учебн. / М.М. Сафьян, В.Л. Мазур, А.М. Сафьян, А.И. Молчанов. – К. : Вища школа, 1988. – 352 с.
17. Целиков А.И. Теория расчета усилий в прокатных станах. М.: Металлургиздат, 1962. – 494 с.

Рукопис подано до редакції 26.03.15

А.М. ДРАБЧУК, аспірант, Ю.П. КАЛІНІЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ПОТЕНЦІАЛ ЗАЛУЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ КОНВЕЄРНИХ СИСТЕМ

В статті автори торкаються теми необхідності залучення новітніх інформаційних технологій в процеси розроблення систем уловлювання стрічок конвеєрів під час аварійного виходу з ладу останніх. Також, автори аналізують можливі шляхи та підходи до впровадження високоточних математичних моделей моделювання процесів уловлювання стрічок конвеєрів уловлювачами під час аварійного пориву стрічки в процесі роботи конвеєра. Також, значна увага приділяється аналізу факторів, що впливають на тривалість строку служби конвеєрної стрічки, а також виявленню випадкових негативних впливів на стрічку конвеєра. Намагаються означити напрями подальших досліджень та розробляють теоретичну складову моделювання процесу уловлювання стрічки під час її обриву а також теоретично окреслюють межі деяких практичних величин, котрі впливають на процес уловлювання стрічки конвеєрів під час її обриву. Окреслені подальші напрями досліджень дають авторам уявлення про порядок величин, що будуть отримані в процесі натурних досліджень, а також нададуть змогу сконцентруватись на найбільш важливих факторах та тенденціях у процесах уловлювання. В статті автори наводять своє бачення теоретичної частини майбутніх досліджень для дисертаційної роботи.

Комп'ютерні технології за останні 50 років зробили величезний крок вперед. Ще у 60 роках людство використовувало ЕОМ для відправлення людини у космос, а зараз – за допомогою персональних комп'ютерів маємо можливість прораховувати складні процеси руху середовищ та напруження у різних конструкціях. За наявності відповідних навичок навіть одна людина спроможна створити переворот у вирішенні конкретних задач.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Останнім часом все більше та більше залучаються комп'ютери та спеціалізовані програми для проектування машин та агрегатів. Комп'ютерне моделювання допомагає зекономити чимало часу при вирішенні будь-яких інженерних задач.

Однак, основна перепона є в тому, що відносно мала кількість спеціалістів володіє спеціалізованим програмним забезпеченням на потрібному рівні. Це пов'язано, насамперед, з тим, що наша держава є у ролі наздоганяючого. У розвинених країнах майже всі розробки проходять етапи моделювання та вдосконалення технічних та геометричних характеристик за допомогою програмного забезпечення. Тобто, кожна деталь, кожен вузол, кожен агрегат спочатку проектується, збирається, тестується, вдосконалюється у комп'ютерному середовищі, штучно створеному середовищі, котре здатне симулювати комп'ютерна програма. І тільки після цього, коли всі характеристики задовольняють вимогам проекту, коли всі деталі та вузли працюють максимально ефективно – починається виготовлення та збирання справжнього агрегату.

На нашу думку, саме це є перевагою та беззаперечною причиною необхідності загального впровадження способу попереднього комп'ютерного моделювання агрегатів перед їх виготовлення та впровадження у технологічний процес на виробництві.

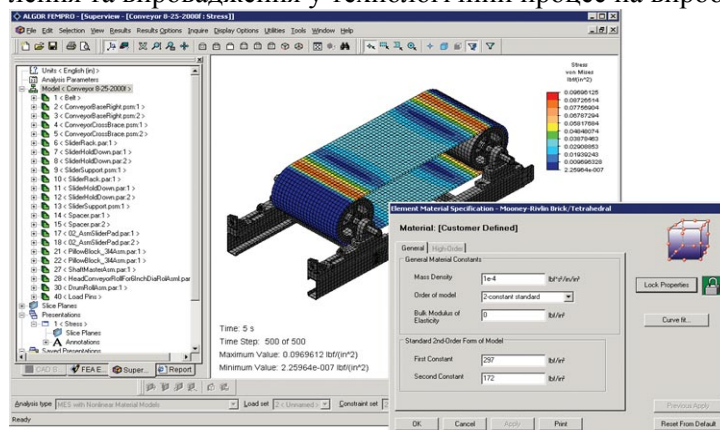


Рис. 1. Ілюстрація розподілення навантажень в конвеєрній стрічці виконана у програмі Algor MES [11]

Аналіз досліджень і публікацій. У світі вже протягом кількох десятиліть використовують комп'ютерні технології для розроблення конвеєрних систем, моделювання поведінки стрічки, дистанційного моніторингу її стану у реальному часі, прогнозування вірогідності аварії на тій чи іншій конвеєрній системі в реальному часі, тощо.

На теперішній час найбільш актуальними стають високоточні математично-комп'ютерні моделі, що спроможні надати вичерпні дані по роботі системи з наданням таблиць,

графіків, діаграм, таблиць та зробити достатньо точний прогноз подальшої роботи та стабільності системи.[1-10]. Найбільш прогресивним є аналіз елементів конструкції за МКЕ (метод кінечних елементів) та лінійного або нелінійного аналізу.[12-13]. Він надає можливість найбільш точно розглянути та обрахувати поведінку будь-якої деталі.

Постановка завдання. Впровадження новітніх систем комп'ютерного моделювання у процес розроблення нових та вдосконалення існуючих систем уловлювання конвеєрних стрічок є одним із пріоритетних напрямів в проектуванні систем безперервного транспорту.

Застосування даного методу дозволить опрацювати існуючі гіпотези та теорії щодо доцільності різних режимів уловлювання стрічок різними конструкціями уловлювачів. У той же час, дозволить розробити математичні моделі поведінки кінця стрічки у момент обриву та поведінки її в момент уловлювання.

Викладення матеріалу та результати. Під час експлуатації конвеєрних систем одним із найважливіших елементів конструкції щодо забезпечення їх безаварійної роботи є уловлювачі конвеєрних стрічок. Навіть після аварійного пориву стрічки конвеєра уловлювачі допомагають мінімізувати втрати вантажу та затрати на ліквідацію пошкоджень, що може викликати потік породи. Тому проектування й експлуатація уловлювачів проводиться відповідно до вимог гірничого виробництва, а саме здатність уловлювачів швидко зупинити стрічку конвеєра, що спадає, після її аварійного пориву.

Простота конструкції допомагає зменшити витрати на обслуговування, а за правильного підходу до проектування - проста конструкція має менше шансів на відмову чи вихід з ладу її окремих елементів.

Важливим і складним етапом моделювання системи уловлювання стрічки при створенні аварійних ситуацій в роботі конвеєра носить багатофакторний характер навантажень, напружень різних типів, видів та величин, а також різниця у роботі матеріалів стрічки конвеєра та його ставу. Серед них найбільш суттєвим є те, що уловлювач стрічки повинен спрацювати як при розриві стрічки, так і при її зворотньому русі сумісно з вантажем при аварійній зупинці привода конвеєра. Також, уловлювач повинен забезпечувати зупинення руху стрічки в в такому режимі, при якому навантаження на стрічку не носитимуть руйнівний характер як конструкції уловлювача, так і складників стрічки. Крім того, конструкція уловлювача повинна бути максимально простою, найбільш ефективною в роботі, а також максимально простою та непримхливою в експлуатації.

Водночас правильний вибір місця розташування уловлювачів на конвеєрному ставі відіграє не останню роль в ефективності роботи конвеєра. Так, устроюючи уловлювачі біля натяжної станції похилого конвеєра, ефективність роботи зводиться практично до нуля. Це відбувається через те, що навантажена стрічка конвеєра дуже рідко рветься в зоні натяжного барабану. У цій зоні на стрічку діють лише зусилля розтягу від натяжних станцій та невеликої кількості руди, що навантажена на цю стрічку. У зоні біля натяжного барабану може розриватися зношена стрічка, або стрічка на яку впливають маловірогідні фактори, наприклад аварійний вихід з ладу окремих елементів конвеєра, що створить надмірні зусилля розтягу, тощо.

Установлення уловлювачів у зоні біля приводного барабану конвеєра є найбільш доцільним. Це зумовлюється тим, що в цій зоні на стрічку діють значно більші навантаження, ніж у зоні біля натяжної станції. Тут багатократно зростають зусилля натягу від приводного барабану, що створює крутний момент; обсяг матеріалу, що транспортується, який розподіляється по всій довжині стрічки, досягає максимальних значень, що також створює дуже великі зусилля повздожнього розтягу у стрічці. Також, у цьому випадку, не менш важливим є й провисання стрічки між підтримуючими роликками під дією вантажу. Подолання опору, що створює провисання стрічки, помножений на довжину конвеєра та ступінь завантаженості останнього, викликає теж великі диссипативні зусилля розтягу, що негативно впливають на стан конвеєрної стрічки.

Суттєвим моментом у питанні вибору місця розташування уловлювача є визначення кількості уловлювачів. На практиці на конвеєрних лініях може бути встановлено один або декілька уловлювачів. Крім того, для типів уловлювачів, у яких до складу загальної конструкції входять пристрої попереднього реагування на обрив стрічки, важливим фактором є вибір місця установки їх по відношенню до основної конструкції уловлювача.

Це обумовлено тим, що збільшення кількості уловлювачів підвищує загальну можливість системи протидіяти наслідкам поривів стрічки. Але в той же час, збільшення їх кількості призводить до збільшення витрат на їх обслуговування та безпосередньо монтаж.

Тож, локалізація зони найбільших навантажень на стрічку конвеєра під час його роботи, а отже і місця найбільш вірогідного пориву стрічки конвеєра є основним фактором у виборі місця установки уловлювачів або системи уловлювачів на ставі конвеєра.

Не слід забувати про те, що сировина, яка транспортується на конвеєрах гірничого комплексу також зношує стрічку. Це відбувається через абразивність сировини, гострих країв шматків породи, вплив корозійних факторів на стрічку з боку сировини, а також коливання, що створюються у стрічці під час завантаження цієї сировини з бункера.

Комбінація всіх означених чинників сприяє тому, що стрічка зношується скоріше, ніж це передбачено експлуатаційними характеристиками. За наявності вищевказаних факторів зношення стрічка і розривається в зоні найбільших навантажень на неї, а саме в зоні приводного барабану конвеєра.

Слід зауважити, що "зона біля приводного барабану" є достатньо розпливчатим поняттям. На сьогоднішній день проведено дуже мало досліджень, які були б спрямовані на пошук та вибір оптимального місця розташування уловлювачів стрічок.

Безпосередньо процес уловлювання також значним чином впливає на стрічку. Залежно від швидкості уловлювання, характеру зусиль, що діють з боку уловлювачів на стрічку, кількості вантажу та його фізико-механічних властивостей, стрічка та вантаж можуть вести себе по-різному.

Так, розглядаючи сукупно стрічку та вантаж, можливо зробити висновок, що швидкість та характер уловлювання головним чином впливають на сам процес уловлювання та на стан стрічки з вантажем після остаточної зупинки конвеєрної стрічки.

З огляду на теоретичний аспект, діапазон швидкостей уловлювання стрічки можна розглядати в таких межах: від майже миттєвого захоплення стрічки з прикладанням максимальних зусиль до повільного захоплення її з поступовим збільшенням зусиль захоплення.

Добір оптимальних параметрів захоплення є одним із ключових факторів правильної роботи уловлювача. Дуже різке захоплення стрічки, завантаженої сипучим вантажем, може спровокувати її деформацію, викликавши пружну хвилю.

При цьому кінетична енергія від такої деформації може передатись вантажу та розсіпатися його по конвеєрній галереї.

З іншого боку, порівняно повільне захоплення стрічки уловлювачем може виявитись не достатньо швидким, що спричинить проковзування стрічки між робочими органами уловлювачів а також її вихід із зони уловлювання.

У цьому випадку навантажена стрічка буде рухатись у бік натяжної станції, спричиняючи руйнування конструкціям конвеєра.

Серед вищевказаних прикладів аварійних ситуацій, що потребують розробки процесу моделювання системи уловлювання стрічки конвеєра при поперечному її пориві, є уловлювання стрічки та зупинка конвеєра під час повздовжнього прорізу стрічки.

Явище повздовжнього порізу стрічки спостерігається в місцях завантаження конвеєра шляхом контакту з гострим предметом, який виходить із завантажувального пристрою сумісно з основним потоком сипучого вантажу

Цей фактор є особливо небезпечним, тому що при несвочасній зупинці конвеєра може відбуватись поріз стрічки по всій її довжині з вимушеною заміною останньої.

Емпіричний добір оптимальних параметрів у поєднанні з новітніми методами комп'ютерного моделювання – єдиний метод забезпечити максимально можливий коефіцієнт ефективності та надійності роботи уловлювачів конвеєрних стрічок.

У той же час, емпіричний метод підбору параметрів може дати лише наближені результати. Для того, щоб окреслити очікувані результати досліджень представимо табл. 1, у якій визначено найбільш перспективні напрями.

Такі широкі межі допуску часу вказані через те, що заздалегідь невідомо скільки часу потрібно на уловлювання стрічки конвеєра на тому чи іншому конвеєрі, а також як повинен протікати процес уловлювання, щоб не пошкодити стрічку.

Про це вже згадувалось раніше.

Теоретично очікуваний характер уловлювання конвеєрної стрічки

| Характер уловлювання | Час уловлювання, мс |
|----------------------|---------------------|
| Надшвидке | 20-50 |
| Швидке | 50-100 |
| Помірне | 100-300 |
| Повільне | 300-500 |
| Надповільне | 500-1000 |

Розглянемо надшвидкий характер уловлювання. При такій швидкості уловлювання очевидним плюсом є те, що стрічка конвеєра з вантажем, що починає рухатись у протилежному боці від основного напрямку руху конвеєра, майже миттєво зупиняється. На перший погляд навантажена стрічка з сипучим матеріалом практично не має часу з'їхати в напрямі натяжної станції та зруйнувати конструкції конвеєра.

Однак, при такому характері уловлювання можливе виникнення пружної хвилі в повздовжньому перерізі стрічки в наслідок раптового захоплення останньої. Ця пружна хвиля може бути настільки потужною, що може викинути дрібно- та середньозернистий сипучий матеріал з простору стрічки. В той же час, різке захоплення конвеєрної стрічки може зруйнувати поверхневих обкладковий шар стрічки а також може спричинити надмірні навантаження на конструкції уловлювача.

Швидкий режим захоплення може бути також руйнівним для поверхневого шару стрічки а також для контактних поверхонь башмаків уловлювачів. Як і в попередньому режимі захоплення стрічки вірогідність небажаних руйнувань у системі уловлювач-стрічка є дуже імовірним. Але з іншого боку, більш поступове захоплення стрічки є кращим для її поверхневого шару та контактних поверхонь уловлювачів.

З нашого погляду, помірний режим уловлювання є найбільш оптимальним. Це зумовлюється тим, що в такому режимі співвідношення сил затискування між контактними поверхнями башмаків уловлювача та силами, що намагаються висмикнути стрічку із зони уловлювання є оптимальним. На нашу думку, при такому режимі уловлювання має зберегтися обкладковий шар стрічки, збережеться цілою контактна поверхня башмаків уловлювача. А також, вірогідність виникнення пружної хвилі в стрічці стає достатньо низькою для того, щоб не брати цю вірогідність до уваги.

При повільному режимі уловлювання значно зростає вірогідність того, що швидкодія системи уловлювання буде нижчою ніж потрібно. Тобто, зростає вірогідність того, що уловлювач просто не встигне спрацювати належним чином. В цьому випадку також можливе часткове спрацювання системи: башмаки уловлювача встигають наблизитись одне до одного та торкнутися стрічки, трохи її затиснувши. Однак, швидкість спадаючою вниз стрічки буде вже дуже значною і за рахунок інерційних сил стрічка з вантажем просто висковзне із зони уловлювання.

Надповільний режим уловлювання включений до таблиці в більшій мірі задля перевірки всіх можливих варіантів уловлювання. Зрозуміло, що в цьому випадку вірогідність часткового спрацювання уловлювачів або їх повний відказ є дуже великою. Система уловлювання стрічки може просто не встигнути затиснути стрічку з потрібною силою.

В якості висновків можна зазначити, що нами було окреслено подальші напрями роботи при дослідженні режимів уловлювання стрічки на конвеєрних системах. Теоретично означено найбільш вірогідні величини часу та режими роботи уловлювачів з механізмом попередньої дії.

Список літератури

1. Harrison, A. (1979), A new development in conveyor belt monitoring, Mach. & Prod. Eng'g, Vol 32, p 17.
2. Harrison, A., (2007), Remote NDT monitoring of belt damage and safety factor analysis, 9th ICBMH, Newcastle, NSW, Australia.
3. Harrison, A, "Dynamic Measurement and Analysis of Steel Cord Conveyor Belts", Ph.D. Telesis, The University of Newcastle, Australia, March, 1984
4. Roberts, A.W., Papaliski, D. And Harrison, A., "The Friction and Tension Characteristics on Driving Drums of Conveyor Belts", Proceedings, 12th Intl. Power and Bulk Solids Handling Conference, Chicago, U.S.A., May 1988
5. Harrison, A. And Barfoot, O., "Modelling the Effect of Take-Up Ucation on Conveyor Belt Performance", Third Intl. Conf. On Bulk Materials, Storage, Handling and Transportation, IE(Aust), Newcastle, June 1989 (119-123).

6. **Hardson, A.** "Stress Distribution in Steel Cord Belts with Cord Plane Defects and Inlaid Repairs", Intl. Jnl. Of Bulk Solids Handling, Vol. 8, No. 4, Aug. 1988 (pp.443-446).
7. **Matuszewski P.** Condition Monitoring in BOT KWB Belchatow mine. Diploma thesis Mining Faculty (supervisor prof. W. Bartelms), Wrocław 2007.
8. Gladysiewicz L, KROL R., Condition Monitoring of idlers. 1st Conference on Mechanisation of Mining Industry, Institute of Mining Mechanisation Silesian University of Technology, 2002.
9. Arunkumar, muralirao (2010) 'Integrating simulation modeling and equipment condition diagnostics for predictive maintenance strategies- A case study'
10. **D. Beavers, D. Morrison.** Non-Linear Model for Dynamic Analysis of Conveyors [Електронний ресурс] / D. Beavers, D. Morrison, D. Rea // Sinclair Knight Merz. – Режим доступу: <http://www.skmconsulting.com/Site-Documents/Technical-Papers/Non-Linear-Model-for-dynamicanalysis.pdf>.
11. **Michael L.** Bussler President and CEO ALGOR, Inc. Pittsburgh, PA Електронний ресурс http://www.algor.com/news_pub/tech_reports/2003/beyondlinear/
12. **Хорольський І.М.** Динаміка ланцюгових систем і замкнених контурів машин неперервного транспорту [Текст] / **І.М. Хорольський.** – Л.: Вид-во держ. Ун-ту «Львівська політехніка», 1999. – 194 с.
13. Jurdziaк L., Failure analysis of textile and Steel cords belt used in KWB "Turów mine", Industrial Transport, 2002

Рукопис подано до редакції 17.03.15

УДК 662.74

Е.О. ШМЕЛЬЦЕР, магістр, В.П. ЛЯЛЮК, д-р. техн. наук, проф.,
В.П. СОКОЛОВА, И.А. ЛЯХОВА, Д.А. КАССИМ, кандидаты. техн. наук, доц.,
М.В. КОРМЕР, канд. хим. наук, доц., МетИ ГВУЗ "Криворожский национальный университета"

О ВЛИЯНИИ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ УГОЛЬНЫХ ШИХТ НА ПРОЧНОСТЬ И ГРАНСОСТАВ КОКСА

В статье для изучения влияния свойств угольной шихты на прочность кокса были рассмотрены качественные показатели коксохимического предприятия «АрселорМиттал Кривой Рог» за 2008-2012 гг. Анализируя причины снижения качества кокса можно выделить такие факторы как большое количество поставщиков угольных концентратов, неточности в выборе оптимальной степени дробления угольной шихты, из-за чего насыпная плотность шихты и доля «отошающего» класса < 0,5 мм в шихте не соответствовали оптимальным значениям при изменяющемся марочном составе шихты; низкая степень смешивания шихты после дробилок; повышенная влажность и зольность шихты, идущей на коксование; высокая колеблемость показателей качества углей и шихт. В условиях ухудшения сырьевой базы коксования и неритмичности поставки угольных концентратов на коксохимические предприятия при решении проблемы качественной подготовки шихты, поступающей на коксование, должны быть учтены следующие ключевые моменты: шихта должна поступать в углеподготовительные цеха с содержанием влаги не выше 6-7 % или необходимо принимать меры к ее сушке на коксохимических предприятиях; неременным условием является постоянное уточнение и использование в углеподготовительных цехах оптимальной степени дробления шихты, что способствует снижению суммы отошающих компонентов шихты и росту содержания витринита в ней, что улучшает спекаемость и коксумость шихты, а значит, и качество кокса; необходимым является доведение степени смешивания угольной шихты по всем ее показателям до 98-99 %, так как неравномерное их распределение в коксовой камере отрицательно сказывается на качестве кокса.

Постановка проблемы исследований и ее связь с научными и практическими задачами. В сложившихся условиях дефицита хорошо коксующихся и легкообогащаемых углей, использования в шихте для коксования углей различных бассейнов, существенно отличающихся по технологическим свойствам, и неритмичности поставки угольных концентратов на коксохимические предприятия обеспечить высокое качество кокса и стабильность его физико-механических свойств очень сложно. Ухудшения в угольной базе коксования хорошо были видны уже в середине прошлого века, когда были предложены и разработаны основные направления и способы повышения качества кокса в изменяющихся условиях с марочным составом углей [1-4]. Однако проблема совершенствования технологии подготовки углей к коксованию остается актуальной и требует повышенного внимания.

Анализ исследований и публикаций. Способность кокса выполнять функции в доменном процессе обуславливается совокупностью и уровнем его химических, физико-химических и физических свойств [5]. При этом качество кокса и его стабильность в решающей мере зависят от состава угольной шихты, эффективности ее подготовки и в меньшей мере – от режима коксования [6,7]. В связи с этим одним из первостепенных в ряду мероприятий, направленных на улучшение качественных показателей кокса, является оптимизация качества угольных шихт

путем достижения оптимальных показателей влажности, зольности, степени дробления, а также обеспечения высокой степени смешивания угольных концентратов, входящих в угольную шихту для коксования.

Постановка задач исследований. С целью определения влияния перечисленных факторов на эффективность подготовки угольной шихты и качественные показатели кокса в 2008-2012 гг. были проведены исследования в углеподготовительном цехе (УПЦ) коксохимического производства (КХП) ПАО “АрселорМиттал Кривой Рог”.

Изложение материала и результатов исследований. Используя методику и схему отбора проб угольной шихты [8] в сечении потока на транспортной ленте, провели отбор точечных проб массой 200 г для определения технических, пластометрических и петрографических параметров шихты и проб массой 16 кг для определения насыпной массы и гранулометрического состава шихты на 3-й очереди УПЦ КХП предприятия.

По результатам проведенных исследований построили графики влияния содержания классов 0-3 мм и 0-0,5 мм на насыпную массу шихты (рис. 1,2). Из анализа графиков видно, что при увеличении степени помола шихты с 71 до 92 % (рис. 1) при ее средней влажности 11,2 % насыпная масса снижается с 0,862 до 0,761 т/м³, т.е. повышение степени дробления шихты на 1 % снижает ее насыпную массу на 4,8 кг/м³, а при средней влажности шихты 5,6 % - на 3,9 кг/м³. Необходимо отметить, что при постоянной степени дробления шихты ее насыпная масса тем выше, чем ниже содержание влаги в шихте. Содержание фракции 0-0,5 мм на теоретически оптимальном уровне 32 % [9] (рис. 2), даже при влажности шихты 11,2 %, обеспечивает довольно высокое значение насыпной массы шихты 0,86 т/м³, а при содержании в шихте 35 % “отошающей” фракции 0-0,5 мм и влажности 5,6 % насыпная масса шихты равна 0,885 т/м³.

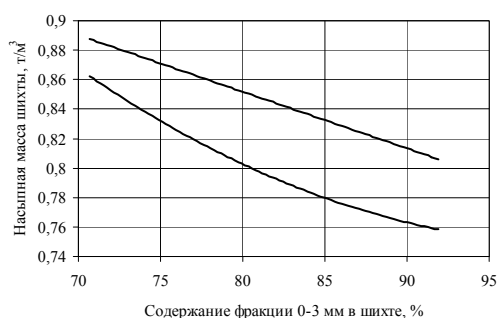


Рис. 1. Зависимость насыпной массы угольной шихты от степени ее помола (при средних значениях влажности шихты: верхняя кривая 5,6 %, нижняя – 11,2 %)

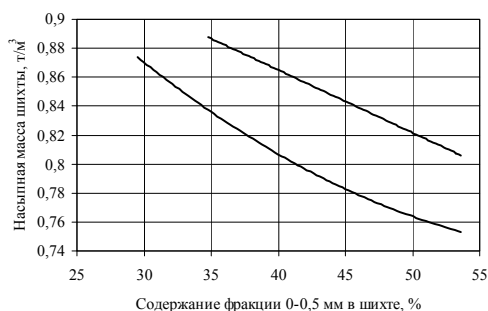


Рис. 2. Зависимость насыпной массы угольной шихты от содержания в ней фракции 0-0,5 мм при средних значениях влажности шихты: верхняя кривая 5,6 %, нижняя – 11,2 %

Переизмельчение шихты и увеличение в ней фракции 0-0,5 мм до 54 % приводит к резкому уменьшению насыпной массы шихты до 0,75 т/м³.

Ситуацию можно улучшить, если целенаправленно снизить влажность угольной шихты с 11,2 до 5,6 %, при этом насыпная масса шихты увеличится до 0,81 т/м³.

Для исследования влияния степени измельчения на гранулометрический состав кокса и его прочность проанализировали качественные характеристики угольных шихт за период 2008-2012 гг. (рис.3,4).

Можно отметить резкое снижение содержания класса 3-0 мм в шихте с 87,5 до 77,3 % с июля по декабрь 2011 г. (рис. 3), в результате насыпная плотность угольной шихты увеличилась с 0,787 до 0,816 т/м³ (рис. 4), что, в общем, привело к уменьшению крупности кокса.

При этом произошло следующее изменение гранулометрического состава кокса: выход фракций >80 и 80-60 мм снизился с 17,2 до 10,7 % и с 32,5 до 28,6 % соответственно; выход фракции 60-40 мм увеличился с 33,7 до 41 %, а фракции 40-25 мм – с 13,2 до 16 %.

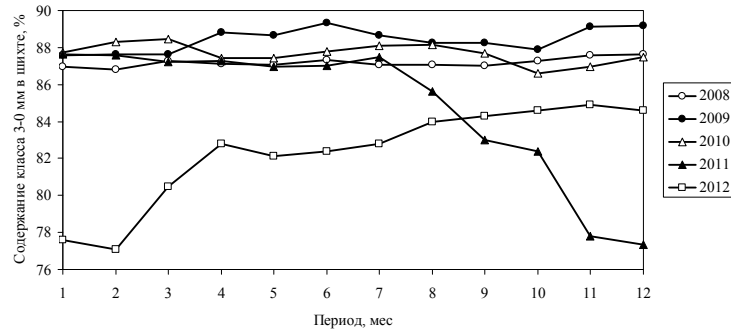


Рис. 3. Изменение содержания класса 3-0 мм в угольной шихте поступающей на 1-4 батареи КХП 2008-2012 гг.

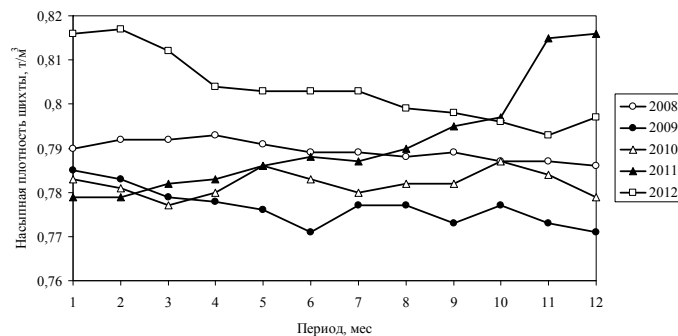


Рис. 4. Динамика изменения насыпной плотности угольной шихты, поступающей на 1-4 батареи КХП 2008-2012 гг.

Увеличение содержания класса 3-0 мм в шихте в феврале-апреле 2012 г. с 77,1 до 82,8 % (рис. 3) повлекло уменьшение насыпной плотности с 0,817 до 0,804 т/м³ (рис. 4). При этом выход фракций >80 и 80-60 мм снизился с 12,3 до 9,7 % и с 31,4 до 26,4 % соответственно; выход фракции 60-40 мм увеличился с 36,8 до 40,8 %, а фракции 40-25 мм – с 14,8 до 17,5 %. Дальнейшее повышение содержания в шихте класса 3-0 мм в мае-декабре 2012 г. с 82,1 до 84,6 % сопровождалось уменьшением насыпной плотности с 0,804 до 0,797 т/м³. В результате изменилось распределение кокса по крупности: увеличился выход фракций >80 и 80-60 мм с 82,1 до 84,6 % и с 27 до 31 % соответственно; выход фракции 60-40 мм уменьшился с 39,6 до 33,5 %, затем увеличился до 37,4 %; также изменялся выход фракции 40-25 мм с 16,2 до 12 %, а затем снизился до 12,7 %. Таким образом, при значениях насыпной плотности угольной шихты в пределах 0,804-0,817 т/м³ обеспечивалось получение более равномерного по крупности кокса.

Необходимо отметить, что колеблемость содержания класса 3-0 мм в шихте от 0,15 до 0,85 % обусловила колеблемость показателей качества кокса M₁₀ от 0,14 до 0,23 % и M₂₅ и от 0,2 до 0,45 % [10].

Исследуя методом петрографического анализа угольную шихту, отобранную до и после дробления на третьей очереди УПЦ КХП, получили следующие результаты. Петрографический состав угольной шихты до дробления: витринит (V_t) – 79,2 %, сумма фюзенизированных компонентов (отошающих компонентов) – 17,8 %. Петрографический состав угольной шихты после дробления: витринит (V_t) – 67,0 %, сумма отошающих компонентов 29,0 %. В исследуемом диапазоне содержание витринита (V_t) снижается на 12,2 %, а сумма отошающих компонентов увеличивается на 11,2 %, т.е. спекающая и коксующая способность шихты уменьшается [11].

Для подтверждения изменения петрографического состава угольной шихты при дроблении провели еще один эксперимент: отобрали шихту до дробилки на третьей очереди УПЦ КХП, тщательно ее усреднили и разделили на три части.

Одна часть шихты – базовая недробленая шихта с содержанием фракции 0-3 мм 55,5 %, и две подвергнутые измельчению на лабораторной молотковой дробилке до содержания класса 0-3 мм 75,5 и 96,2 %.

Петрографический состав трех частей угольной шихты разной степени дробления, которые получены из одной пробы, отобранной до дробилки, приведен в табл. 1.

Петрографические показатели трех проб различной степени измельчения

| Показатель | Номер пробы | | |
|--------------------------|-------------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Содержание класса 0-3 мм | 55,5 | 75,5 | 96,2 |
| Витринит Vt, % | 70 | 66 | 63 |
| ΣОК, % | 29 | 33 | 35 |

Полученный в данном эксперименте результат свидетельствует о том, что при увеличении степени дробления с 55,5 до 96,2 % класса 0-3 мм содержание витринита уменьшается на 7 %, а сумма отошающих компонентов увеличивается на 6 %, снижая, таким образом, спекаемость и коксуемость угольной шихты.

Оптимальную степень дробления при изменении параметров угольной шихты определяют при помощи ящичных спеканий или ряда расчетных методов, но они сложны в использовании из-за большого количества дополнительных параметров углей, которыми не всегда располагают исследовательские лаборатории коксохимических заводов [12-14].

На основании проведенных исследований мы рекомендуем [15] для оперативного определения степени измельчения в качестве критерия использовать показатель отражения витринита, значение которого изменяется в зависимости от петрографического состава углей и стадии метаморфизма. Различным маркам углей соответствуют следующие интервалы значений показателя отражения витринита (R_0), %: ДГ – 0,5-0,65; Г – 0,65-0,89; Ж – 0,9-1,19; К – 1,2-1,39; ОС – 1,4-1,69; Т – 1,7-2,59 и А – $\geq 2,6$.

Тогда оптимальная степень дробления угольной шихты, в зависимости от ее марочного состава и спекаемости, может быть определена по уравнению:

$$k = \frac{75[\Sigma(0,9 \div 1,39)Vt] + 90[\Sigma(0,5 \div 0,89)Vt + \Sigma(1,4 \div 2,6)Vt]}{100}, \% \quad (1)$$

где $(0,5 \div 2,6)Vt$ – показатели отражения витринита, соответствующие различным маркам углей.

Влияние влажности на насыпную массу шихты поступающей на батареи 1-4 КХП ПАТ “АрселорМиттал Кривой Рог” показано на рис. 5 (по батареям 5-6 зависимость аналогичная). График зависимости имеет вид параболы с минимальным значением насыпной массы при влажности 10,3 %, а рост насыпной массы происходит не за счет снижения влажности шихты, а, наоборот, за счет ее увеличения, т.е. происходит рост насыпной массы шихты за счет увеличения массы воды в шихте.

Изучая влияние влажности на распределение кокса по классам крупности, установлено, что, снижение влажности шихты с 11,9 % до 9,5 % сопровождалось уменьшением выхода класса >80 мм с 15,2 до 13,3 % и класса 80-60 мм с 27 до 26,4 %, выход класса 60-40 мм существенно не изменился, содержание класса 40-25 мм в сначала выросло с 14,8 до 19,1 %, затем снизилось до 16,5 %, выход фракции <25 мм находился в пределах 4,3-5 %. Так, уменьшение влажности шихты привело к снижению крупности кокса.

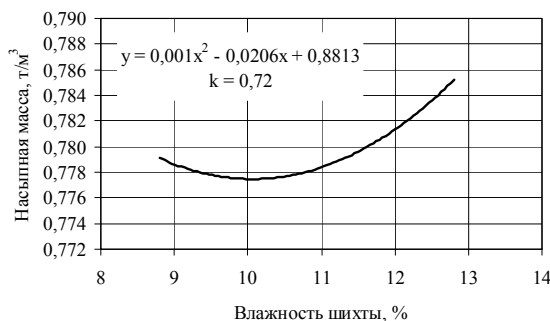


Рис. 5. Зависимость насыпной массы угольной шихты (бат. 1-4) от ее влажности при средних значениях: класса -3 мм – 88,2 %, зольности – 10,2 %, класса -0,5 мм – 46,8 %

Повышение влажности привело к увеличению крупности кокса за счет увеличения выхода классов >80 мм с 8,9 до 9,9 % и 80-60 мм с 22,9 до 24,2 %, выход класса 40-25 мм изменился с

19,5 до 22,2 %, уменьшился выход класса 60-40 мм с 42,1 до 41,9 %, выход класса <25 мм находился в пределах 5,5-5,8 %.

Влияние влажности шихты и ее колебаний отражается также на прочности кокса. Так, снижение ее содержания в шихте с 11,4 до 6,6 % привело к повышению насыпной массы шихты с 0,774 до 0,792 т/м³ и улучшению качества кокса по показателям M₂₅ с 83,0 до 88,6 %, M₁₀ с 8,6 до 7,2 %. При увеличении влажности в среднем с 7,3 до 8,7 % показатель прочности кокса M₂₅ стал резко падать с 88,0 до 84,5 %, а показатель истираемости M₁₀ вырос с 7,3 до 8,0 %. Это связано с влиянием содержания влаги в шихте и ее колебаний на тепловой режим коксования и изменение градиента усадок шихты при ее коксовании.

Влияние зольности шихты на ситовый состав кокса обусловлено тем, что частички минеральных включений отличаются от угля по коэффициентам термического расширения, не спекаются и ослабляют участки в кусках кокса, что приводит к увеличению очагов трещинообразования. Согласно анализа данных, было установлено, что увеличение зольности шихты на 1,3 % сопровождалось увеличением выходов класса >80 мм на 9,7 %, класса 80-60 мм на 1,2 %, класса <25 мм на 1,5 %, уменьшением выходов класса 60-40 мм на 8,5 % и класса 40-25 мм на 4 %. Уменьшение зольности шихты с 10,5 % до 9,7 % привело к уменьшению доли класса >80 мм с 15,2 до 11,5 %, класса 80-60 мм – с 26,8 до 24,9 %, при этом возрос выход наиболее ценных классов 60-40 мм и 40-25 мм с 38,9 до 41,7 % и с 14,8 до 19,1 % соответственно.

Еще одним аспектом влияния на качество подготовки угольной шихты является степень ее смешивания. На КХП в силоса закрытого склада поступает до 15 марок угольных концентратов, что значительно превышает оптимальный уровень как с позиций теории, так и технологии коксового производства. Степень смешивания шихты на 3-й очереди УПЦ, рассчитанная по выходу летучих веществ, получилась равной 86,3 %, что далеко от оптимальной, экономически оправданной степени ее смешения 97-98 % [16]. Степень смешивания шихты, определяемая по колебаниям ее влаги составила 76,2 %. Еще более низкое значение – 45 % получили для еще одного показателя технического состава шихты – содержания золы, и только степень смешивания по показателю содержания серы была высокой – 94,7 %, что объясняется незначительным колебанием содержания серы в угольной шихте.

Однако самая низкая степень смешивания шихты – 20,3 % получилась для “отошающего” класса 0-0,5 мм из-за того, что количество этого класса в шихте УПЦ очень высоко 46-49 % и он очень неравномерно распределяется в шихте, а, как известно, содержание этого класса также оказывает значительное влияние на насыпную массу шихты и качество кокса. Степень смешения шихты по показателям ее петрографического состава для витринита и суммы отошающих компонентов, составила, соответственно 89,7 и 88,2 %, что также недостаточно для оптимальной, экономически оправданной степени смешивания, т.е. шихта нуждается в дополнительном смешивании перед подачей ее в коксовую камеру.

Выводы: В условиях ухудшения сырьевой базы коксования и неритмичности поставки угольных концентратов на коксохимические предприятия при решении проблемы качественной подготовки шихты, поступающей на коксование, должны быть учтены следующие ключевые моменты: шихта должна поступать в углеподготовительные цеха коксохимических предприятий с содержанием влаги не выше 6-7 %; неременным условием является постоянное уточнение и использование в углеподготовительных цехах оптимальной степени дробления шихты, что способствует снижению суммы отошающих компонентов шихты и росту содержания витринита в ней, что улучшает спекаемость и коксуемость шихты, а значит, и качество кокса; необходимым является доведение степени смешивания угольной шихты по всем ее показателям до 98-99 %.

Список литературы

1. Сысков К.И. Теоретические основы оценки и улучшения качества кокса / К.И. Сысков. – М.: Металлургия. – 1984. – 184 с.
2. Гофман М.В. Прикладная химия твердого топлива / М.В. Гофман. – М.: Металлургиздат, 1963. – 597 с.
3. Агроскин А.А. Расширение угольной базы коксования / А.А. Агроскин, А.К. Шелков. – М.: Металлургия, 1962. – 302 с.
4. Агроскин А.А. Физические свойства углей / А.А. Агроскин. – М.: Металлургия, 1961. – 308 с.
5. Мениович Б.И. Повышение эффективности процесса слоевого коксования / Б.И. Мениович, С.И. Пинчук, А.Г. Дюканов. – К: Техніка, 1985. – 229 с.

6. Беркутов И.К. О взаимосвязи качества кокса с основными технологическими показателями доменной плавки / И.К. Беркутов, Ю.В. Степанов, Н.К. Попова, Ю.П. Петренко, В.В. Белов // Сталь. – 2007. – №5. – С. 10-12.
7. Степанов Ю.В. Теория и практика шихтовки в современных условиях / Ю.В. Степанов, Н.К. Попова, Л.А. Махортова // Кокс и химия. – 2005. – №7. – С. 6-10.
8. Мучник Д.А. О методе оценки эффективности работы смесительных машин / Д.А. Мучник Д.А. // Кокс и химия. – 1962. – №9. – С. 11-15.
9. Сухоруков В.И. Научные основы и совершенствование подготовки и коксования углей / В.И. Сухоруков // Кокс и химия. – 1992. – №12. – С. 2-5.
10. Лялюк В.П. Стабильность качества кося для доменной плавки / В.П. Лялюк, В.П. Соколова, И.А. Ляхова и др. // Кокс и химия. – 2012. – № 8. – С. 19-24.
11. Лялюк В.П. Организация рационального дробления угольной шихты – путь к повышению качества кокса для доменной плавки / В.П. Лялюк, В.А. Шеремет, А.В. Кекух и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010. – №2. – С. 48-52.
12. Мексин В.Д. Оптимальная крупность углей при дифференцированном измельчении перед коксованием // В.Д. Мексин, Я.М. Обуховский, И.А. Протасеня и др. // Кокс и химия. – 1975. – №3. – С. 1-4.
13. Фомин А.П. Расчетное определение необходимой крупности дробления угольной шихты / А.П. Фомин // Кокс и химия. – 1983. – №2. – С. 7-10.
14. Фомин А.П. Определение оптимальной степени измельчения угольных шихт при подготовке их к коксованию / А.П. Фомин, Н.С. Грязнов, Е.В. Беляев и др. // Кокс и химия. – 1986. – №5. – С. 20-22.
15. Патент 85803 Україна, МПК С 10В 57/00. Спосіб підготовки вугільної шихти для коксування / Лялюк В.П., Кассим Д.О., Ляхова І.А., Журавльов Ф.М., Шмельцер К.О., Свист Н.Ю. (Україна).- № 08845; заявл.15.07.2013; опубл. 25.11.2013, Бюл. № 22.
16. Зубилин И.Г. Улучшение качества кокса / И.Г. Зубилин, Л.П. Семисалов, И.М. Лазовский, В.И. Сухоруков // Кокс и химия. – 1975. – №5. – С. 54-57.

Рукопись поступила в редакцию. 16.02.15

УДК 621.316.1.-047.58

М.Л. БАРАНОВСКАЯ, канд. техн. наук, доц.,
А.С. КУЗЬМЕНКО, старший преподаватель, Криворожский национальный университет

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПРИ ОЗЗ

Распределительные сети можно рассматривать как сети с сосредоточенными параметрами. В питающих сетях источниками питания являются трансформаторы, а потребителями - трансформаторы или электродвигатели. В распределительных сетях при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) возникают перенапряжения. Известны теории перенапряжения Петерсена, Петерса и Слепяна, Белякова.

Определяющее значение на развитие процессов при ОЗЗ кроме индуктивности L , емкости фаз относительно земли C и других параметров оказывает активное сопротивление цепи тока замыкания на землю R . Выполнив эквивалентные преобразования составили рациональную схему замещения распределительной карьерной сети при ОЗЗ. В математических моделях сопротивления продольных ветвей и проводимости изоляции неповрежденных фаз можно не учитывать, поскольку уровень перенапряжений в цепи при их учете уменьшается не более 1 %.

Сопротивление изоляции не восстанавливается до первоначального уровня. Для анализа перенапряжений при ОЗЗ в распределительных сетях 6-10 кВ с изолированной нейтралью предлагается использовать простейшую трехфазную схему замещения с учетом сопротивления цепи замыкания на землю.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Небольшая протяженность распределительных сетей 6-10 кВ по сравнению с длиной волны позволяет рассматривать такие сети, как сети с сосредоточенными параметрами.

Как правило, в питающих сетях источниками питания являются трансформаторы, а потребителями - трансформаторы или электродвигатели.

При однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) в распределительных сетях с изолированной нейтралью возникает перемежающаяся дуга. Она вызывает сложные переходные процессы, в результате которых возникают перенапряжения.

Анализ исследований и публикаций. Известны теории перенапряжения Петерсена, Петерса и Слепяна, Белякова [1].

Эти теории дополнялись различными авторами на основании теоретических, лабораторных и данных экспериментальных исследований [12-14].

В действительности ОЗЗ не протекают в чистом виде в соответствии с какой-либо одной из существующих теорий, что подтверждается экспериментальными данными.

В действительности ОЗЗ не протекают в чистом виде в соответствии с какой-либо одной из существующих теорий, что подтверждается экспериментальными данными.

Определяющее значение на развитие процессов при горении дуги кроме индуктивности L , емкости фаз относительно земли C и других параметров имеет активное сопротивление цепи тока замыкания на землю R .

Постановка задачи. При создании модели распределительных сетей приняты следующие допущения: трехфазную систему ЭДС источника считаем симметричной при любых режимах работы сети; не учитываем насыщение магнитных систем (за исключением магнитных систем трансформаторов напряжения), что позволяет считать постоянными и не зависящими от тока индуктивные сопротивления всех элементов сети; пренебрегаем намагничивающими токами трансформаторов; распределенные параметры представляются сосредоточенными.

Выполнив эквивалентные преобразования составим рациональную схемы замещения распределительной карьерной сети при ОЗЗ.

Изложение материала и результаты. При заданных допущениях распределительная сеть при ОЗЗ представлена схемой замещения (рис. 1), где $L=L_{тр}+L_{л}$ - эквивалентная индуктивность, состоящая из индуктивностей рассеивания питающего трансформатора $L_{тр}$ и линий электропередачи $L_{л}$; C - эквивалентная емкость фазы относительно земли, образованная всеми элементами распределительной сети; $r=r_{тр}+r_{л}$ - эквивалентное сопротивление продольной ветви, состоящее из активных сопротивлений трансформатора $r_{тр}$ и линий электропередачи $r_{л}$; r_n - эквивалентное сопротивление нагрузки; L_n - эквивалентная индуктивность нагрузки; C_m - междуфазные емкости; $R_{и}$ - сопротивление изоляции фаз относительно земли; $L_{тн}, r_{тн}$ - параметры трансформаторов напряжения; e_a, e_b, e_c - ЭДС в фазах источника; $e_{ан}, e_{bn}, e_{сн}$ - противо-эдс в фазах нагрузки; $e_{тн}$ - ЭДС трансформатора напряжения.

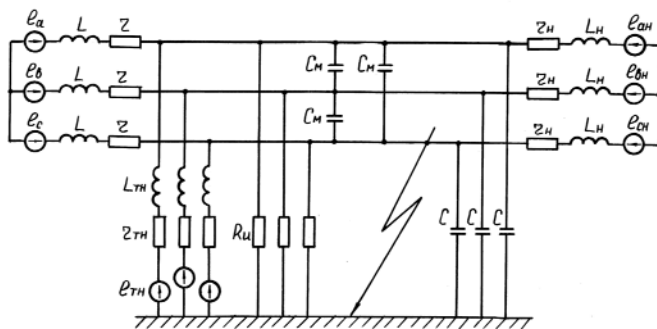


Рис. 1. Эквивалентная схема замещения распределительной сети при ОЗЗ

Удельные параметры элементов распределительной сети приведены в источниках [2-7], которые в зависимости от конструктивного исполнения линий электропередачи и протяженности имеют эквивалентные параметры L, C, r , изменяющиеся в широких пределах.

Схему замещения, представленную на рис. 1, можно описать системой дифференциальных уравнений и

численно решить ее, но при этом невозможно выделить влияние факторов на характер протекания переходного процесса и на формирование перенапряжений при ОЗЗ.

Выполним исследование задачи на упрощенной модели, которая позволяет довести ее до аналитического решения, создает возможность ограничить число вариантов и иметь ясное представление о характере процессов и роли основных факторов, влияющих на переходные процессы, а также оценить предельно возможные уровни перенапряжений.

Апробированная математическая модель для исследования переходных процессов [8,9] приведена на рис. 2 и описана системой дифференциальных уравнений (1).

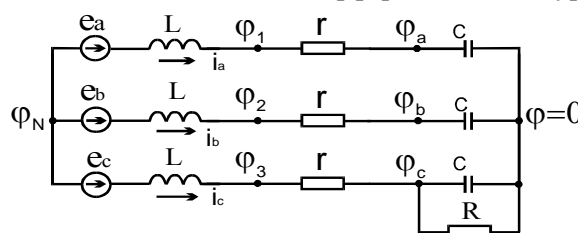


Рис. 2. Схема замещения сети с активными сопротивлениями продольных ветвей:

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_a, \varphi_b, \varphi_c$ - потенциалы в соответствующих точках цепи; R - сопротивление цепи замыкания на землю

$$\left. \begin{aligned}
 C \frac{d\varphi_a}{dt} &= \frac{\varphi_1 - \varphi_a}{r}; \\
 C \frac{d\varphi_b}{dt} &= \frac{\varphi_2 - \varphi_b}{r}; \\
 C \frac{d\varphi_c}{dt} + \frac{\varphi_c}{R} &= \frac{\varphi_3 - \varphi_c}{r}; \\
 \frac{1}{L} \int (\varphi_N + e_a - \varphi_1) dt &= \frac{\varphi_1 - \varphi_a}{r}; \\
 \frac{1}{L} \int (\varphi_N + e_b - \varphi_2) dt &= \frac{\varphi_2 - \varphi_b}{r}; \\
 \frac{1}{L} \int (\varphi_N + e_c - \varphi_3) dt &= \frac{\varphi_3 - \varphi_c}{r}; \\
 \frac{1}{L} \int (\varphi_N + e_a - \varphi_1) dt + \frac{1}{L} \int (\varphi_N + e_b - \varphi_2) dt + \frac{1}{L} \int (\varphi_N + e_c - \varphi_3) dt &= 0.
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Для определения влияния на переходные процессы активных сопротивлений продольных ветвей в (1) исключим потенциалы $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ получим систему уравнений

$$\left. \begin{aligned}
 C \frac{d\varphi_a}{dt} + \frac{1}{L} \int \varphi_a dt + r \frac{C}{L} \varphi_a - \frac{1}{L} \int \varphi_N dt &= \frac{1}{L} \int e_a dt; \\
 C \frac{d\varphi_b}{dt} + \frac{1}{L} \int \varphi_b dt + r \frac{C}{L} \varphi_b - \frac{1}{L} \int \varphi_N dt &= \frac{1}{L} \int e_b dt; \\
 C \frac{d\varphi_c}{dt} + \frac{1}{L} \int \varphi_c dt + r \frac{C}{L} \varphi_c + \frac{r}{RL} \int \varphi_c dt + \frac{1}{R} \varphi_c - \frac{1}{L} \int \varphi_N dt &= \frac{1}{L} \int e_c dt; \\
 -\frac{1}{L} \int (\varphi_a + \varphi_b + \varphi_c) dt - r \frac{C}{L} \int (\varphi_a + \varphi_b + \varphi_c) dt + \frac{3}{L} \int \varphi_N dt &= 0.
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Характеристическое уравнение системы (2) имеет вид

$$\Delta = \begin{vmatrix}
 \left(Cp + \frac{1}{Lp} + r \frac{C}{L} \right) & 0 & 0 & -\frac{1}{Lp} \\
 0 & \left(Cp + \frac{1}{Lp} + r \frac{C}{L} \right) & 0 & -\frac{1}{Lp} \\
 0 & 0 & \left(Cp + \frac{1}{Lp} + \frac{r}{RLp} + r \frac{C}{L} + \frac{1}{R} \right) & -\frac{1}{Lp} \\
 -\left(\frac{1}{Lp} + r \frac{C}{L} \right) & -\left(\frac{1}{Lp} + r \frac{C}{L} \right) & -\left(\frac{1}{Lp} + r \frac{C}{L} + \frac{r}{RLp} \right) & \frac{3}{Lp}
 \end{vmatrix} = 0.$$

После преобразования получим уравнение в виде

$$\left[p^3 + \left(\frac{r}{L} + \frac{1}{RC} \right) p^2 + \frac{1}{LC} \left(1 + \frac{r}{R} \right) p + \frac{1}{3RLC^2} \right] \times \left(p^2 + \frac{r}{L} p + \frac{1}{LC} \right) = 0. \quad (3)$$

Решив два уравнения

$$p^3 + \left(\frac{r}{L} + \frac{1}{RC} \right) p^2 + \frac{1}{LC} \left(1 + \frac{r}{R} \right) p + \frac{1}{3RLC^2} = 0; \quad (4)$$

$$p^2 + \frac{r}{L} p + \frac{1}{LC} = 0 \quad (5)$$

и приняв обозначения $r_* = r/\rho$, $R_* = R/\rho$, $\rho = \sqrt{L/C}$, считая корни уравнений (4) и (5) пропорциональными частоте собственных колебаний ($\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$), получим уравнения в относительных единицах

$$p^3 + \left(r_* + \frac{1}{R_*}\right)p^2 + \left(1 + \frac{r_*}{R_*}\right)p + \frac{1}{3R_*} = 0 ; \quad (6)$$

$$p^2 + r_*p + 1 = 0 . \quad (7)$$

В реальных питающих сетях величина сопротивления r небольшая: от долей до нескольких единиц Ом. Решением уравнения (6) являются один действительный и пара комплексно-сопряженных корней: p_1 и $p_{2,3} = \delta_{1*} \pm \omega_{k1*}j$. Из расчетных данных следует, что продольные сопротивления, которыми обладают реальные питающие сети ($r_* = 0,005-0,015$), не оказывают влияния на величины p_1 и ω_{k1*} при любых значениях R_* , на величину δ_{1*} - незначительное влияние.

Установлено, что активное сопротивление продольных ветвей ($r = 0,01$ о.е.), за время одного цикла при малых сопротивлениях цепи замыкания на землю ($R_* < 0,2$) уменьшает уровень перенапряжений при горении дуги в опережающей фазе на (0,29-0,76)%, а при восстановлении напряжения на поврежденной фазе уменьшает максимальные напряжения на этой фазе на (3,24-3,71)%. Следовательно, при исследовании переходных процессов во время горения дуги активными сопротивлениями продольных ветвей можно пренебречь.

Для определения влияния активных проводимостей на переходные процессы при ОЗЗ проведены исследования на математической модели, в которой учтены проводимости изоляции фаз (рис. 3).

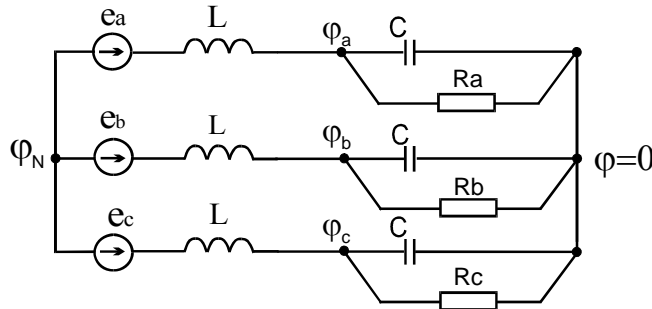


Рис. 3. Схема замещения питающей сети с учетом активных проводимостей изоляции фаз

Переходные процессы при ОЗЗ с учетом активных проводимостей изоляции фаз описаны системой уравнений

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{L} \int (\varphi_N + e_a - \varphi_a) dt - C \frac{d\varphi_a}{dt} - \frac{\varphi_a}{R_a} &= 0; \\ \frac{1}{L} \int (\varphi_N + e_b - \varphi_b) dt - C \frac{d\varphi_b}{dt} - \frac{\varphi_b}{R_b} &= 0; \\ \frac{1}{L} \int (\varphi_N + e_c - \varphi_c) dt - C \frac{d\varphi_c}{dt} - \frac{\varphi_c}{R_c} &= 0; \\ \frac{1}{L} \int (\varphi_N + e_a - \varphi_a) dt + \frac{1}{L} \int (\varphi_N + e_b - \varphi_b) dt + \frac{1}{L} \int (\varphi_N + e_c - \varphi_c) dt &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где R_a, R_b, R_c - активные сопротивления фаз относительно земли.

Характеристическое уравнение для данной системы уравнений имеет вид

$$\Delta = \begin{vmatrix} \left[\frac{1}{Lp} + Cp + \frac{1}{R_a} \right] & -kCp & -kCp & -\frac{1}{Lp} \\ -kCp & \left[\frac{1}{Lp} + Cp + \frac{1}{R_b} \right] & -kCp & -\frac{1}{Lp} \\ -kCp & -kCp & \left[\frac{1}{Lp} + Cp + \frac{1}{R_c} \right] & -\frac{1}{Lp} \\ -\frac{1}{Lp} & -\frac{1}{Lp} & -\frac{1}{Lp} & \frac{3}{Lp} \end{vmatrix} = 0.$$

Преобразуя определитель, получим

$$p^5 + \frac{G_1}{C} p^4 + \left(\frac{2}{LC} + \frac{G_2}{C^2} \right) p^3 + \left(\frac{4G_1}{3LC^2} + \frac{G_0}{C^3} \right) p^2 + \left(\frac{1}{L^2C^2} + \frac{2G_2}{3LC^3} \right) p + \frac{G_1}{3L^2C^3} = 0, \quad (9)$$

где $G_1 = \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c}$; $G_2 = \frac{1}{R_a R_b} + \frac{1}{R_a R_c} + \frac{1}{R_b R_c}$; $G_0 = \frac{1}{R_a R_b R_c}$.

Считая корни характеристического уравнения пропорциональными величине ω_0 и выразив $G_{1*} = G_1 \rho$, $G_{2*} = G_2 \rho^2$, $G_{0*} = G_0 \rho^3$, получили обобщенное характеристическое уравнение

$$p^5 + G_{1*} p^4 + (2 + G_{2*}) p^3 + (4G_{1*}/3 + G_{0*}) p^2 + (1 + 2G_{2*}/3) p + G_{1*}/3 = 0. \quad (10)$$

Активные проводимости неповрежденных фаз при горении дуги не оказывают влияния на декременты затухания и частоту высокочастотных колебаний. Если активными проводимостями не пренебрегать, то в процессе горения дуги свободные составляющие потенциалов фаз изменяются по закону в соответствии с формулой (11)

$$\varphi_{c_6}(t) = A_1 e^{pt} + A_2 e^{\delta t} \sin(\omega_{\kappa 1} t + \nu_1) + A_3 e^{\delta t} \sin(\omega_{\kappa 2} t + \nu_2). \quad (11)$$

При этом амплитуда A_3 на два-три порядка меньше амплитуды A_2 и этим подтверждается, что активные проводимости неповрежденных фаз не влияют на переходные процессы во время горения дуги. После гашения дуги проводимость поврежденной фазы снижается и происходит восстановление напряжения на поврежденной фазе.

В процессе восстановления происходит медленное затухание аperiodической составляющей. Численная оценка показывает, что в сетях, где активный ток составляет до 5% от емкостного, напряжение смещения нейтрали аperiodически снижается до 0,97-0,98 от уровня, соответствовавшего моменту гашения дуги. Для того, чтобы в течение полупериода промышленной частоты напряжение смещения нейтрали снизилось до уровня 0,95 необходимо, чтобы сопротивление изоляции в поврежденной фазе восстанавливалось не полностью до первоначального уровня или в математических моделях учитывать активные сопротивления продольных ветвей.

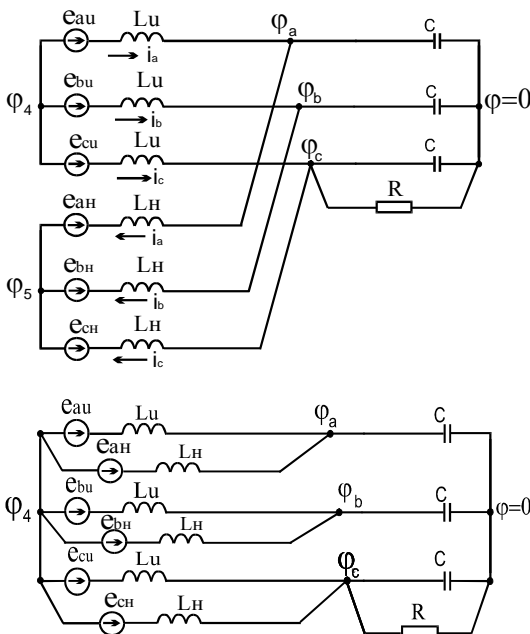


Рис. 4. Схема замещения питающей сети с одиночной нагрузкой, содержащая противо-ЭДС

Пренебрегая активными сопротивлениями продольных ветвей, при расчете переходных процессов в схеме замещения питающей сети можно учитывать нагрузки, содержащие противо-ЭДС (рис. 4).

Очевидно, что

$$\varphi_4 = \frac{1}{3}(\varphi_a + \varphi_b + \varphi_c) = \varphi_5,$$

следовательно точки φ_4 и φ_5 имеют один и тот же потенциал и схема замещения примет вид (рис. 5).

Рис. 5. Эквивалентная схема замещения питающей сети с одиночной нагрузкой, содержащая противо-ЭДС

В схеме (рис.5) параллельные ветви заменяем эквивалентными.

Преобразованная схема представлена на рис. 6.

В дальнейшем будем рассматривать упрощенную схему замещения сети с эквивалентными величинами L, C , и R , которая предоставляет возможность преобразования распределительной сети со всеми потребителями к схеме замещения, представленной на рис. 6.

При этом все трансформаторы и двигатели, составляющие нагрузку сети, влияют на дуговое замыкание на землю не столько активным сопротивлением обмоток, сколько их индуктивностью, что подтверждается в [10].

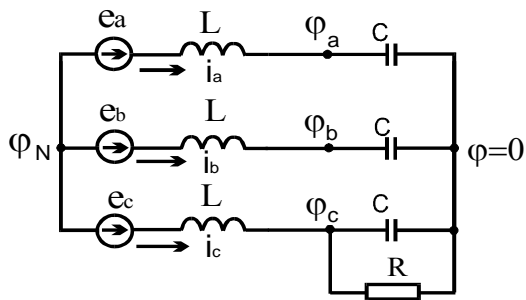


Рис. 6. Рациональная эквивалентная схема замещения питающей сети с одиночной нагрузкой, содержащая противо-ЭДС

Наличие таких электроприемников наряду с вносимым ими небольшим дополнительным успокоением повышает частоту собственных колебаний системы, поскольку их индуктивности подключаются параллельно индуктивности источника.

Принятая схема замещения позволяет выполнить необходимые исследования переходных процессов в распределительных сетях.

Выводы и направление дальнейших исследований. Анализ математических моделей распределительных сетей и результатов исследований показывает, что сопротивление цепи замыкания на землю изменяется в пределах до 200 Ом и оказывает определяющее влияние на переходные процессы при ОЗЗ.

В математических моделях при исследовании переходных процессов при ОЗЗ сопротивления продольных ветвей и проводимости изоляции неповрежденных фаз можно не учитывать, поскольку уровень перенапряжений в цепи при их учете уменьшается на величину не более 1 %.

В математических моделях при исследовании процесса восстановления напряжения на поврежденной фазе установлено, что сопротивление изоляции не восстанавливается до первоначального уровня и его необходимо принимать по величине таким, при котором за время полупериода промышленной частоты затухание амплитуды аperiodической составляющей составит 0,95.

Список литературы

1. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. М.: Энергия, 1971, 152 с.
2. Барановская М.Л. Моделирование переходных процессов в распределительной сети при замыканиях на землю с учетом активных проводимостей изоляции // Книга за матеріалами п'ятої міжнар. конф. "Контроль і управління в технічних системах" (КУТС-97). - Том 3. - Вінниця: "УНІВЕРСУМ-Вінниця", 1999. - С. 21-26.
3. Дударев Л.Е., Волошек И.В. Выбор сопротивления резистора в нейтрали сетей 6-10 кВ // Промышленная энергетика, 1989. - №6. - С. 28-31.
4. Захаров Г.А., Ягудаев Б.М. Резистор для высокоомного заземления нейтрали сетей 6-10 кВ горных предприятий // Промышленная энергетика. - 1986. - №11. - С. 33-35.
5. Осипов Э.Р., Дергилев М.П., Обабков В.К. Высокочастотный резонанс в системах электроснабжения шахт и карьеров при дуговых замыканиях на землю // Изв. вузов. Горн. журнал, 1985. - №9. - С. 99-103.
6. Осипов Э.Р., Обабков В.К. Сравнительный анализ способов заземления нейтрали в задаче подавления дуговых замыканий на землю // Изв. вузов. Горн. журнал, 1988. - №3. - С. 94-97.
7. Техника высоких напряжений. Под ред. М.В. Костенко. - М.: Высшая школа, 1973. - 464 с.
8. Самойлович И.С. К оценке переходных сопротивлений при однофазных замыканиях на землю в сетях 6-10 кВ // Проблемы технической электродинамики. - 1972. - вып.37. - С. 55-60.
9. Теоретические основы электротехники / Г.И. Атабеков, С.Д. Купалян, А.Б. Тимофеев, С.С. Хухриков / М.-Л.: Энергия, 1966. - 280с.
10. Беляков Н.Н., Кузмичева К.И., Ивановски А. Ограничение перенапряжений при дуговых замыканиях на землю в сети 6 кВ собственных нужд электростанций с помощью ОПН // Промышленная энергетика. - 1991. - №4. - С. 78-84.
11. Барановская М.Л. Моделирование переходных процессов в поврежденной фазе при замыкании на землю // Книга за матеріалами четвертої міжнар. конф. "Контроль і управління в технічних системах" (КУТС-97). - Том 1. - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. - 1997. - С. 116-122.
12. Distribution - class arresters offers strength, durability. - Transmiss. and Distrib., 1984. - №7.- P.60.
13. Niebuhr W.D. Metal - oxide - varistor surge arrestors : Technology and application concepts. CIRED, 1983; 7th Int. Conf. Elec. Distrib., Liege, 25-29 Apr., 1983. Pt 1. Liege, 1983. - P. 13/1 - 13/6.
14. Walsh Gorge W.A. Review of lightning protection and grounding practices. - IEEE Trans. Ind. Appl., 1979. -P. 133-138.

**АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ИЗНОСА ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ РУДОРАЗМОЛЬНЫХ
МЕЛЬНИЦ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ИХ СРОКА СЛУЖБЫ**

В промышленности широкое распространение находят крупногабаритные и крупномодульные зубчатые передачи. Например, шаровые мельницы, предназначенные для измельчения различных руд, угля и другого сырья, оборудуются открытыми зубчатыми передачами. Они также как и все открытые передачи работают в условиях ударно-циклических контактных нагрузок. Характерные причины снижения несущей способности определяется не только разупрочнением зуба у его основания, но и усталостным выкрашиванием контактной поверхности и износ профиля зуба. Ключевыми вопросами при проектировании зубчатых передач является выбор материала зубчатой передачи и способа его упрочнения. В статье проведен анализ видов изнашивания и поврежденности зубьев открытых зубчатых пар рудоразмольных мельниц. Выполнены экспериментальные исследования изнашивания зубьев открытых зубчатых передач рудоразмольных мельниц. Сопоставлением экспериментальных скоростей изнашивания с расчетными величинами, характеризующими геометрию и кинематику зацепления, получен параметр, учитывавший абразивное воздействие среды и физико-механические свойства материалов зубьев для данных условий эксперимента. Произведен критический анализ подходов для решения проблемы повышения надежности и долговечности открытых крупномодульных передач шаровых рудоразмольных мельниц. Определено влияния физико-механических свойств материалов зубчатых колес на интенсивность изнашивания в период приработки и установившегося равномерного износа контактных поверхностей зубьев, а также обоснованы возможности их производительной поверхностной плазменной закалки. Разработан способ плазменной поверхностной закалки зубьев шестерен большого модуля, при котором нагреву подвергают не только боковые поверхности зубьев, но и поверхностные слои материала, расположенные у впадин между зубьями.

Ключевые слова: открытые зубчатые передачи, абразивный износ, поверхностная плазменная закалка.

Проблемы и ее связь с научными и практическими задачами. Зубчатые передачи занимают ведущее место в механических системах (машинах и механизмах) и от их текущего технического состояния зависят безопасность производства и качество выпускаемой продукции. Они работают в условиях ударно-циклических контактных нагрузок, что вызывает высокие требования к несущей способности зубчатой передачи. Снижение несущей способности определяется такими причинами: разупрочнение зуба у его основания, усталостное выкрашивание контактной поверхности и износ профиля зуба. Открытые зубчатые передачи подвержены абразивному износу рабочих поверхностей зубьев при попадании на зубья пыли, грязи, которые играют роль абразивного материала. Анализ и оценка абразивного износа зубьев, производится в зависимости от характеристики абразивного воздействия физико-механических свойств материалов, геометрических и кинематических параметров сопряжений. Снижение интенсивности абразивного изнашивания, как на участке приработки кривой износа, так и на участке равномерного изнашивания, является актуальной проблемой.

Анализ исследований и публикаций. Абразивному изнашиванию, как наиболее распространенному виду посвящено ряд экспериментальных исследований, учитывающих специфику горных машин, в частности - рудоразмольных мельниц, занималось большое число исследователей из научно-исследовательских, проектно-конструкторских и высших учебных заведений Украины и мира.

Наибольший интерес представляют исследования направленные на установление общих закономерностей абразивного изнашивания. Ряд работ в этом направлении основаны на использовании методов теории подобия.

Большой интерес представляют исследования основанные на изучении механики абразивного зерна в зоне контакта зубьев (Гавриленко В.А., Ермичев В.А., Кашеев В.Н.). Данные работы в дальнейшем углублены Г.Я. Ямпольским, А.П. Натаровым, И.В. Крагельским и рядом иностранных ученых [1-6].

Анализ литературных данных по проблеме исследования свидетельствует о том, что существующие рекомендации по критериям предельных состояний высоконагруженных зубчатых передач противоречивы и не в полной мере учитывают взаимосвязь между характеристиками контактных повреждений зубьев и эксплуатационными свойствами передач, при комплексной

оценке факторов, влияющих на долговечность открытых зубчатых передач, в том числе, параметров упрочненных рабочих участков зубчатых колес.

Постановка задачи. Для повышения надежности приводов и трансмиссий актуальным является: разработка научно обоснованных и достоверных критериев оценки предельных состояний зубчатых передач; разработка методика оперативной оценки интенсивности изнашивания рабочих поверхностей зубьев; усовершенствование технологии их поверхностного упрочнения.

В связи с этим необходимо, применительно к крупномодульным передачам шаровых рудоразмольных мельниц, выяснить влияние физико-механических свойств материалов зубчатых колес на интенсивность изнашивания в период приработки и установившегося равномерного износа контактных поверхностей зубьев, а также обосновать возможность их производительной поверхностной плазменной закалки.

Изложение материалов и результаты. Изнашивание зубьев можно разбить на три периода: приработочный, установившийся и катастрофический.

Рассматривая величину износа зубьев во времени, в пределах каждого из периодов действительную зависимость замены линейной (рис. 1).

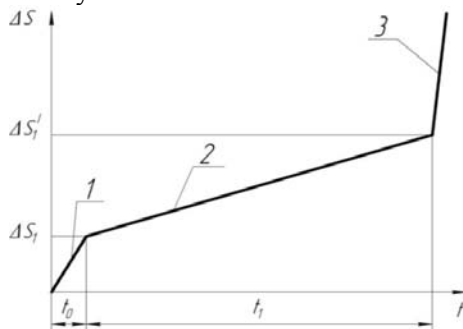


Рис. 1. Идеализированная кривая износа зубьев шестерни. ΔS_{10} , t_{10} – величина и продолжительность приработочного износа; $\Delta S'_1$ – допускаемая величина износа зубьев одной активной поверхностью; t_1 – продолжительность периода установившегося изнашивания

Интенсивность изнашивания и величина износа в приработочный период в открытых зубчатых передачах рудоразмольных мельниц в значительной степени определяется взаимными перекосами зубьев, приводящих к значительным концентрациям нагрузки по ширине зубчатого венца и является случайной величиной.

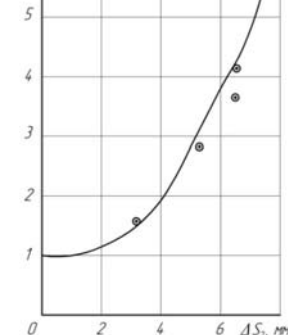
В результате обработки экспериментальных данных установлено, что величины приработочных износов зубьев шестерни и венца в основном лежат в пределах $\Delta S_{10}=0,6 \div 1,5$ мм, $\Delta S_{10}=0,3 \div 0,6$ мм. Скорость приработочного изнашивания шестерни в среднем равна $V_{n1} \approx 5V_1$ (V_1 – скорость в период установившегося изнашивания шестерни), а его продолжительность $t_0 \approx \Delta S_{10}/5V_1$.

За срок службы шестерни наиболее продолжительным является установившейся период изнашивания. Начиная с величины износа зубьев шестерни $\Delta S'_1=3 \div 4$ мм начинается катастрофический период изнашивания. Скорость изнашивания в этот период примерно равна $V_{x1} \approx 25V_1$.

В связи с этим допускаемую величину износа зубьев шестерни целесообразно назначать $[\Delta S_1] \leq 8$ мм (по 4 мм с каждой активной поверхности зуба).

Опыт эксплуатации и экспериментальные исследования показывают, что долговечность зубчатого венца определяется не физическими его возможностями, а экономическими факторами. При определенной величине износа венца долговечность шестерен настолько снижается, что дальнейшая эксплуатация его нецелесообразна. На рис. 2 представлена экспериментальная зависимость скорости изнашивания шестерен мельниц МБ-7000х2300 в условиях Ингулецкого ГОКа от усредненной величины износа зубьев венца.

Рис. 2. Зависимость скорости изнашивания зубьев шестерни мельницы МБ-7000х2300 от величины износа зубьев венца, U_{10} – скорость изнашивания в начальный момент (при $\Delta S_2 \approx 0$)



Предполагая, что такой же закономерности подчиняется скорость изнашивания венца, экспериментальную зависимость аппроксимируем степенной функцией.

$$U_{1(2)} = U_{1(2)0} [1 + (K\Delta S_2)^x] \quad (1)$$

Так, в начальный период эксплуатации мельниц МБ-7000х2300 долговечность приводной шестерни составляла 3-3,5 года. После износа зубьев венца на величину $\Delta S_2=6,6$ мм, срок службы шестерни сократился до 6-8 месяцев.

В данном случае коэффициенты $K=0,237 \text{ мм}^{-1}$, $x=2,8$, где $U_{1(2)0}$ – скорость изнашивания зубьев шестерни и венца в начальный период.

При проектировании в эксплуатации мельниц, выборе того или иного варианта привода необходимо определять долговечность зубчатых передач, оценивать эффективность мероприятий, направленных на ее увеличение.

Для тяжело нагруженных элементов пар трения, к которым относятся зубчатые зацепления открытых передач мельниц скорость изнашивания в зависимости от условий абразивного воздействия A , физико-механических свойств материалов $M_{1(2)}$, геометрических и кинематических параметров сопряжений K можно представить в виде

$$U_{1(2)} = 6,8 \frac{AK}{M_{1(2)}} \quad (2)$$

где $U_{1(2)}$ – износ за одно нагружение; $A=q_a^{2/3} A^{0.5} \sigma^{2.5}$; (q_a – концентрация абразивных примесей в смазке или воздухе, %; R – их средний радиус, мм; σ – предел прочности, кгс/мм²); $M_{1(2)} = \delta_{1(2)}^{1.5} HB_{1(2)}^{1.5} HB_{2(1)}$ ($\delta_{1(2)}$ – характеристика пластичности поверхностных слоев – относительное удлинение при разрыве; t – коэффициент контактно-фрикционной усталости; $K = \sqrt{\rho^*} \cdot \frac{V_1 - V_2}{V_1 + V_2}$; $\rho^* = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$ – приведенный радиус кривизны сопрягаемых поверхностей, мм;

V_1, V_2 – скорости скольжения сопрягаемых поверхностей, м/с).

Учитывая (2) и результаты экспериментальных исследований анализ и оценку скорости изнашивания открытых зубчатых передач рудоразмольных мельниц будем производить по формуле

$$U_{1(2)} = 60 N_{1(2)} K n_{1(2)} v_2 L_{1(2)} \quad (3)$$

где $N_{1(2)}$ – параметр характеризующий абразивное воздействие среды и физико-механические свойства материалов зубьев для данных условий эксперимента (для мельниц, работающих примерно в равных условиях, усредненные величины $N_1=3,4 \cdot 10^{-10} \text{ мм}^{1/2}$, $N_2=6,4 \cdot 10^{-10} \text{ мм}^{1/2}$), $n_{1(2)}$ – частота вращения, об/мин, v_2 – число зацеплений зубьев венца за один оборот; L – коэффициент, учитывающий отличие абразивного воздействия среды, физико-механических свойств материала и условий нагружения зубьев для расчетного случая

$$L = \frac{\xi}{K_{q_a}^{2/3} K_R^{0.5} K_\sigma^{2.5} \mu_{\delta_{1(2)}}^2 \mu_{HB_{1(2)}}^{1.5} \mu_{HB_{2(1)}}} \quad (4)$$

$$K_{q_a} = \frac{q_{a_N}}{q_{a_P}}; K_R = \frac{R_N}{R_P}; K_\sigma = \frac{\sigma_N}{\sigma_P}; \mu_\delta = \frac{\delta_P}{\delta_N}; \mu_{HB_{1(2)}} = \frac{HB_{P(1)2}}{HB_{N(1)2}}$$

(величины с индексами N соответствуют тем, для которых определен параметр $N_{1(2)}$, а с индексом P – расчетному случаю).

В выражении (4) предполагается, что при снижении или повышении нагрузки в зацеплении возможно заметное проявление сопутствующих видов износа, влияние которых будем учитывать коэффициентом ξ . Зубчатые передачи, исследуемых мельниц испытывают примерно равные нагрузки, что позволяет принять $\xi=1$.

Особенностью работы открытых зубчатых передач мельниц является то, что за срок службы она может испытывать ряд приработочных режимов, в период которых имеет место ускоренный износ. В ряде случаев, ремонт барабана (перифутеровку) осуществляют на специальном стенде. По этой причине, в условиях, например Ингулецкого ГОКа, зубья венца и шестерни мельницы МБ-7000х2300 испытывают приработочные режимы через каждые 5-6 месяцев.

Пусть за срок службы шестерни зубчатое зацепление испытывает r_i приработочных режимов. Усредняя скорость изнашивания, долговечность шестерни определим из выражения

$$r_i \Delta S_{10} + U_{1(2)_{\text{исп}}} t_i \leq [\Delta S_1], \quad (5)$$

где $i=1,2,3,\dots,n$; (количество шестерен, работавших с венцом за срок службы); t_i – суммарное время изнашивания зубьев в установившемся режиме за срок службы шестерни; $[\Delta S_1]$ – допускаемая величина износа.

Учитывая, что долговечность шестерни равна $T_{1i} = t_i + r_i t_{0i}$, из (5) получим

$$T_{1i} = \frac{[\Delta S_1] - r_i \Delta S_{10}}{U_{1(2)_{\text{исп}}}} + r_i t_{0i} \quad (6)$$

Величину износа зубьев венца можно представить как сумму износов, которые они претерпевают при работе с каждой шестерней

$$\Delta S_2 = \sum_{i=1}^n (v_2 r_i \Delta S_{20} + U_{2icp} t_i) \quad (7)$$

Тогда, долговечность венца будет

$$T_2 = \sum_{i=1}^n T_{1i} \quad (8)$$

Переходя к практическим расчетам заметим, что срок службы i -ой шестерни зубья венца изнашивается на величину

$$\Delta S_{2i} = v_2 r_i \Delta S_{20} + U_{2icp} t_i \quad (9)$$

Подставляя в (9) t_i из (6), получим

$$\Delta S_{2i} = v_2 r_i \Delta S_{20} + \frac{U_{2icp}}{U_{1icp}} \{ \Delta S_{1i} - r_i \Delta S_{10} \} \quad (10)$$

$$\frac{U_{2icp}}{U_{1icp}} = \frac{U_{20}}{U_{10}} = const \quad (11)$$

Выражение (10) и соотношение (11) показывают, что несмотря на различную скорость изнашивания и долговечность шестерен величина износа зубьев венца за срок службы каждой шестерни будет постоянной ($\Delta S_{2i} = const$) и, при всех прочих неизменных параметрах, будет определяться отношением U_{20}/U_{10} . В выражениях 5 и 7

$$U_{1(2)icp} = U_{1(2)0} \left\{ 1 + \frac{K^x}{x+1} \Delta S_{2i}^x [i^{x+1} - (i-1)^{x+1}] \right\} \quad (12)$$

Выражения (10) и (12) позволяют в начальной стадии расчета определять ΔS_{2i} и $U_{1(2)icp}$.

В том случае, когда задано время τ , через которое зубья испытывают приработочные режимы, задача решается методом последовательных приближений. Долговечность шестерни определена правильно, если выполняется условие $T_{1i}/r_i \tau \leq 1$.

В зависимости от условий эксплуатации возможны случаи когда зубья изнашиваются с одной и двух сторон. Приработочные режимы изнашивания зубья могут претерпевать всего два раза за срок службы шестерни и через интервалы, продолжительностью каждый τ .

Анализ показывает, что оптимальными являются режимы эксплуатации при которых допускаемая величина износа активных поверхностей зубьев шестерни с каждой стороны не должна превышать 4 мм. Независимо от модуля передачи необходимо обеспечить выполнение условия $[\Delta S_1] \leq 8$ мм. Для мельницы ММС-9000×3000 назначение величины допускаемого износа зубьев шестерни $[\Delta S_1]=16$ мм (по 8 мм с каждой стороны зуба) приведет к снижению долговечности шестерен и венца в среднем на 40%. Кроме того, необходимо в процессе эксплуатации использовать активные поверхности зубьев венца с обеих сторон. Несоблюдение этого условия приведет к снижению долговечности открытой зубчатой передачи так же на 40%.

Как видно из (2), (4) концентрация механических примесей существенно влияет на скорость изнашивания. При снижении примесей в 2,3,4 раза скорость уменьшается в 1,6;2;2,5 раза.

Из анализа выражений (5), (7) можно заключить, что эффект снижения скорости изнашивания сказывается на долговечность зубчатых колес тем меньше, чем большая роль приработочного износа в общем балансе.

При оценке влияния физико-механических свойств материала зубчатых колес, как было отмечено выше, согласно (2) на скорость абразивного изнашивания влияет величина, характеризующая физико-механические свойства материала зубчатых колес $M = \delta' HB_{1(2)}^{1,5} HB_{2(1)}$. Величина σ составная величина параметра, характеризующего абразивное воздействие среды. Тем не менее, σ , кроме того является функцией твердостей активных поверхностей зубьев. Поэтому, рассматривая влияние физико-механических свойств материалов будем учитывать, что скорость изнашивания

$$U_{1(2)} \approx \frac{\sigma^{2,5}}{\delta' HB_{1(2)}^{1,5} HB_{2(1)}} \quad (13)$$

Повышение твердости активных поверхностей зубьев приводит к снижению σ . Как видно из (13) повышение твердости зубьев одного из колес ведет к снижению скорости изнашивания так же зубьев другого колеса зубчатой пары.

Повышение твердости активных поверхностей зубьев открытых зубчатых передач, кроме того способствует снижению сопутствующих видов износа, повышению их контактной прочности.

Экспериментальное исследование влияния твердости активных поверхностей зубьев на их долговечность было проведено в условиях Приднепровской ГРЭС на мельницах Ш-50. Зубья шестерни подвергались поверхностной закалке токами высокой частоты. В результате несовершенства технологического процесса твердость поверхности различных зубьев резко отличалась. В процессе работы шестерни измерялась скорость изнашивания зубьев в зависимости от твердости их активных поверхностей. Результаты эксперимента представлены на рис. 3.

Следовательно, повышение износостойкости и долговечности работы крупномодульных зубчатых передач является актуальным для всех машиностроительных предприятий.

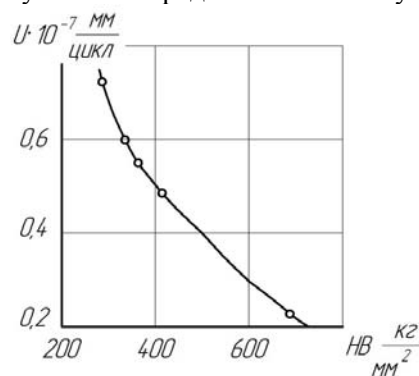


Рис. 3. Зависимость скорости изнашивания зубьев шестерни от твердости их активных поверхностей (ст.35, мельница Ш-50, Приднепровская ГРЭС)

Изложенное, приводит к необходимости исследования существующих технологий для решения проблемы повышения работоспособности, срока службы, износостойкости рабочих поверхностей зубьев крупномодульных зубчатых колес. Перспективным направлением на этом пути представляется упрочняющая термическая обработка рабочей поверхности концентрированным потоком энергии [7,8,9,10]. Образующиеся при скоростном нагреве и охлаждении структуры закалочного типа обладают высокой твердостью, износостойкостью,

сопротивлением разрушению.

Широкое промышленное применение большинства известных способов упрочняющей обработки концентрированным потоком энергии (лазерной, электроннолучевой, катодно-ионной и др.) сдерживается высокой стоимостью и сложностью оборудования, недостаточными его надежностью и производительностью, необходимостью использования вакуума, специальных помещений с особыми требованиями, потребностью в квалифицированном обслуживании, высокими эксплуатационными расходами. В этих условиях, для продления эксплуатационного ресурса быстроизнашивающихся деталей рациональным по параметрам универсальности, доступности, экологичности и экономической эффективности представляется способ поверхностной термообработки плазменной дугой [7,8]. Не изменяя параметров шероховатости поверхности, такая термообработка легко встраивается в технологический процесс подготовки и ремонта деталей, являясь финишной операцией, малозатратна, достаточно производительна и позволяет эффективно увеличить их эксплуатационную стойкость. Вследствие чего авторами статьи предлагается применять плазменное упрочнение профиля зубчатого колеса для повышения контактной прочности рабочих поверхностей зубьев.

Целью плазменной закалки является повышение эксплуатационного ресурса деталей машин за счет упрочнения их поверхностного слоя (толщиной до нескольких миллиметров) термической обработкой плазменной дугой при неизменном общем химическом составе материала и сохранении во внутренних слоях первоначальных свойств исходного металла.

Упрочнение является результатом высокоскоростного локального нагрева плазменной дугой поверхностного слоя изделия до высоких (выше A_{C_3}) температур и быстрое его охлаждение со сверхкритической скоростью в результате теплоотвода в глубинные (внутренние) слои материала изделия. Образующиеся при скоростном нагреве и охлаждении структуры закалочного типа обладают высокой твердостью, износостойкостью и сопротивлением разрушению. Эффект от плазменной закалки определяется повышением эксплуатационных свойств детали благодаря изменению физико-механических характеристик поверхностного слоя, вследствие образования специфической структуры и фазового состава металла, а также получения на поверхности сжимающих остаточных напряжений.

Структурные превращения в целом соответствуют происходящим при объемной закалке, однако, высокие скорости нагрева и охлаждения вызывают изменение соотношений между структурными составляющими, изменение их морфологии вследствие повышенной дефектности кристаллического строения (увеличение плотности дислокаций, измельчение блоков и рост напряжений в кристаллической решетке) [7].

Задача состоит в том, чтобы создать способ термической обработки (поверхностного упрочнения) шестерен, который может позволить получить переменную твердость по высоте зубьев, понижающуюся в направлении впадины (рис. 4). Это позволяет управлять процессом изнашивания зубьев с целью поддержания постоянства качественных показателей зацепления зубчатых колес.

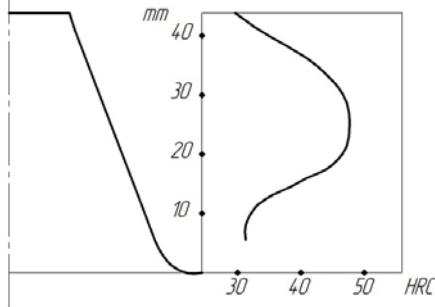


Рис. 4. Модель изменения твердости поверхностного слоя зуба шестерни в результате упрочнения

Структура упрочненного слоя, характеризующаяся большой твердостью и высокой дисперсностью, оказывает определяющее влияние на изменение эксплуатационных характеристик упрочненных материалов - износостойкость, механические свойства (прочность, пластичность, трещиностойкость, выносливость), тепло- и коррозионную стойкость.

Выводы и направление дальнейших исследований.

1. Проведен анализ видов изнашивания и поврежденности зубьев открытых пар рудоразмольных мельниц. Установлено, что ведущим видом является абразивное изнашивание.

2. Выполнены экспериментальные исследования изнашивания зубьев открытых зубчатых передач рудоразмольных мельниц.

В результате обработки и анализа экспериментальных данных получены усредненные величины, характеризующие различные этапы изнашивания. Установлена зависимость скорости изнашивания от величины износа зубьев.

3. Разработан метод расчета открытых зубчатых передач рудоразмольных мельниц на износ, учитывающий особенности их эксплуатации.

На основании разработанного метода дан анализ и оценка факторов влияющих на долговечность открытых зубчатых передач.

4. На основании экспериментальных данных и разработанного метода расчета открытых пар установлено, что предельные величины износа зубья шестерни и венца должны определяться не способностью выполнять эксплуатационные функции, а экономическими соображениями.

5. Разработан способ плазменной поверхностной закалки зубьев шестерен большого модуля ($m > 10$ мм), при котором нагреву подвергают не только боковые поверхности зубьев, но и поверхностные слои материала, расположенные у впадин между зубьями.

Список литературы

1. **Каргельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С.** Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526с.

2. **Натаров А.П.** Исследование влияния геометрических параметров зубчатых передач, работающих в средах с наличием абразива на их долговечность: автореферат дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук / А.П. Натаров – Харьков, 1978. – 28 с.

3. **Ямпольский Г.Я., Крагельский И.В.** Исследование абразивного износа элементов пар трения качения. – М.: Наука, 1973. – с. 63.

4. **Ямпольский Г.Я., Натаров А.П.** Расчет абразивного износа зубьев зубчатых передач. – В кн.: Расчетные методы оценки трения и износа: Брянск, 1975, с. 186-204.

5. **Antoni Skoc and Jacek Spalek.** Contemporary directions and methods of studying bevel gears working in mining machines drives / S. Antoni, S. Jacek // Acta Montanistica Slovaca, 2002. - Vol. 3. - P. 205-207

6. **Harris, T. and W. Yu.** Lundberg-Palmgren Fatigue Theory: Considerations of Failure Stress and Stressed Volume / Transactions ASME Journal of Tribology, 1999. - Vol. 121. - 85-89.

7. Нечаев В.П., Рязанцев А.А. Модификация свойств поверхностных слоев тяжело нагруженных деталей горных машин посредством плазменного упрочнения. – Вісник Криворізького національного університету. Збірник наукових праць. – Вип.32. Кривий Ріг, 2012. – с.123-127.

8. Mohd Idris Shah Ismail, Zahari Taha. Surface Hardening of Tool Steel by Plasma Arc with Multiple Passes/ International Journal of Technology, 2014. – Vol. 5 No 1. - p.79-87

9. Kazuhiro Yagita, Chikara Ohki. Plasma Nitriding Treatment of High Alloy Steel for Bearing Components/ NTN Technical Review, 2012. - No.78. –p. 33-40.

10. Yang, L.J. Plasma Arc Surface Hardening of ASSAB 760 Steel Specimens with Taguchi Optimization of the Processing Parameters, Journal of Material Processing Technology, 2001. - Vol. 113, p. 521-526

Рукопись поступила в редакцию 16.03.15

УДК 69.057.693: 624

А.В. ПАРШИН, С.А. ХАРЧЕНКО, В.И. АСТАХОВ, кандидаты техн. наук, доц.,
И.В. ГИРИН, ст. преподаватель, С.А. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф.
Криворожский национальный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ХРУПКИМ РАЗРУШЕНИЯМ

Представлены результаты исследования сопротивляемости фундаментных болтов хрупким разрушениям для элементов болтовых соединений фундаментов, которые были выполнены из разных марок стали и имели различную конфигурацию. На основании анализа низкотемпературных диаграмм, полученных в результате исследований, было установлено, что разрушающие напряжения для фундаментных болтов, соответствующие температуре вязко-хрупкого перехода, во всех случаях - на 10-20% выше, чем при температуре +20°C. Этот результат предопределен ограничением нижней границы эксплуатационной пригодности фундаментных болтов температурой вязко-хрупкого перехода. Установлено, что в качестве материала для фундаментных болтов диаметром до 48 мм, эксплуатируемых в климатических районах с расчетной температурой до -65°C, можно использовать сталь марки 09Г2С-6, а в климатических районах с расчетной температурой до -50°C – сталь марки ВСтЗ или ВСтЗГ с дополнительным требованием по ударной вязкости при температуре -20°C не менее 30 Дж/см². Результаты экспериментальных исследований позволили разработать предложения по повышению расчетных сопротивлений фундаментных болтов растяжению.

Ключевые слова: фундамент, болт, хрупкое разрушение, сопротивляемость, соединение.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Исследование сопротивляемости фундаментных болтов хрупким разрушениям для позволяет установить разрушающие напряжения, соответствующие температуре вязко-хрупкого перехода. Очевидно, что при установлении количественных показателей сопротивления хрупким разрушениям целесообразно рассматривать диаграммы деформирования элементов болтовых соединений, что позволит более адекватно рассчитывать крепления металлоконструкций к фундаментам.

Анализ исследований и публикаций. Отмеченный подход был использован в исследованиях Беляева С.В., Биргера И.А., Горпинченко В.М., Григорьева В.Н., Ивашкова И.И., Каленова В.В., Кармалина В.В., Кочерговой Е. Е., Мацелинского Е.Р., Павлова А.Б., Стрелецкого Н.Н., Трофимова В.И. Иоселевича Г.Б. и др. [1-6]. Из них следует: чтобы решить задачи, поставленные в данном контексте, необходимо для каждого образца иметь полную информацию о деформациях на всех этапах нагружения. Так как диаграмму деформирования нельзя строить без анализа особенностей разрушения болтового соединения, то окончательно в качестве расчетных сопротивлений хрупкому разрушению принимаются величины, вычисленные по деформационному критерию.

Постановка задания. Анализ исследований хрупкого разрушения элементов болтовых соединений из сталей повышенной и высокой прочности, а также сопоставление требований отечественных и зарубежных норм проектирования показал, что применяемые формулы недостаточно точны, поэтому нуждается в уточнении, что и обусловило направление и содержание представленного исследования: построение и анализ диаграмм деформирования до хрупкого разрушения элементов фундаментных болтовых соединений.

Изложение материала и результаты исследования. Характерной особенностью разрушения образцов фундаментных болтов, испытанных при положительной температуре и при отрицательной, выше критической, являлось то, что во всех случаях в местах разрушения наблюдались значительные пластические деформации. В указанных температурных границах поперечное сужение в изломе достигало 30-40%.

Волокнистый излом, который является характерной особенностью вязкого разрушения, имели все образцы, испытанные при температуре выше -40°C . Поверхность излома в этом случае была покрыта выступами удлиненной формы, представляющими собой разрушенные зерна феррита и выглядела матовой. Дальнейшее снижение температуры испытаний привело к тому, что в изломах, помимо волокнистой составляющей, появились фасетки скола. Анализ изломов, содержащих волокнистую и кристаллическую составляющие, позволяет сделать вывод о том, что зарождение разрушения происходит по механизму вязкого сдвига. После того, как вязкая трещина достигает длины, соответствующей критической, распространение разрушения происходит по механизму квазихрупкого скола. При снижении температуры испытаний и приближении ее к критической наблюдался рост разрушающей нагрузки. При этом деформационные параметры разрушения оставались неизменными.

При температуре испытаний, равной и ниже $T_{кр}$, поверхность излома образцов имела характерный кристаллический блеск и была ориентирована перпендикулярно действию главных растягивающих усилий. Все изломы содержали только фасетки скола. Поперечное сужение в изломе снижалось до 3-5%. Кроме того, наблюдалось снижение разрушающей нагрузки, которая при температуре испытаний -125°C для всех серий образцов равнялась их несущей способности при $+20^{\circ}\text{C}$.

Установлено, что при температуре испытаний выше $T_{кр}$ болты во всех случаях разрушались на свободном участке резьбы. При температурах ниже $T_{кр}$ разрушение происходило либо в сечении опорной поверхности гайки, либо в месте перехода резьбы к гладкому стержню. Таким образом, анализ участков разрушения фундаментных болтов показывает, что при понижении температуры ниже критической, наблюдается переход места разрушения от зоны с меньшей концентрацией напряжений (свободный участок резьбы) к зоне с большей концентрацией (сечение опорной поверхности гайки или место перехода резьбы к гладкому стержню) [7, 8].

На основании исследований установлено, что при положительной температуре наличие малых перекосов (до 10°) не влияет на несущую способность болтов из малоуглеродистых и низколегированных сталей. Этот результат нельзя автоматически перенести на случай эксплуатации болтов при низких температурах. Дело в том, что даже малые перекосы вызывают перенапряжение отдельных участков резьбы, что может привести к инициированию хрупкого разрушения. В связи с этим на первом этапе были проведены специальные исследования по изучению влияния перекосов на хладостойкость болтов, для чего было испытано, четыре серии образцов болтов из малоуглеродистой стали ВСтЗпс (серии БФ-5, БФ-6) и низколегированной стали 09Г2С (серии БФ-7, БФ-8). Серии БФ-5 и БФ-7 испытывались на центральное растяжение, а серии БФ-6 и БФ-8 - на растяжение с изгибом.

Изучение материалов о точности монтажа конструкций, а также результатов обследований объектов [9,10] показало, что болты работают с перекосом, не более 10° . На основании этого для моделирования перекоса применялись косые шайбы с уклоном 10° , изготовленные из термически обработанной стали 40Х. Применение косых шайб рекомендуется для контроля качества крепежных изделий ответственного назначения в машиностроении.

Результаты экспериментальных исследований (табл. 1) показали, что переход от центрального растяжения к растяжению с изгибом обуславливает сдвигку критической температуры в сторону положительных температур на 10°C для малоуглеродистой стали (рис. 1) и на 5°C для низколегированной стали (рис. 2а). На основании этого все последующие низкотемпературные испытания проводились на растяжение с изгибом.

Как известно, масштабный эффект является одним из наименее изученных факторов, способных изменить при отрицательных температурах характер разрушения элемента. Увеличение геометрических размеров элемента имеет многочисленные последствия [11, 12]:

- ухудшение структуры материала за счет увеличения количества внутренних дефектов;
- значительное увеличение потенциальной энергии упругой деформации;
- изменение характера напряженного состояния вблизи концентратора напряжений.

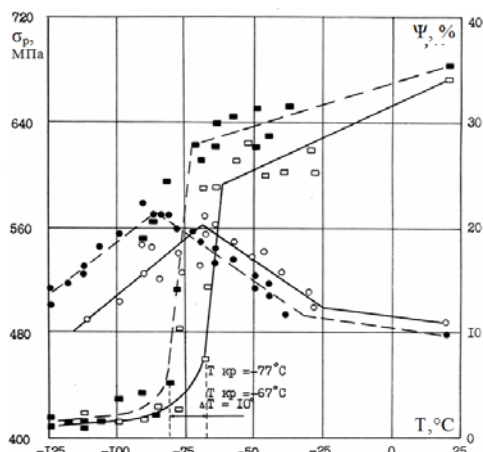


Рис. 1. Температурные зависимости силовых и деформационных характеристик разрушения образцов фундаментных болтов М30 из стали ВСтЗпс серий БФ-5 (● – разрушающие напряжения при осевом растяжении; ○ – разрушающие напряжения при растяжении с изгибом) и БФ-6 (■ – относительное сужение при осевом растяжении; □ – относительное сужение при растяжении с изгибом)

Для изучения влияния масштабного фактора на величину критической температуры вязко-хрупкого перехода болтов были испытаны образцы из малоуглеродистой стали ВСтЗпс серий БФ-5, БФ-9, БФ-10 с диаметром стержня соответственно 30, 36 и 48 мм, которые применяются наиболее широко. С целью обеспечения возможности сопоставления результатов испытаний круглый прокат для изготовления образцов подбирался с близкой величиной порогов хладноломкости $T_{кр}$, которая определялась по результатам контрольных испытаний стандартных образцов на ударную вязкость и составляла для сталей образцов серий БФ-5, БФ-9, БФ-10, соответственно -33°C , -36°C и -38°C (табл. 1).

На основании результатов исследований установлено, что изменение диаметра болта в пределах от 30 до 43 мм практически не сказывается на критической температуре вязко-хрупкого перехода. Доказательством служит то, что для болтов М30, М36, М48 она составила соответственно -67°C , -75°C и -64°C (рис. 1, 2Б).

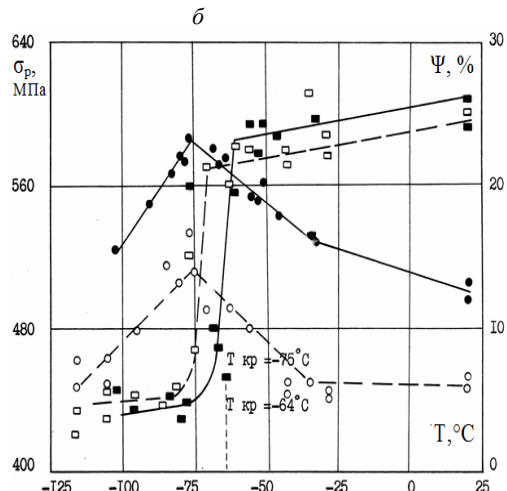
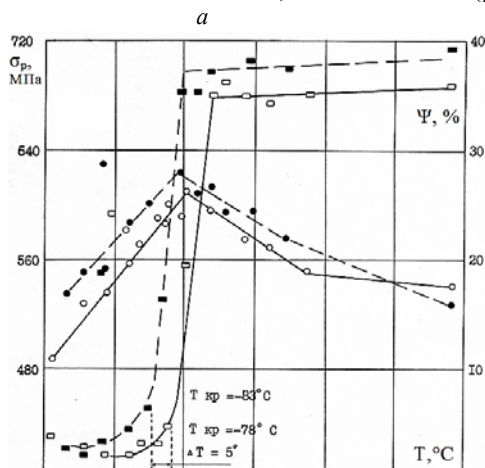


Рис. 2. Температурные зависимости силовых и деформационных характеристик разрушения образцов фундаментных болтов: А – М30 из стали 09Г2С серий БФ-7 (● – разрушающие напряжения при осевом растяжении, ■ – относительное сужение при осевом растяжении) и БФ-8 (○ – разрушающие напряжения при растяжении с изгибом, □ – относительное сужение при растяжении с изгибом); Б – из стали ВСтЗпс серий БФ-9 (○ – разрушающие напряжения болтов М36, □ – относительное сужение болтов М36) и БФ-10 (● – разрушающие напряжения болтов М48, ■ – относительное сужение болтов М48)

Согласно требованиям действующих норм для фундаментных болтов, эксплуатируемых в районах с расчетной температурой до -50°C и до -65°C , рекомендуется применять низколегированные стали соответственно 09Г2С-6 и 09Г2С-8. Эти стали отличаются между собой только тем, что сталь 8-й категории ударной вязкости подвергается нормализации. Как известно, после нормализации структура стали получается более упорядоченной, снимаются внутренние напряжения, что приводит к улучшению пластических свойств проката и к повышению его ударной вязкости [13,14].

Для того, чтобы количественно оценить степень влияния нормализации на сопротивляемость фундаментных болтов хрупкому разрушению были испытаны образцы из малоуглеродистой стали ВСтЗпс (серии БФ-11, БФ-12) и из низколегированной 09Г2С (серии БФ-13, БФ-14). Образцы серий БФ-11 и БФ-13 были изготовлены из стали в исходном (горячекатаном) состоянии, а образцы серий ОС-12 и ОС-14 после изготовления были подвергнуты нормализации.

В табл. 1 приведены пороги хладноломкости, которые определялись путем испытания стандартных образцов с надрезом на ударный изгиб и критические температуры хрупкости, которые были получены при испытании натуральных образцов болтов на растяжение с изгибом.

Таблица 1

| Параметры испытания натуральных образцов болтов на растяжение с изгибом | | | | | | | |
|---|-------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|-------|-----------|
| Серия | Болт, марка стали | Вид нагружения | $T_{кр}, ^\circ\text{C}$ | $T_{кcv}, ^\circ\text{C}$ | $T = T_{кcv} - T_{кр}$ | Сталь | Серия, шт |
| БФ-5 | М30 ВСт3пс | Осевое растяжение | -77 | -33 | 44 | г.к | 35 |
| БФ-6 | М30 ВСт3пс | Растяжение с изгибом | -67 | -33 | 34 | г.к | 20 |
| БФ-7 | М30 09Г2С | Осевое растяжение | -83 | -58 | 25 | г.к | 15 |
| БФ-8 | М30 09Г2С | Растяжение с изгибом | -78 | -58 | 19 | г.к | 15 |
| БФ-9 | М36 МСт3пс | Растяжение с изгибом | -75 | -36 | 39 | г.к | 20 |
| БФ-10 | М48 МСт3пс | Растяжение с изгибом | -64 | -38 | 26 | г.к | 20 |
| БФ-11 | М36 МСт3пс | Растяжение с изгибом | -80 | -60 | 20 | г.к | 15 |
| БФ-12 | М36 МСт3пс | Растяжение с изгибом | -119 | -60 | 59 | н | 15 |
| БФ-13 | М48 МСт3пс | Растяжение с изгибом | -56 | -20 | 36 | г.к | 15 |
| БФ-14 | М48 МСт3пс | Растяжение с изгибом | -85 | -45 | 40 | н | 10 |

Из табл. 1 видно, что сталь марки 09Г2С в горячекатаном состоянии имеет порог хладноломкости -20°C , а в нормализованном -45°C . Характерно, что сталь марки ВСт3пс в горячекатаном и в нормализованном состоянии имеет один и тот же порог хладноломкости равный -60°C .

Результаты испытаний показали также, что нормализация в целом благоприятно сказывается на хладостойкости самих болтов. Так, для горячекатаных болтов М48 из стали 09Г2С (серия БФ-13) критическая температура хладостойкости составила -56°C , а для этих же болтов после нормализации (серия БФ-14) критическая температура составила -85°C (рис. 3А).

Для фундаментных болтов из стали ВСт3пс в горячекатаном состоянии (серия БФ-11) критическая температура хладноломкости составила -80°C , а для этих болтов в нормализованном состоянии (серия БФ-12) достичь температуры перехода болтов в хрупкое состояние не удалось, несмотря на снижение температуры испытаний до -119°C (рис. 3Б).

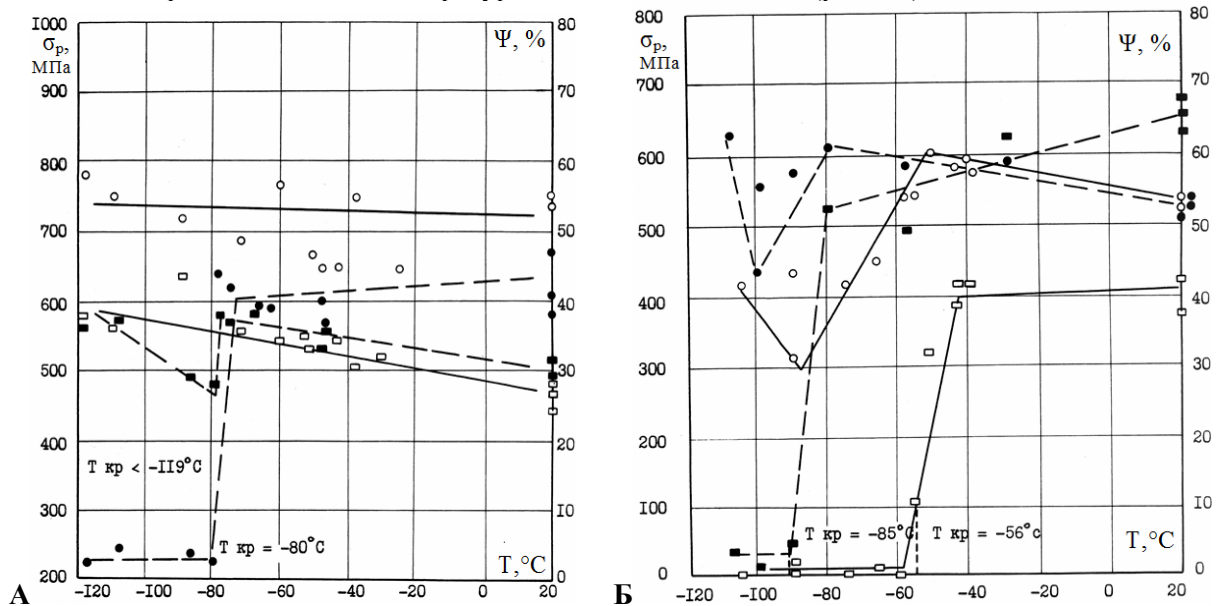


Рис. 3. Температурные зависимости силовых и деформационных характеристик разрушения образцов фундаментных болтов: А – М36 из стали ВСт3пс серий БФ-11 (● – разрушающие напряжения образцов из горячекатаной стали, ■ – остаточное сужение образцов из горячекатаной стали) и БФ-12 (○ – разрушающие напряжения образцов из нормализованной стали, □ – относительное сужение образцов из нормализованной стали); Б – М48 из стали 09Г2С серий БФ-13 (○ – разрушающие напряжения образцов из горячекатаной стали, □ – относительное сужение образцов из горячекатаной стали) и БФ-14 (● – разрушающие напряжения образцов из нормализованной стали, ■ – относительное сужение образцов из нормализованной стали)

Таким образом, видно, что, в соответствии с общепринятыми представлениями, нормализация значительно повышает хладостойкость фундаментных болтов, сдвигая критическую температуру приблизительно на $30-40^\circ$ в сторону более низких температур.

Как показал анализ норм проектирования, все без исключения конкретные рекомендации по предотвращению хрупкого разрушения обоснованы экспериментальными исследованиями. Однако, низкотемпературные испытания крупноразмерных образцов являются дорогостоящими и трудоемкими. Наиболее простым способом оценки хладостойкости стали является испытание стандартных образцов с надрезом на маятниковом копре. Поэтому в настоящее время исходной характеристикой при выборе стали для проектирования хладостойких конструкций, является ударная вязкость. Необходимо отметить, что на основании многочисленных испытаний на ударную вязкость получен большой банк данных по всем маркам конструкционной стали [15-18].

На основании изложенного, по результатам низкотемпературных испытаний (табл. 1), была установлена зависимость, которая позволяет определить действительную величину критической температуры хрупкости $T_{кр}$ для болтов по порогу хладноломкости $T_{кcv}$, что дает возможность использовать в расчетах на хрупкую прочность банк данных по ударной вязкости.

Степень тесноты, а также характер зависимости между величиной порога хладноломкости $T_{кcv}$ и величиной критической температуры хрупкости для фундаментных болтов характеризуются коэффициентом корреляции, равным 0,883, что говорит о существовании между исследуемыми характеристиками почти строгой линейной зависимости. Эмпирическая регрессионная зависимость находилась путем подстановки в уравнение параметров, полученных в результате корреляционного анализа: $T_{кр}=0,552T_{кcv}-48,5^{\circ}\text{C}$. При поставке проката из стали 09Г2С-6 требуемая ударная вязкость $T_{кcv}=29$ Дж/см² гарантируется при температуре -40°C , т.е. критическая температура хрупкости для такой стали $T_{кр}$ гарантируется всегда при температуре ниже -40°C . Для болтов из стали 09Г2С-6 $T_{кр}=0,662\times(-40^{\circ}\text{C})-48,5^{\circ}\text{C}=-70^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод о возможности применения горячекатаных болтов диаметром до 48 мм из стали 09Г2С-6 для крепления конструкций в климатических районах с расчетной температурой до -65°C . Пользуясь приведенной формулой, для фундаментных болтов из стали марки ВСтЗпс, имеющей гарантию ударной вязкости при температуре -20°C , получаем $T_{кр}=0,552\times(-20^{\circ}\text{C})-48,5^{\circ}\text{C}=-59^{\circ}\text{C}$.

Такой результат позволяет сделать вывод о возможности применения фундаментных болтов из стали ВСтЗпс, имеющей гарантию ударной вязкости при температуре -20°C , в климатических районах с расчетной температурой до -50°C .

Расчет на хрупкую прочность включает в себя не только определение допустимой температуры эксплуатации, но и проверку прочности. Для осуществления этой проверки были сопоставлены показатели прочности фундаментных болтов при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ и при допустимой эксплуатационной температуре. На основании анализа низкотемпературных диаграмм (рис. 1-3), полученных в результате исследований, было установлено, что разрушающие напряжения для фундаментных болтов, соответствующие температуре вязко-хрупкого перехода, во всех случаях - на 10-20% выше, чем при температуре $+20^{\circ}\text{C}$. Этот результат был предопределен ограничением нижней границы эксплуатационной пригодности фундаментных болтов температурой вязко-хрупкого перехода.

Список литературы

1. Биргер И.А., Иоселевич Г.Б. Резьбовые соединения. -М.: Машиностроение, 1973. -255с.
2. ГОСТ 24379.0-80. Болты фундаментные. Общие технические условия. -М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1981. -6с.
3. СНиП II-23-81. Стальные конструкции. Нормы проектирования. -М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. -96с.
4. Беляев С.В. Исследование прочности болтов при растяжении с перекосом//Заводская лаборатория. 1945. - №11 -С. 604-623.
5. Кочергова Е.К. Работа на срез черных болтов из сталей марок Ст3, Ст5 и 35ГС//Промышленное строительство. -1963. -№3. -С. 46-48.
6. Мацелинский Е.Р. О назначении расчетных сопротивлений болтов классов прочности 4.8 и 5.8//Труды института ЦНИИСК. 1977. Теоретические исследования строительных конструкций. -С. 148-154.
7. Банков Б.А. Исследование прочности резьбовых соединений при низких температурах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. -М.: МВТУ им. Баумана, 1999. -19 с.
8. Ярошевич В.Д. Об оценке склонности металлов к хладноломкости //Заводская лаборатория, 1994. - № 9. - С.1119-1121.
9. Пименов И.Л. Исследование работы сопряжения базы стальной колонны и бетонного фундамента: Дис. ... канд. техн. наук. -М.: МИСИ им. Куйбышева, 1963. -153 с.
10. Birkecмoc P., Gilmor M. Behavior of Bearing Critical Double-Angle Connections.//Steel Construction. 1978. - №4.

11. Гудков А.А., Славский Ю.И. Методы измерения твердости металлов и сплавов. -М.: Металлургия, 1982. - 165 с.
12. Chong K., Matlock R. Light-Gage Steel Bolted Connections without washers//Journal of the Structural Division. 1975. - № 7.
13. Белов А.В. Исследование и расчет влияния перекосов на работоспособность резьбовых соединений общего назначения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М.: МВТУ им. Баумана, 1983. -16 с.
14. Pirkins A., Hogan J. Bolted connections of the Steel Construction. - 1977. -№ 3.
15. Mors H. Erfahrungsergebnisse auf Prüfstationen für freileitungsstützenmasten//Stahlbau.-1980.- № 6.-S. 161-165.
16. WG 22-08. Single bolt connections of angles in transmission line tower. Recommendation for calculation of the strength of longitudinal and transverse edge distances. August 1984. J.van.Bodegom, B.Evensen, J.J.Gidlung.
17. Pisher J. Struik J. Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints. - John Wiley, 1974.
18. Gilchrist R., Chong K. Thin Light-Gage Bolted Connections without washers//Journal of the Structural Division. -1999. - № 1.

Рукопись поступила в редакцию 16.03.15

УДК 622.7: 658.562

М.А. ТИМОШЕНКО, магістрант, Криворізький національний університет

МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ РУДИ В УМОВАХ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ

Розглянуто актуальні питання ефективності процесу збагачення залізної руди. Обґрунтовано питання важливості класифікації руди на мінералого-технологічні різновиди. Аргументована важливість усереднення характеристик руди з метою мінімізації втрат корисного компоненту та збільшення ступеню його розкриття. Розглянуто методи контролю якості руди на різних етапах збагачення. У тому числі приділено увагу фізичному стану заліза на конкретних стадіях подрібнення та збагачення та відповідній специфіці фізичних показників, враховуваних у різних методах. Розглянуто фізичну природу показників розподілення залізної руди на технологічні різновиди та обґрунтовано негативний вплив недоподрібненої та переподрібної руди на знос гірничозбагачувального обладнання та втрати корисного компоненту. На основі розглянутої інформації сформульовано їх переваги та недоліки. Виявлено, що методи контролю руди недостатньо розвинуті та знаходяться на стадії дослідження. Отже, вказано напрямки подальших досліджень – розвиток методів контролю розкриття корисного компоненту у твердій фазі пульпи.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На даний момент гірничорудна промисловість України переживає тяжкі часи. Залізородні басейни поступово виснажуються, що вкрай негативно впливає на вміст корисного компонента у вихідному продукті. Також, за рахунок застарілого обладнання та методів керування, виробництво стає дуже енергозатратним, тобто економічно не вигідним з точки зору співвідношення «затрати енергії – кількість і якість продукту». Саме тому необхідно вдосконалювати та оптимізувати процеси обробки та збагачення залізної руди. Значну роль відіграє різноманіття руди. Мінералого-технологічних різновидів руди велика кількість. Вони можуть досить сильно відрізнятися за вмістом мінералів, а значить за фізичними і хімічними властивостями, навіть у рамках одного гірничо-збагачувального комбінату, не кажучи вже про різні фабрики, які мають різні родовища. Тільки на ПАТ «Інгулецький ГЗК» розрізняють 7 різновидів оброблюваної руди.

Кожен різновид потребує відповідного оптимального режиму роботи гірничозбагачувального обладнання на кожній стадії збагачення. Відповідно до міцності вихідного матеріалу повинен відповідно бути налаштований млин (кількість мелючих шарів або швидкість обертання барабану, наприклад), класифікатор, сепаратор та інше обладнання. Переподрібнена і недоподрібнена руда призводять до великих втрат корисного компоненту у хвостах.

Проте у реальних умовах неможливо, щоб на обробку потрапив якийсь один чітко визначений різновид руди. Це завжди суміш із декількох різновидів. Налаштовуючи обладнання на оптимальну роботу з одним з них -отримаємо великі втрати по іншим різновидам. Саме тому необхідно проводити усереднення показників вихідної руди і відповідно пристосовувати згідно цих показників режими роботи гірничозбагачувального устаткування.

Аналіз досліджень та публікацій. Контроль якості руди у цілому здійснюється у двох напрямках - контроль характеристик руди у потоці та контроль її характеристик у пульпі.

Найчастіше застосовувані методи контролю параметрів руди у потоці - рентгенорадіометричний, нейтронно-активаційний та гамма-гамма метод [1,7].

Рентгенорадіометричний метод полягає у опромінюванні руди потоком квантів та реєстрації характеристичного випромінювання. Попередньо обирають елементи (частки заліза), які корелюють з відповідним різновидом. Також обирають елементи, вміст яких у руді постійний, після чого складають пари елементів, для яких коефіцієнти кореляційних залежностей мають різні знаки або один з елементів пари характеризується постійним вмістом у руді. Вміст елемента визначається за відношенням інтенсивності характеристичного рентгенівського випромінювання обраних пар елементів [2,6].

Перевагою даного методу є його простота, універсальність та висока розповсюдженість. Проте, він має і значні недоліки - низьку точність оцінювання та недостатню глибину проникнення випромінювання при застосуванні його у комплексі з живильником.

Сутність методу нейтронно-активаційного аналізу полягає у вивченні штучної радіоактивності, що виникає при опромінюванні стабільних ядер досліджуваної речовини (Fe) потоком нейтронів. Його використовують для вивчення мінералів, порід та руд шляхом виділення і оцінки концентрації окремих елементів за їх вторинним радіоактивним випромінюванням. При вимірюванні застосовують детектори, здатні реєструвати частки з відомим значенням енергії вторинного випромінювання. Величина цього випромінювання залежить від маси ядра, тобто вона індивідуальна для кожного хімічного елемента [3].

Недоліком методу є те, що він потребує значних затрат та ставить жорсткі вимоги до контрольованого середовища: незмінність гранулометричного складу, вологості, товщини шару матеріалу на живильнику.

Проте, він має і значні переваги - висока точність і чутливість, можливість виконувати як якісний, так і кількісний аналіз та можливість реєструвати вміст рідких та розсіяних елементів (домішки), коли чутливості та можливостей більш традиційних і дешевих методів недостатньо.

Гамма-гамма методом вимірюють потік чи спектр розсіяного гірською породою гамма-випромінювання, яке виникає при опромінюванні її гамма-квантами зовнішнього джерела. Цей метод застосовують в основному для визначення густини гірських порід. Гамма-гамма метод заснований на ефектах взаємодії гамма-квантів низької енергії з рудною масою. При цьому, за допомогою спеціальних радіометрів реєструється пропущена або розсіяна середовищем частина гамма-гамма випромінювання [2,5].

На відміну від попередніх методів, гамма-гамма метод не висуває таких жорстких вимог до середовища і забезпечує достатню глибину проникнення для опромінення шару досліджуваної руди по усій товщині.

Методи контролю якості руди застосовують для визначення процентного вмісту заліза у досліджуваній руді. Проте, поряд з часткою корисного компонента у перероблюваній руді на ефективність її збагачення суттєво впливає також характер вкраплень мінеральних зерен корисного компонента. Класифікацію мінералого-технологічних різновидів руди здійснюють саме на основі цієї характеристики [8].

Оскільки крупність подрібнення руди для її кращого розкриття залежить від характеру вкраплень корисного компонента (чим тонше вкраплення, тим важче його добути), для кожного різновиду руди для повного розкриття її корисного компонента повинен бути сформульований власний гранулометричний склад, який необхідно підтримувати в усіх режимах роботи технологічного обладнання. Розділення руд на мінералого-технологічні різновиди використовується для планування видобутку та обробки так, щоб забезпечити постійну якість руди впродовж необхідного інтервалу [4].

В основу методів контролю вкраплень корисного компонента у руді покладена різниця фізичних та хімічних властивостей речовин, що складають, відповідно, корисний компонент та порода. При опромінюванні певним визначеним типом випромінювання порода та залізо будуть давати різні показники, так як будуть по-різному реагувати. Завдяки цьому можна отримати таку інформацію, як кількісний та процентний вміст корисного компонента, питому масу, об'єм або навіть візуальну картину його розподілення у досліджуваній руді, залежно від застосовуваного методу [5]. Як приклад методів контролю вкраплень у потоці руди можна навести термічні методи аналізу.

Термографія взагалі вивчає хімічні та фізичні процеси, що супроводжуються поглинанням чи виділенням тепла. У випадку з дослідженням вкраплень корисного компонента у руді досліджується поведінка корисного компонента та руди у полі надвисокої частоти. Короткочасне опромі-

нювання полем НВЧ приводить до різного нагріву заліза та пустої породи, що фіксується за допомогою тепловізора. Існує залежність між температурою та інтенсивністю світимості об'єктів [5].

Руду на живильнику опромінують електромагнітним полем НВЧ, за результатами вимірювань тепловізора розраховують середнє значення температури шматка руди. Звідси знаходиться співвідношення ваг корисного компоненту та пустої породи.

Головним недоліком способу є низька точність визначення характеру вкраплень корисного компоненту. Це обумовлено тим, що розрахунок проводиться за середніми значеннями вимірної температури шматка руди, проте відсутня можливість врахувати розміри та кількість окремих вкраплень заліза.

Перевагою цього способу є можливість візуально оцінити просторове положення і приблизну концентрацію вкраплень заліза у руді, та на основі цих даних реєструвати статистичні дані для подальшого створення експертної бази знань, необхідної на етапі моделювання систем управління, оптимізації та адаптації. Також розглянутий спосіб є досить простим і дозволяє оцінювати шматки руди за вкрапленнями до утворення пульпи, таким чином контролюючи і підтримуючи оптимальний склад заліза у пульпі.

Термічні методи дуже різноманітні. Але всі вони засновані на взаємозалежностях температури та інших фізичних чи хімічних параметрів. Якщо у термографічному аналізі це була залежність світимості від температури, то, наприклад, термогравіметричний метод враховує залежність ваги від температури безпосередньо.

При нагріванні шматків руди відбувається їх дегідратація та виділення газоподібної фази, що призводить до зміни маси, а значить і ваги досліджуваного шматку. Вкраплення заліза та пуста порода втрачають різну кількість домішок і маси, яку вони складають. На основі отриманих даних можна розрахувати кількісний склад корисного компоненту у руді.

Перевагою даного методу аналізу є можливість знайти безпосередньо взаємозалежність «температура-вага корисного компоненту» в обхід складних обчислень з врахуванням світимості речовини. Проте, на цьому його переваги закінчуються і починаються недоліки. По-перше, термогравіметричний метод аналізу не дає змоги отримувати точні результати при вимірюванні масиву шматків руди на живильнику, так як у цьому випадку він буде реєструвати середнє значення зміни ваги усієї руди, не враховуючи різницю в окремих шматках. По-друге, він потребує значних апаратних затрат для реєстрації зміни дуже малих величин. По-третє, метод не дає змоги отримати інформацію про просторове розміщення вкраплень корисного компоненту, їх концентрацію та розмір. Тому можна зробити висновок, що термогравіметричний метод аналізу у сфері збагачення руди можна застосовувати тільки для приблизної оцінки окремих зразків, наприклад, при поверхневому дослідженні зразків нового родовища [5,10].

Контроль характеристик руди у пульпі дозволяє визначити функції розподілення зерен за крупністю та його взаємозв'язок зі ступенем розкриття корисного компоненту. На основі даної інформації формують математичні моделі циклу подрібнення, здійснюють параметризацію та ідентифікацію функцій подрібнення і отримують змогу формувати якісні показники усього комплексу процедур збагачення.

На даний момент методи оцінки ступеня розкриття корисного компоненту і розподілення за крупністю знаходяться на стадії досліджень, тобто чіткої класифікації методів не існує. Проте, усі вони ґрунтуються на залежностях, що враховують різницю густини зерен заліза та пустої породи.

Одним з найперспективніших напрямів контролю параметрів руди у пульпі є ультразвуковий аналіз. Між розміром вкраплень корисного компоненту та довжиною хвилі пропущених через пульпу ультразвукових коливань існує зв'язок. Під дією високоенергетичного ультразвуку на пульпу, в результаті викликаного ним радіаційного тиску, змінюється гранулометрична характеристика твердої фази у пульпі. При збільшенні інтенсивності високоенергетичного ультразвуку від нуля до певного значення, можуть бути зміщені лише частки певних мінералого-технологічних різновидів руди. Тому внаслідок радіаційного тиску високоенергетичного ультразвуку відбувається перерозподіл часток подрібненої руди за крупністю. Знаючи аналітичні залежності параметрів ультразвукового поля, концентрації та крупності часток подрібненої руди у пульпі, можна визначити їх приналежність до певного мінералого-технологічного різновиду (наближено) [1,9].

До недоліків методу можна віднести залежність від неконтрольованих нелінійних динамічних ефектів, які виникають при опроміненні високоенергетичним ультразвуком пульпи, що вносить похибки у вимірювання, а також низьку точність. У процесі розрахунку отримується

середній розмір вкраплень корисного компоненту, проте не враховуються розмір і форма окремих вкраплень. Також усі розрахунки проводяться з припущенням постійної швидкості пульпи, коли у реальних умовах це неможливо, а тому отримані результати неточні.

Плюсом є можливість контролю характеристик руди після подрібнення. За допомогою отриманої оцінки фракційного складу твердої фази пульпи можна сформувавши функції стану та визначити сепараційні характеристики збагачувального обладнання, тобто оптимізувати його роботу.

Отже, можна сформувавши приблизну оцінку методів контролю якості залізної руди за їх перевагами та недоліками.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика методів контролю якості руди

| Метод | Досліджуване середовище | Переваги | Недоліки |
|------------------------|----------------------------|--|---|
| Рентгенорадіометричний | Кускова руда на живильнику | Простота, універсальність | Низька точність, недостатня глибина проникнення випромінювання |
| Нейтронно-активаційний | Кускова руда на живильнику | Висока точність. Можливість виконувати якісний і кількісний аналіз, контроль домішок | Значні затрати. Ставить жорсткі вимоги до контрольованого середовища |
| Гамма-гамма | Кускова руда на живильнику | Не висуває жорстких вимог до середовища контролю, універсальність. | Невеликий спектр отриманої інформації. |
| Термографічний аналіз | Кускова руда на живильнику | Простота, можливість візуально оцінити параметри вкраплень корисного компоненту | Низька точність |
| Термогравіметричний | Кускова руда на живильнику | Простота | Неможливість працювати в умовах технологічного процесу, застосовується лише для дослідів, значні матеріальні затрати, невеликий спектр отриманої інформації |
| Ультразвукові методи | Пульпа | Можливість контролювати тверду фазу пульпи | Залежність від збурюючих впливів, низька точність |

Висновки на напрямки подальших досліджень. Контроль характеристик залізної руди має велике значення з точки зору оптимізації процесу збагачення. Найбільшої ефективності можна досягти при чіткій ідентифікації приналежності руди до певного мінералого-технологічного різновиду. Сучасні методи контролю якості залізної руди недостатньо розвинуті і за рахунок збурюючих впливів не дозволяють отримати чітку і повну інформацію про характеристики корисного компоненту, що, в свою чергу, є перешкодою на шляху удосконалення процесу збагачення та зменшення втрат. Найбільш сильно це виявляється у контролі параметрів руди у стані пульпи.

Напрямок подальших досліджень є розвиток методів ультразвукового аналізу пульпи, як найбільш перспективного у напрямку контролю якості залізної руди у даній формі. Особливу увагу слід приділити розрахункам на основі отриманої інформації з врахуванням змінної швидкості руху пульпи для отримання більш точних результатів.

Список літератури

1. **Моркун В.С.** Энергоэффективное автоматизированное управление процессом обогащения руды с распознаванием ее технологических разновидностей / **В.С. Моркун, В.В. Тронь, С.А. Гончаров, Н.С. Подгородецкий.** – Кривой Рог, 2014. – 326 с.
2. **Буковшин В.В.** Современные методы исследования минерального вещества: Учебное пособие. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 1999. - 38 с.
3. **Риверс Р.Д.** Анализ геологических материалов на следы элементов / **Р.Д. Риверс, Р.Р. Брукс** ; пер. Н. П. Попов. - М. : Недра, 1983. - 405 с.
4. **Нестеров Г.С.** Технологическая оптимизация обогатительных фабрик. - М., Недра, 1976. - 121 с.
5. **Гавриленко В.В.** Современные методы исследования минералов, горных пород и руд / **Г.П. Богданова, Р.Л. Бродская, В.В. Гавриленко** - Санкт-Петербург, 1997. - 137с.
6. **Нефедов В.Д.** Радиоактивные изотопы в химических исследованиях / **В. Д. Нефедов, М. А. Торопова, И. В. Кривохатская.** М.-Л. Химия, 1965. - 300 с.
7. **Bass L.** Contribution to the theory of grinding processes / **L. Bass, Z. Angew** / Math. Phys. – 1954 – no 5. – pp. 283–292.
8. **Ragot J.** Transient study of a closed grinding circuit / [**Ragot J., Roesch M.**] - 2-nd IFAC Symp. "Automat. Mining, Miner. and Metal. Proc." – Pretoria. – 1977. - P. 129-142.
9. **Grainger-Allen T. J. N.** Bubble generation in froth flotation machines – Trans. Inst. Mining Met., 1970, vol. 79, p. 15-2.
10. **Schubert. H.** Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. – Leipzig, 1967, Bd. 11, p. 472.

Рукопис подано до редакції 11.03.15

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ГРУП РОЗРОБНИКІВ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Розглянуті сучасні принципи та методи відбору кандидатів для великих програмних проектів, а також їх практичне застосування в умовах сучасних програмних проектів. Проаналізовані наукові принципи формування та управління виробничими колективами, основні професійні, індивідуальні, психофізіологічні вимоги до розробників програмного проекту, розроблені структурні та функціональні моделі програмного експертного комплексу формування груп розробників. Також запропоновані алгоритми функціонування програмних модулів інтелектуальної системи. Приведені підходи до розробки структури бази даних і бази знань інтелектуальної системи. Сформульовані вимоги до програмного проекту зі сторони промислового середовища. Розглянуті заходи по впровадженню програмного проекту у експлуатаційне середовище. Удосконалені методи та алгоритми формування груп розробників для створення ефективних програмних продуктів. Оптимізовані існуючі функціональні схеми із підбору кадрів, приведені рекомендації до оптимізації роботи відділу кадрів та менеджерів із відбору персоналу. Розроблені критерії відбору, мотиваційні заходи, які збільшують ефективність командної розробки та якість програмного продукту у межах промислового середовища. Розроблено автоматизовану інтелектуальну систему відбору кандидатів розробників для створення сучасного ефективного програмного забезпечення. Практичне значення одержаних результатів полягає у використанні розробленої інтелектуальної комп'ютерної системи для формування ефективних колективів розробників великих програмних проектів.

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. На сьогодні розвиток бізнесу та технологій вимагає від розробників програмного забезпечення високої якості в межах існуючого бюджету та відведеного на те часу. У створенні великих програмних продуктів беруть участь різні фахівці, які, як правило, об'єднуються в колективи (команди). Колективи включають у себе співробітників організації розробника та замовника, субпідрядників та тимчасово залучених співробітників. Учасники колективу розробників програмного забезпечення можуть територіально знаходитися в різних місцях, або розміщуватися у межах одного приміщення. Команду можна охарактеризувати за певними ознаками ефективності, які притаманні для будь-якої організаційної робочої групи. Проте існують деякі характерні риси, які присутні лише команді. А саме, перш за все – це направленість усієї команди на кінцевий результат. Ініціативність та творчий підхід, висока продуктивність та орієнтованість на найкраще рішення серед всіх наявних, активне обговорення та вирішення нагальних проблем, наявність ефективних засобів комунікації між членами команди, а також – вільного доступу до необхідної інформації.

Раціональна організація процесів розробки програмного забезпечення, а також великих програмних проектів описується у міжнародних, державних, корпоративних стандартах – методології розробки програмного забезпечення. Методології розробляються провідними виробниками програмних систем та їх командами розробників з врахуванням певних особливостей програмного забезпечення. Особливості залежать від сфери застосування даного програмного продукту.

У наш час все більшого поширення в українських організаціях та на великих підприємствах отримують гнучкі методології розробки програмного забезпечення, та великих програмних проектів, у яких основна увага зосереджена на створенні якісного продукту, а не на підготовку документації за проектом. Великий акцент, при цьому, робиться на організацію ефективного управління командою розробників даного програмного забезпечення.

Найефективнішими методиками командної розробки, які використовуються по відношенню до великих програмних проектів та програмного забезпечення є наступні методики.

Корпоративна методологія розробки програмного забезпечення. Методологія описує керування людьми та робочими процесами при розробці інноваційних рішень, які спрямовані на задоволення бізнес-потреб замовника. Головною особливістю командної моделі є відсутність офіційного лідера. Усі учасники колективу розробки програмного забезпечення, проекту мають однаковий рівень зацікавленості, а також направлені на досягнення високих результатів. Сьогодні дана методологія використовується у продуктах Microsoft Solutions Framework (MSF) і

представляє собою узагальнення кращих проектних практик, що використовуються командами розробників Microsoft. MSF має набір рольових кластерів, які спрямовані на досягнення якісного результату в цілому.

Гнучка методологія розробки програмного забезпечення та великих програмних проектів – це методологія, яка орієнтується на використання ітеративного підходу, за яким програмний проект створюється поступово, невеликими частинами, які включають у себе реалізацію певного набору вимог. Команди за гнучкої методологією формуються з універсальних розробників, які здатні виконувати різні задачі в процесі створення програмного продукту. При залученні гнучких методологій мінімізація ризиків здійснюється шляхом зведення розроблення до серії коротких циклів – ітерацій.

Завдяки концепції наукового управління, сьогодні виділяють окрему ланку наукових досліджень з управління персоналом у великих програмних проектах та на великих підприємствах.

Методи організації праці колективу, який працює над програмним проектом, розділяють на декілька груп.

Метод розподіленої відповідальності. Під даним методом розуміють розділення сфер відповідальності між членами колективу, спрямоване на досягнення поставлених цілей проекту. Кожна із сфер вирішує задачі, розділені за методами їх вирішення (рис. 1).

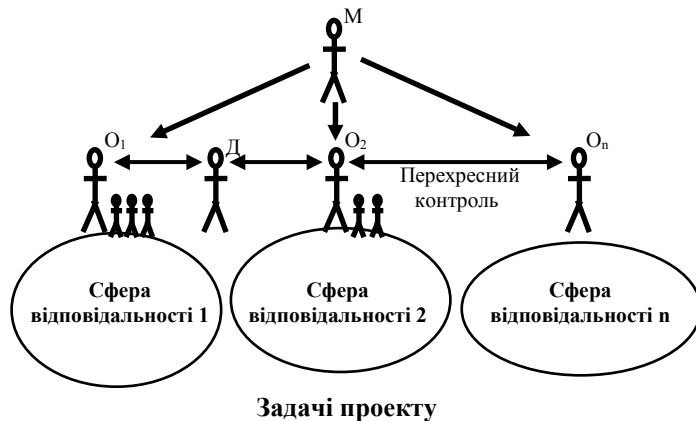


Рис. 1. Схема з розподілом відповідальностей та підвищеною надійністю

Деперсоніфікований метод. Розподіл колективної праці за деперсоніфікованим методом передбачає, що проектні рішення приймаються колективно. Кожен учасник групи вникає у всі ключові задачі та цілі проекту, та може кваліфіковано аргументувати вибір прийнятих проектних рішень. Відповідальність за компоненти проекту розповсюджується на кожного члена команди, незалежно від автора

компоненту (рис. 2).

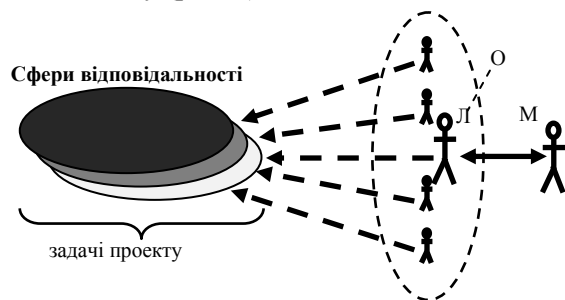


Рис. 2. Схема деперсоніфікованого методу

Метод змішаного планування та організації колективної роботи. Передбачає ієрархічний розподіл задач менеджменту між колективами виконавців проекту, у яких вибудовується власна самостійна організація колективної діяльності. Колективи розробників програмного забезпечення, повинні мати окрім професійних навичок вузької спеціалізації, технічні, а також індивідуальні

якості, такі як: абстрактне мислення, системне, динамічне сприйняття, зосередженість та цілеспрямованість.

Головною складовою розробки та впровадження успішного проекту є наявність професійної, злагодженої команди, яка, за умови відповідального керування, може досягти виконання поставлених задач та цілей, у короткий проміжок часу, для отримання максимальних прибутків підприємством. Якісний підбір учасників команди є відповідальним кроком для кожного проекту.

Аналіз досліджень та публікацій. Еріх Гамма зазначав: «ключ до своєчасної поставки продукту - не процеси, а люди» [1]. Цілеспрямованість та самоорганізація команди розробників проекту дозволяє створювати високоякісні програмні продукти, а також розробляти великі програмні проекти у стислі терміни. Командна організація спрямована на підвищення ефективності роботи організації, підприємства в цілому.

Отже, команда - це сформоване за певними ознаками, правилами колективне товариство, яке має необхідний потенціал, що дозволяє ефективно досягати поставлених цілей із гармонійним поєднанням усіх інтересів та пропозицій його членів.

Розглянемо найефективніші парадигми командної розробки, які використовуються по відношенню до великих програмних проєктів [1,2].

Корпоративна методологія розробки програмного забезпечення. Ця методологія описує керування людьми та робочими процесами при розробці інноваційних рішень, які спрямовані на задоволення бізнес-потреб замовника. Сьогодні дана методологія використовується у продуктах Microsoft Solutions Framework (MSF) і представляє собою узагальнення кращих проєктних практик, що використовуються командами розробників Microsoft. Дана методологія входить до великого програмного комплексу для професійних розробників - Visual Studio Team System. Visual Studio Team System представляє собою інструмент, що дозволяє створювати програмні системи різного призначення в командах з різними підходами до управління процесами розробки програмного забезпечення [2].

До основних принципів MSF належать:

гнучкість - готовність до змін, яка забезпечує можливість уточнення та зміни вимог в процесі розробки програмного забезпечення, та оперативного, своєчасного реагування на поточні зміни проєкту при постійній ефективності управлінської діяльності;

єдине бачення проєкту, що передбачає розуміння усіма зацікавленими особами задач та цілей створення програмного проєкту;

заохочення до спілкування у вільному форматі, яке передбачає відкритий, чесний обмін інформацією, як у середині команди, так і з головними відповідальними особами в цілому;

концентрація на пріоритетах бізнесу – передбачає створення продукту (програмного проєкту) високої якості для споживача, та формування певної нагороди, вигоди для організації у якості одержання прибутку.

У MSF є певний набір рольових кластерів, які спрямовані на досягнення якісного результату в цілому. Кластер представляє собою унікальну точку зору на проєкт [3].

Розглянемо кластери MSF:

управління продуктом - основна задача кластеру забезпечити, у замовника задоволеність результатом;

управління програмою - забезпечує відстеження планів виконання, відповідальність за бюджет, вирішення труднощів при розробці продукту, мінімізація перешкод;

розробка - кластер забезпечує розробку додатку;

тестування - виконується тестування програмного проєкту;

задоволення споживача - розробка дизайну інтерфейсу користувача, забезпечення легкості в експлуатації, створення документації;

управління випуском - передбачає функціонування рішень проєктної групи;

архітектура - організація та виконання проєктування рішення, створення та управління специфікаціями програмного забезпечення, проєкту.

Гнучка методологія розробки програмних проєктів орієнтується на використанні ітеративного підходу, за яким програмний проєкт створюється поступово, невеликими частинами, які включають у себе реалізацію певного набору вимог. Передбачається, що вимоги мають змінний характер. Команди за гнучкої методологією формуються з універсальних розробників, які здатні виконувати різні задачі в процесі створення програмного продукту. При залученні гнучких методологій мінімізація ризиків здійснюється шляхом зведення розробки до серії коротких циклів – ітерацій. Ітерація представляє собою набір задач, запланованих на виконання в певний період часу. В кожній ітерації створюється працюючий варіант програмної системи, у якій реалізуються найбільш пріоритетні вимоги замовника, на даному етапі розробки [4].

Засновником та розробником ідей наукових принципів формування та управління колективами є Фредерик Уїнстон Тейлор [5, 6]. Головна мета системи Тейлора – забезпечити максимальний прибуток власнику підприємства, змушуючи працівників працювати на рівні надможливостей, шляхом раціоналізації трудових ресурсів.

До основних положень наукового управління Тейлора можна віднести наступні:

нормалізація методів та засобів роботи;

виконання робітником лише тієї роботи, на яку він здібний;

відбір персоналу, який проводиться на основі їх здібностей до навчання та тренінгу, знання точних інструкцій робітником;

облік та контроль за всіма видами робіт на підприємстві.

Наступним вченим, що досліджував принципи наукового управління є Гант. Згідно ученням Ганта, головними відмінностями між системами сьогодення та старими системами є наявність способів планування розподілом задач з системою мотивації співробітників. Гант виступає засновником системи заробітної плати з елементами почасової оплати, мотивуючи працівників до перевиконання поставлених задач, тим самим скорочуючи час на виконання проекту в цілому [6].

Методи організації праці колективу програмного проекту прийнято розділяти на декілька груп. Метод розподіленої відповідальності. Під даним методом розуміють розділення сфер відповідальності між членами колективу, спрямоване на досягнення поставлених цілей проекту. Кожна із сфер вирішує задачі, розділені за методами їх вирішення [7]. Розбиття колективу на тематичні групи - головний обов'язок менеджера проекту. Сфери відповідальності розділяють між виконавцями проекту, в залежності від їх кваліфікаційних навичок, рівня зайнятості та індивідуальних якостей.

Ризики невиконання задач більші, ніж при чітко регламентованому розподілі відповідальностей. Недоліки методу компенсуються завдяки мобільності та дружності колективу [8]. Метод змішаного планування та організації колективної роботи передбачає ієрархічний розподіл задач менеджменту між колективами виконавців проекту, у яких вибудовується власна самостійна організація колективної діяльності [9].

Більшу кількість розробників програмного забезпечення умовно розділяють на дві групи: «Інспектор» та «Аналітик».

Люди за типом «Інспектор» мають добре розвинуті наступні властивості:

спокійний, наполегливий тип характеру, справедливий;
рішучість до конкретних дій у критичних ситуаціях, традиційні;
працьовитість, та наполегливість у роботі, оперують конкретними даними, інформацією;
гарно розуміються на вирішенні складних завдань, та їх реалізації.

Особливості якостей розробників за типом «Аналітика»:

самовпевнені люди, вірять у власні можливості. Живуть власним життям, концентруючись на можливостях;

проявляють не аби який інтерес до майбутнього, вміло застосовують теоретичні знання;

покладаються лише на власні розсуди, незважаючи на думки оточуючих;

відстоюють власні інтереси, думки, ігнорують думки інших, що може нашкодити подальшому кар'єрному зростанню [10].

Для ефективної організації діяльності проектної команди необхідно визначити типи сумісності командної праці [11].

Постановка завдання. На основі проведеного аналізу сформовано мету роботи: розробити комп'ютерну систему комплектування груп розробників для реалізації ефективних програмних проектів. Для досягнення мети у необхідно вирішити наступні задачі: розробити математичну модель, структуру та алгоритми програмного комплексу автоматизації формування команди розробників програмного забезпечення; розробити структурну та функціональну моделі програмного комплексу формування груп розробників; розробити алгоритми функціональних модулів програмного комплексу; розробити структурну модель баз даних параметрів відбору розробників; розробити базу знань для прийняття рішень при формуванні ефективних груп, команд розробників; розробити програмні заходи автоматизації формування ефективних груп розробників програмного забезпечення; розробити бази даних, бази знань програмного комплексу; розробити програмні модулі автоматизованої системи; розробити інтерфейс користувача програмного забезпечення; сформувати вимоги до програмному проекту; сформувати ефективну команду розробників програмного забезпечення.

Викладення матеріалу та результати. Програмний модуль представлений у вигляді частини програми, яка має власні завдання, функції та алгоритми обробки даних.

Частини програми пов'язані між собою інформаційними зв'язками.

Модульність забезпечує внутрішню структуру, полегшує завдання управління у межах великих програмних проектів. У розробці програмних модулів беруть участь колективи розробників із десяти і більше чоловік [10-12].

Структуризація використовується у першу чергу для зручності розробки, програмування, впровадження та внесенням змін у проект.

Загальна структурна схема програмного комплексу зображена на рис. 3.

Інтерфейс користувача має чітку структуровану систему.

Система включає у себе набір форм, елементів управління, кнопок, тощо.

Розробка інтерфейсу користувача є одним з головних етапів розробки програмного проекту.

Правильний підхід до функціональності та адаптуванню інтерфейсу під потреби користувача системи є головними пріоритетами при створенні програмного проекту.

Розроблений інтерфейс користувача складається з наступних форм:

головна форма;

форма анкетних даних кандидатів;

форма індивідуальних ознак кандидатів;

форма професійних ознак кандидатів;

форма психологічних ознак кандидатів;

форма звітності;

допоміжні, службові форми.

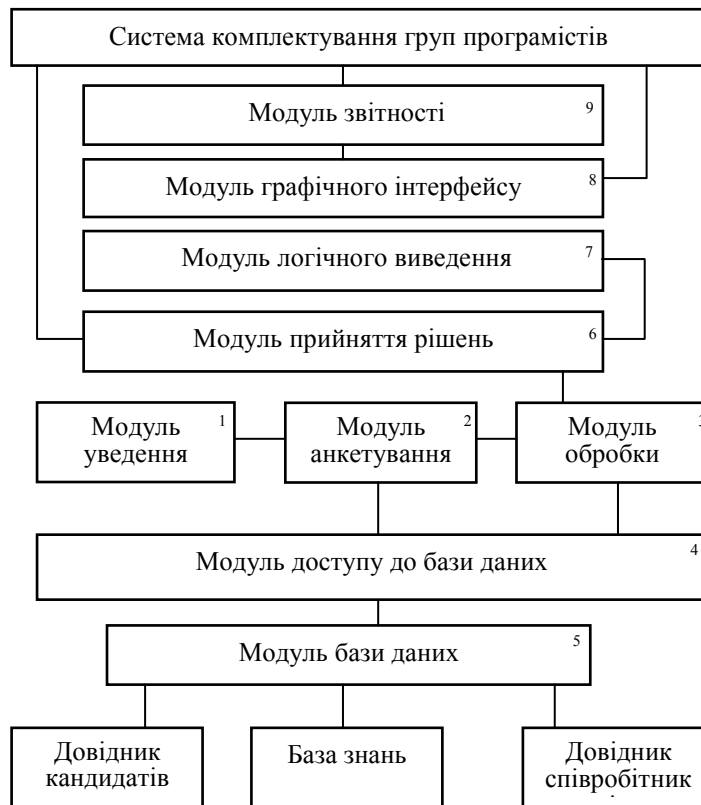


Рис. 3. Загальна структурна схема комплексу формування груп розробників програмного забезпечення

Під базою знань розуміють наступне визначення. База знань – це сукупність моделей, правил і фактів (даних), на основі яких аналізують існуючу інформацію та приймають відповідні висновки щодо знаходження правильних рішень складних завдань в деякій предметній області. Виділені і організовані у вигляді окремих, цілісних структур інформаційного забезпечення знання про предметну область стають явними і відокремлюються від інших типів знань. Бази знань дозволяють виконувати міркування не лише на основі формальної логіки, а й на основі досвіду, фактів, евристик, тобто вони більш наближені до людської логіки [12, 13]. База знань зберігається у вигляді текстового файлу, який містить набір фактів і правил, які базуються на основі формальної логіки та досві-

ду експерта у даній сфері діяльності. Файл бази знань має структурований вигляд. Детально структуру файлу бази знань розглянуто нижче. Файл бази знань представлений так

<OR><Україна><Польща><Вибір Країна>

<OR><Дніпропетровська><Київська><Сумська><Львівська><Вибір Область>

<OR><Дніпропетровськ><Павлоград><Нікополь><Вибір Місто>

<OR><Багатинський><Гембарська><Жаврук><Прізвище>

<AND><Багатинський><Володимир><Іванович><Паспортні дані>

<AND><Багатинський><Володимир><Іванович><2 роки><Стаж роботи>

Висновки та напрямок подальших досліджень. На основі проведеного дослідження можна зробити наступні теоретичні та практичні висновки: проведено аналіз наукових принципів формування та управління виробничими колективами; проведено аналіз основних професійних, індивідуальних, психологічних вимог до групи розробників програмного проекту; проведено аналіз сучасних методів відбору та управління командами розробників програмного забезпе-

чення; розроблено математичну модель, структуру та алгоритми програмного комплексу автоматизації формування команди розробників програмного забезпечення; проведено аналіз моделей мотивації та розробки функціональної моделі формування та мотивації команди розробників програмного забезпечення; розроблено структурну та функціональну моделі програмного комплексу формування груп розробників; розроблено алгоритми функціональних модулів програмного комплексу; розроблено структурну модель баз даних параметрів відбору розробників; розроблено базу знань для прийняття рішень при формуванні ефективних груп, команд розробників; розроблено програмні заходи автоматизації формування ефективних груп розробників програмного забезпечення; розроблено бази даних, бази знань програмного комплексу; розроблено програмні модулі автоматизованої системи; розроблено інтерфейс користувача програмного забезпечення; сформовані вимоги до промислового програмному проекту; реалізовано систему та сформовано ефективну команду розробників програмного забезпечення. Результати проведеного дослідження можуть використовуватись у галузях важкої, легкої промисловості, фінансовій галузі.

Список літератури

1. **Somerville, Ian** Software engineering / Ian Somerville. — 9th ed. - Addison-Wesley. – 2011 – 773 p.
2. **J.D. Meier, Jason Taylor, Alex Mackman, Prashant Bansode, Kevin Jones** Team Development with Visual Studio Team Foundation Server. – Microsoft Corporation, 2007. – 495 p.
3. **Michael A. Cusumano, Stanley Smith** Beyond the Waterfall: Software Development at Microsoft – Working Paper #3844-BPS-95 - Draft: August 16, 1995. – 33 p.
4. **B. W. Boehm** A Spiral Model of Software Development and Enhancement, IEEE Computer, 21 May 1988, pp. 61–72.
5. **Новіков Ф. А., Опалева Е. А., Степанов Е. О.** Науковий посібник/ Управління проектами розробки ПЗ. – СПб:СПБГУ НТМО – 2006 – 256 с.
6. **Winslow F.** The Principles of Scientific Management.-Taylor Harper & Brothers, 1971.–77 p.
7. **Скопин И. Н.** Основы менеджмента программных проектов. Курс лекций. Учебное пособие. / И. Н. Скопин. – М.: Интуит.ру «Интернет-Университет Информационных технологий», 2004. – 336 с.
8. **Степанов С.** В поисках человечности: Абрахам Маслоу (1908 - 1970) // Шкільний психолог. - 2002. - №12 (декабрь). - С. 4-5
9. **Салливан Э.** Время – деньги. Создание команды разработчиков программного обеспечения / Пер. с англ. – М.: ИТД Русская редакция, 2002. – 368 с.
10. **Drucker, Peter F.** The Effective Executive. New York: Harper & Row, 1985 – 178 p.
11. **Архипенков С.** Управління командою розробників програмного забезпечення. – М., 2008 – 80 с.
12. **Maslow A.** New frontiers of human nature / A. Maslow. – М.: Meaning, 1999 – 496 p.
13. **Рубінштейн С.** Основы загалльної психології. – СПб: Пітер, 2002 – 720 с.

Рукопис подано до редакції 30.04.15

УДК 519.6:371.214

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., П.В. БУРНАСОВ, ст. викладач.
Криворізький національний університет

РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ВИШУ ПРИ СКЛАДАННІ РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ

Розроблено структурну схему та алгоритм функціонування системи оперативного управління ресурсами вишу, особливостями якої є динамічне поєднання автоматичного режиму складання розкладу з ручним. При неможливості подальшого автоматичного формування розкладу через жорсткі обмеження, виконується їх автоматичне пом'якшення. За неможливістю автоматичного пом'якшення обмежень, або за інших потреб їх можливо пом'якшити вручну у процесі складання розкладу. В узагальнений критерій врахування інтересів студентів входять чотири часткових критеріїв оптимальності: число "вікон" у розкладі навчальних груп, баланс навантаження в розкладі навчальних груп, виконання правил угруповання занять по дням тижню, виконання правил угруповання занять по порядку занять в один день. До складу критерію врахування інтересів викладачів входять наступні частинні критерії: число "вікон" у розкладі викладачів, виконання обмеження на максимальне число зайнятих днів у тиждень для викладачів, виконання обмеження на мінімальне число занять у довільний день тижня для викладачів, особисті побажання викладачів. Узагальнений критерій оптимальності розкладу викладачів враховує ступінь оптимальності індивідуального розкладу кожного викладача. Для кількісного порівняння та ранжування часткових критеріїв оптимальності вводиться числовий еквівалент ступеня важливості кожного часткового критерію оптимальності.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Серед характеристик, що можна вимірювати і контролювати, які визначають якість керування освітнім процесом, істотно положення займають показники якості управління ресурсами. Стосовно завантаження аудиторного фонду критерії якості мають об'єктивний характер і досить просто визначаються у кількісній мірі. З якістю використання професорсько-викладацького складу ситуація дещо складніша: кожен викладач має своє особисте уявлення до якості складеного для нього розкладу та якості розкладу студентів стосовно його дисципліни. Як відомо [1, 2], розклад занять має досить суттєвий вплив на якість підготовки фахівців взагалі. З метою керування освітнім процесом і виявлення прихованих факторів, що негативно на нього впливають, використовуються математичні моделі, в основі яких лежить апарат класичного регресійного аналізу. Опираючись на ці моделі, будуються прогнози якості розкладу занять які використовуються в процесі складання розкладу, що дозволяє зменшити кількість варіантів розкладів при пошуку оптимального.

Аналіз досліджень і публікацій. Численні дослідження у галузі теорії розкладів доводять, що проблема створення оптимального розкладу за один цикл є дуже складною, оскільки не існує єдиного критерію оптимальності для розкладу занять [3,4,5]. Різні види інтегральних критеріїв оптимальності є компромісними і в більшості випадків вони вступають у протиріччя з локальними критеріями [6]. Задача складання оптимального розкладу розкладається на дві підзадачі: складання повного розкладу і вирішення всіх протиріч та оптимізація складеного розкладу [7]. Задача складання оптимального навчального розкладу в загальному випадку характеризується великою розмірністю, тобто великим числом елементів у векторі невідомих, великою кількістю обмежень і критеріїв оптимальності. У роботах [3,7,8] обґрунтована необхідність декомпозиції цієї складної задачі на підзадачі. Існуючі способи складання навчального розкладу розрізняються кількістю, видом обмежень, що враховуються, і критеріїв оптимальності. До того ж часто ці завдання є NP – важкими [9], тому для їхнього вирішення застосовуються різноманітні підходи й методи.

Постановка завдання. Дійсно оптимальний розклад занять можливий лише коли критерій оптимальності один. У цьому випадку розклад буде оптимальним, якщо критерій оптимальності набуває екстремального значення. Чи може розклад занять мати один критерій оптимальності? Ні, не може, оскільки суб'єктами розкладу занять є студенти, викладачі та аудиторії, які мають різні, і подекуди взаємовиключні, критерії оптимальності, задоволення яких одночасно неможливе. Побудова інтегральних критеріїв, що враховують декілька різних часткових критеріїв дозволить створити досить непогані розклади занять, але вони не будуть оптимальними, оскільки сам критерій є компромісним.

Задача складання розкладу занять університету має велику розмірність [4] і при деяких умовах взагалі може не мати рішення. Наприклад при дефіциті ресурсів (деяких лабораторій, викладачів) неможливо спланувати заняття в зазначені часові рамки. У випадку відсутності дефіциту ресурсів, що характерно для потужних університетів, задача складання розкладу занять має рішення і головним стає питання оптимальності розкладу.

Проблема оптимального розкладу занять має дві складові: оптимальність розкладу з точки зору використання ресурсів вишу (назвемо це явище «оптимальність у великому») і оптимальність з точки зору суб'єктів розкладу, в першу чергу студентів і викладачів (назвемо це явище «оптимальність у малому»). Задачу оптимальності у великому можна сформулювати як задачу пошуку чи задачу оптимізації [10-12] і в цьому випадку інтегральний критерій оптимальності доречний. Задача оптимальності у малому це намагання задовольнити численним вимогам і побажанням викладачів та студентів до розкладу.

Враховуючи, що основною задачею складання розкладу занять у виші є забезпечення виконання навчального плану підготовки фахівців у повному обсязі з безумовним виконанням жорстких вимог до розкладу і виконанням за можливістю нежорстких вимог, в роботі була поставлена задача розробки структури та алгоритму функціонування системи управління ресурсами вишу при складанні розкладу занять.

Викладення матеріалу та результати. На рис. 1 наведено структурну схему системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень оперативного управління ресурсами вишу [13]. Автоматизована система формування розкладу має чотири режими роботи [14]: ручний, сервісний, автоматичний, інтелектуальний. Сервісний режим (напівавтоматичний) призначений для різного роду перенесення занять або пошуку найбільш прийняттого варіанту розміщення за-

няття. Автоматичний режим передбачає формування розкладу в пакетному режимі без втручання людини з можливістю його коригування диспетчером при потребі. Інтелектуальний режим - багатокритеріальна оптимізація розкладу занять в автоматичному режимі.

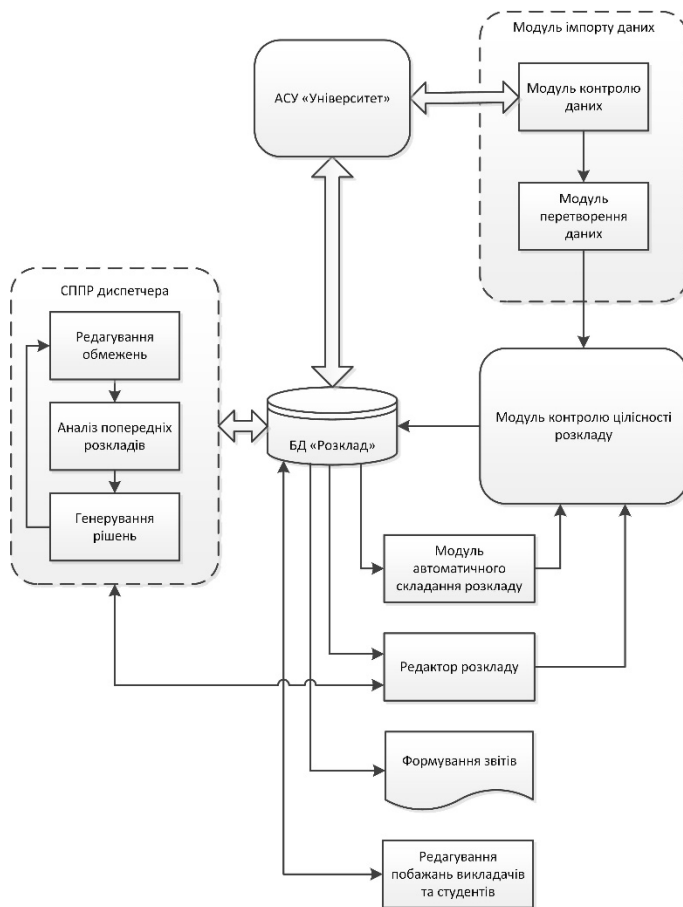


Рис.1. Структурна схема оперативного управління ресурсами ВИШУ

Автоматизований процес формування оптимального розкладу занять ВНЗ можна поділити на два етапи: формування початкового допустимого розкладу занять в автоматичному режимі та коригування створеного розкладу за допомогою інших трьох режимів.

При цьому допускається довільне чередування ручного та автоматичного режиму - тобто можливо, наприклад, спочатку деякі заняття розмістити в розкладі в ручному режимі, потім автоматичний режим, потім знову ручний і т.ін.

В процесі складання розкладу зменшується кількість можливих варіантів для розміщення у розкладу занять, що ще залишилися поза розкладом через те що зменшується кількість вільних ресурсів. Чим більше ресурсів задіяно в занятті (наприклад, потік, що складається з декількох груп), чи більш дефіцитний використовується ресурс (наприклад, заняття повинно бути проведено в унікальній лабораторії) тим менш вірогідною стає можливість запланувати таке заняття. Для вирішення цієї проблеми встановлюється черга (пріоритет) занять на розклад. Спочатку в розклад «йдуть» заняття з більшим пріоритетом.

Автоматичне формування розкладу виконується з дотриманням наступних пріоритетів.

1. Заняття на кожному факультеті плануються, як правило, у відповідному (основному, або єдиному) корпусі. Деякі унікальні лабораторії фізично знаходяться тільки у одному корпусі, тому заняття факультету можуть плануватися у декількох корпусах. Заняття групуються по корпусам і плануються у першу чергу ті групи, що навчаються у поточний день в «чужому» корпусі.

2. Розподілення потокових лекційних занять пропорційне до кількості студентів. Чим більше студентів у потоці, тим вище пріоритет. Більше груп - вище пріоритет.

3. Кількість годин аудиторного навантаження на тиждень. Більше годин - вище пріоритет.

4. Кількість вільних аудиторій відповідного типу. Спершу розподіляться заняття в порядку зменшення дефіцитності у суто спеціалізовані аудиторії (наприклад лабораторії хімії, фізики, автоматизованого електроприводу, мікропроцесорних засобів), потім у спеціалізовані (комп'ютерні класи), і на сам кінець, у аудиторії загального призначення з урахуванням їх місткості.

5. Побажання викладачів.

Ці правила не є безумовними, вони відображають досвід складання розкладу у кожному конкретному закладі і можуть бути іншими.

Модуль імпорту даних призначений для введення необхідної інформації в систему. При цьому необхідно передбачити перевірку структури вхідних даних та її перетворення при необхідності. За це відповідають модуль перевірки структури і контролю даних та модуль перетворення. Цей модуль забезпечує тісне інтегрування з АІСУНН.

Модуль збереження даних представляє собою базу даних, в якій зберігається вхідна інформація у відповідних таблицях, які логічно з'єднані між собою. Логіка зв'язку та взаємодії між даними реалізується за допомогою вбудованих в базу даних функцій, що забезпечує цілісність

даних. Модуль редагування даних призначений для зміни вхідної інформації за необхідністю. Модуль складання розкладу вміщує в себе модуль складання розкладу в автоматичному режимі (передбачає автоматичне складання розкладу за певним алгоритмом і можливість подальшого переходу до модуля редагування розкладу) та модуль складання розкладу в ручному режимі. Модуль складання розкладу в ручному режимі включає в себе:

Модуль виводу даних (передбачає вивід даних з навчального плану та кафедрального навантаження за заданими критеріями); Модуль вибору та перевірки (передбачає автоматичну перевірку зайнятості структурних одиниць).

Модуль редагування розкладу призначений для редагування розкладу в ручному режимі.

Модуль зберігання розкладу передбачає перетворення складеного розкладу в необхідну структуру для збереження в базі даних.

Модуль формування і друку звітів передбачає створення звітів, що відображають: розклад занять для груп, розклад зайнятості аудиторій, розклад занять для викладачів. Більшість звітів створюються у форматі Microsoft Excel, що дозволяє оперативно формувати різні варіанти розкладу.

Результатом роботи системи є розклад у розрізі факультетів, груп, кафедр, викладачів, корпусів та аудиторій у форматі Microsoft Excel.

Система підтримки прийняття рішень (СППР) диспетчера має в своєму складі модуль редагування обмежень, модуль аналізу розкладів попередніх періодів, модуль генерування варіантів рішень. Модуль редагування побажань викладачів забезпечує дружній інтерфейс користувача за допомогою якого диспетчер має змогу маніпулювати побажаннями викладачів стосовно оптимальності розкладу, вмотивовано встановлювати пріоритети побажань та пом'якшувати обмеження у випадках коли у розкладі виникають конфліктні ситуації. Модуль аналізу розкладу попередніх періодів формує базу даних «досвіду» прийнятних розкладів, на базі якої модуль генерування варіантів рішень дає інтелектуальну пораду для модуля редагування побажань викладачів.

На рис. 2 представлено узагальнений алгоритм формування розкладу занять.

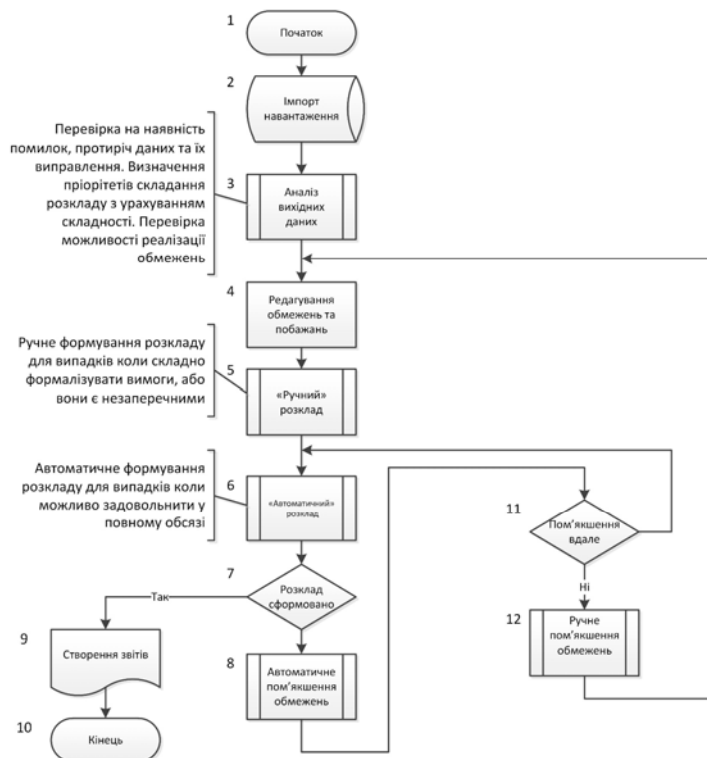


Рис. 2. Узагальнений алгоритм формування розкладу занять

Повністю сформоване навантаження викладачів та студентів імпортується з АРМ «Навантаження» (блок 2). Дані перевіряються (вхідний контроль), конвертуються та аналізуються до початку формування розкладу (блок 3). Далі диспетчер вводить та редагує обмеження до складання розкладу та побажання викладачів (блок 4). Якщо є необхідність, то диспетчер може попередньо, до початку автоматичного складання розкладу (блок 6) вручну розподілити деякі заняття, які в подальшому автоматично змінюватись не будуть (блок 5). В процесі автоматичного складання розкладу будуть встановлені заняття для яких вдалося задовольнити всі обмеження та побажання, включаючи серію перестановок занять.

Якщо розклад вдалося повністю сформувати (блок 7) генеруються звіти (блок 9) - розклад занять груп і викладачів, завантаження аудиторій та експорт даних по розкладу на сайт університету та кафедр. У випадку, коли розклад не сформовано повністю і немає вже можливості завершити його при заданих обмеженнях та побажаннях виконується автоматичне послаблення нежорстких обмежень та врахування менш пріоритетних побажань (блок 8).

Якщо таке автоматичне послаблення вдалося хоча б у одному випадку (блок 11) виконується повторно автоматичне складання розкладу (блок 6), інакше виконується диспетчером ручне пом'якшення обмежень (блок 12). Отже, складання розкладу відбувається в змішаному ручному - автоматичному режимах, покроково і під контролем людини - експерта наближаючи розклад до оптимального стану.

Кінцевий варіант розкладу вважається прийнятним якщо всі заняття заплановані у розкладі. В автоматичному режимі такий результат може бути досягнутим лише при відсутності жорстких обмежень, або наявності необмежених ресурсів, а оскільки обмеження фактично є і ресурси (аудиторний фонд і викладачі) обмежені, то розклад автоматично буде сформовано не повністю, і буде потребувати ручного «пом'якшення» вимог.

АРМ «Розклад ВНЗ» дозволяє враховувати наступні побажання викладачів:

Побажання викладача на день тижня й час проведення занять. Існують наступні форми побажань: перевага конкретного часу, вказівка небажаного часу й відсутність будь яких побажань до конкретного часу.

Небажаний час є жорстким обмеженням при роботі в автоматичному режимі. В автоматизованому режимі призначення оператором заняття на небажаний для викладача час приводить до відповідного попередження з наданням вибору подальших дій.

Кращий час не є жорстким обмеженням.

Побажання до компактності розкладу. Є нечіткою вимогою й не піддається жорсткому врахуванню.

Побажання до максимальної кількості пар у день. Є жорсткою вимогою на етапі автоматичного розміщення. Може бути зігнороване оператором при ручному коректуванні.

Побажання до максимальної кількості лекційних, практичних та лабораторних занять у день. Є жорсткою вимогою на етапі автоматичного розміщення. Може бути зігнороване оператором при ручному коректуванні.

Побажання до максимальної кількості зайнятих днів. Є жорсткою вимогою на етапі автоматичного розміщення. Може бути зігнороване оператором при ручному коректуванні.

Також система дозволяє враховувати наступні вимоги: безумовна відсутність вікон у розкладі груп у день, максимально припустима кількість вікон у розкладі викладачів у день, максимально припустима кількість переходів між корпусами для викладачів у день, максимально припустима кількість переходів між корпусами для груп у день.

Для автоматичного режиму складання розкладу приймемо за показники якості кількісні характеристики виконання найбільш важливих вимог: кількість нерозставлених занять, кількість невиконаних побажань викладачів до небажаного часу проведення занять, кількість невиконаних побажань викладачів до максимальної кількості пар у день, кількість невиконаних побажань до максимальної кількості зайнятих днів, кількість вікон у розкладі викладачів, кількість вікон у розкладі груп, кількість переходів між корпусами для викладачів, кількість переходів між корпусами для груп.

Вимоги, пов'язані із групами (кількість занять у день, кількість зайнятих днів, обмеження на час проведення занять пов'язані з формою навчання), режим роботи аудиторій є жорсткими й повинні дотримуватися неухильно, тому їхні кількісні характеристики не включені в список критеріїв оцінки якості.

Розроблена автоматизована система впроваджена в промислову експлуатацію в ДВНЗ «Криворізький національний університет» і використовується на протязі 8 років.

Потужним поштовхом до впровадження програми складання розкладу занять і активної її підтримки з боку адміністрації вишу було придбання Криворізьким технічним університетом (попередня назва Криворізького національного університету) автоматизованої інформаційної системи управління навчальним навантаженням (АІСУНН) розробленої у Черкаському національному університеті ім. Б. Хмельницького під керівництвом професора Теслі Ю.М.

Ця система забезпечує ведення навчальних планів спеціальностей, розподілення навантаження між кафедрами та між викладачами на кафедрах, планування штатів викладачів, генерує повний комплект документації стосовно навантаження.

Таким чином, АІСУНН забезпечила вхідними даними систему складання розкладу занять, в яку імпортуються довідники факультетів, груп, кафедр, викладачів, дисциплін, навчальні плани, навантаження розподілене по викладачам, тощо.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Практичне використання розробленої системи показало, що якість складеного розкладу в значній мірі залежить від кількості і якості побажань викладачів та обмежень введених в систему.

Маючи базу даних розкладів за попередні роки можливо, до деякої міри, автоматично сформувані та доповнити побажання викладачів, що безумовно підвищить якість розкладу занять.

Список літератури

1. **Луценко Е.В.** Рефлексивная автоматизированная система управления качеством подготовки специалистов / Луценко Е.В., Коржаков В.Е. // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2007. №4. С.28-36.
2. **Савельев А.Я.** Автоматизация управления вузом. / А.Я. Савельев, Ю.Б. Зубарев В.Е. Коваленко, Т.А. Колоскова — М.: Радио и связь, 1984.
3. **Галузин К.С.** Математическая модель оптимального учебного расписания с учетом нечетких предпочтений. // Автореф. дисс. канд. физ. мат. наук: спец. 05.13.18 "" / К.С. Галузин. - Пермь: Перм, гос.техн. ун-т - 2004.
4. **Ерунов В.П.** Формирование оптимального расписания учебных занятий в вузе / Ерунов В.П., Морковин И.И. // Вестник Оренбургского государственного университета : сб. науч. трудов. – Оренбург. – 2001. № 3. С. 55-63.
5. **Молибог А.Г.** Методика составления расписания занятий на ЦВМ / Молибог А.Г., Медведский М.В., Неверов Г.С. -МВИРТУ, Минск. - 1972.
6. **Бурнасов П.В.** Критерії якості автоматичного складання розкладу занять у ВНЗ [Текст] / П.В. Бурнасов // Вісник Криворізького технічного університету. : зб. наук. праць. - Кривий Ріг. – 2008. - Вип. 22. – С. 136-140.
7. **Morkun V.S.** The management of the resources educational institution / V.S. Morkun, P.V. Burnasov // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – №4. – P. 56-61. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/12.2014.pdf>
8. **Клеванский Н.Н.** Разработка математической модели глобальной оптимизации расписания занятий / Клеванский Н.Н., Костин С.А., Пузанов А.А.// Сложные системы. Анализ, моделирование, управление - Саратов: ООО Издательство "Научная книга", 2005. - С.39-42.
9. **Касьянов В.Н.** Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. / В.Н. Касьянов, В.А. Евстигнеев. - Санкт- Петербург: "БХВ-Петербург", 2003. - 1086с.
10. **Клеванский Н.Н.** Моделирование стратегии формирования расписания занятий ВУЗ'а средствами реляционной алгебры / Н.Н. Клеванский, Е. А. Макарецова, С.А. Костин // Прикладные проблемы образовательной деятельности: Межвуз. сб. научн. тр. – Воронеж: Центр. – Черноземн. книжн. изд-во, 2003. – Вып. 10. – С.71 – 74.
11. **Burke E.** Interactive Timetabling: Concepts, Techniques, and Practical Results in E. Burke, P. / T. Muller, R. Bartak // the 4th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT2002), Gent, 2002, pp. 58-72.
12. **Калашников А. В.** Алгоритмы локальной оптимизации расписаний / А. В. Калашников, В. А. Костенко // Методы и средства обработки информации: Первая всероссийская научная конференция, Москва, 1 – 3 октября 2003 г. – М. МАКС Пресс, 2003.– С. 3 – 10.
13. **Бурнасов П.В.** Проектування підсистеми формування розкладу для автоматизації управління навчальним процесом у ВНЗ. / Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції "Особливості впровадження нових форм навчання у вищих навчальних закладах". Кривий Ріг: 2007. – с. 142-147.
14. **Бурнасов П.В.** Проектування модуля перенесення занять в автоматизованій системі формування розкладу. / Бурнасов П.В., Даниленко Ю.А. // Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. Вип.18. Кривий Ріг.: 2007. – с. 161-164.

Рукопис подано до редакції 30.04.15

Ю.С. РУДЬ, д-р техн. наук, проф., И.С. РАДЧЕНКО, канд. физ.-мат. наук, доц.,
С.И. МАЛИНОВСКАЯ, канд. техн. наук, доц., В.Ю. БЕЛОНОЖКО, ст. преподаватель,
Криворожский национальный университет

О ВЛИЯНИИ ФОРМЫ И СТРУКТУРЫ НАНОЧАСТИЦ МАГНИЯ НА СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Согласно определению, строение объекта - это целостная организация его функциональных структурных уровней. Каждый структурный уровень задается устойчивыми функциональными связями объекта, существенными для его целостности и тождественности с самим собой в специфических процессах взаимодействия с окружающим миром. Моноструктурный объект имеет целостную организацию на одном функциональном уровне. Строение мультиструктурного объекта задается двумя и более уровнями.

С начала 80-х годов прошлого века наука о строении вещества переживает новый этап развития. Этот этап связан с экспериментальными и теоретическими исследованиями строения наночастиц. Обнаруженные экспериментально уникальные свойства наночастиц указывают на то, что специфика их строения отличается от квантового строения или классического строения фаз. Наночастицы имеют специфические физические, химические и информационные свойства. Они имеют функции памяти, самоорганизации и адаптации.

Наиболее заметные изменения физико-химических свойств наблюдаются для частиц с размерами от 1 до 10 нм.

Для наночастиц металлов важно появление металлических свойств в зависимости от их размера. Переход «металл-изолятор» для кластеров ртути наблюдается при $N=20$ и $N=102$ атомов. Наночастицы магния, как и наночастицы других металлов, имеют много новых фармакологических свойств, которые зависят от формы, размера, методов получения, способа хранения.

В работе [1] исследованы особенности образования металлических наночастиц в γ -облученных кристаллах LiF и NaF под действием света и температуры. Спектры поглощения γ -облученного кристалла LiF показывают, что в кристалле присутствуют интенсивные F -полосы поглощения - с максимумом в области 250 нм и F_2 -полосы поглощения - с максимумом в области 445 нм (оптическая плотность больше 10). Наблюдаются и агрегатные центры окраски: R_1 - ($\lambda_{max}=320$ нм), R_2 - ($\lambda_{max}=376$ нм) и N -центры (максимум около 540 нм). Авторы [1] отмечают, что металлические наночастицы дают широкие полосы поглощения в области 420-520 нм.

В смешанных кристаллах могут образовываться наночастицы как основного, так и примесного металла. В работе [1] указывается, что это могут быть наночастицы лития (основной металл) и магния (примесной металл). Наночастицы обоих металлов могут иметь форму, которая отличается от сферической. В [1] наблюдали образование в процессе термического отжига γ -облученного кристалла LiF : Mg, OH протяженные дефекты плоской формы в виде пластинок. Для идентификации центров окраски в обработанных кристаллах со сложными спектрами поглощения необходимо иметь вычисленные характеристики полос ослабления (поглощения) такими центрами окраски.

В [2] вычислены спектры ослабления света сферическими наночастицами магния в кристалле фтористого лития.

Расчет спектров поглощения света сфероидными магния. В настоящей работе представлены вычисленные спектральные зависимости коэффициентов ослабления света эллипсоидальными частицами магния в кристалле LiF и бензине. Для системы «бензин – Mg» вычисленные спектры сравниваются с экспериментальными данными. Исследовано также влияние окисной пленки MgO на спектры поглощения. Проведенные расчеты позволяют лучше понять процессы в кристаллах при различных воздействиях на них и получать наночастицы с заданными свойствами.

Для вычисления коэффициентов ослабления света совокупностью эллипсоидных частиц магния мы воспользуемся формулами R. Gans [3]. Согласно работе [3] коэффициент ослабле-

ния света совокупностью сфероидальных частиц с комплексным показателем преломления $m(\lambda)$, погруженных в среду с показателем преломления $m_0(\lambda)$, равен

$$k_0 = C \cdot \frac{6\pi}{\lambda} m_0 \left(-\text{Im} \left(\frac{a_1}{3} + \frac{2a_1^1}{3} \right) \right), \quad (1)$$

где α_1 - электрический момент эллипсоидальной частицы, причем

$$\alpha_1 = \frac{(m^1)^2 - 1}{3 + ((m^1)^2 - 1) \cdot 3L_1}, \alpha_1^1 = \frac{(m^1)^2 - 1}{3 + ((m^1)^2 - 1) \cdot 3L_2}. \quad (2)$$

Величины L_1 и L_2 в уравнении (2) зависят от отношения осей сфероида (A , B и C полуоси; $B = C$).

Для удлиненного сфероида имеем $A > B$ и

$$L_1 = \frac{1 - e^2}{e^2} \left(\frac{1}{2e} \ln \frac{1+e}{1-e} - 1 \right); e = \left(1 - \left(1 - \frac{B}{A} \right)^2 \right)^{0,5};$$

для сплюснутого ($B > A$):

$$L_1 = \frac{1+e}{e} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{e}} a \tan(\sqrt{e}) \right); e = \frac{B^2}{A^2} - 1.$$

В обоих случаях $L_2 = (1 - L_1)/2$ (сферы имеют $L = 1/3$).

Для учета размерных эффектов при расчете коэффициентов ослабления излучения эллипсоидальными частицами можно использовать значение эффективного радиуса сферической частицы R_3 . Его величину можно оценить из равенства масс эллипсоидальной и сферической частиц. Из этого равенства находим

$$\frac{4}{3} \pi AB^2 \cdot \rho = \frac{4}{3} \pi R_3^3 \rho; R_3 = (AB^2)^{1/3}.$$

Здесь учитывали для сфероидов $B = C$; ρ - плотность вещества частиц.

При известном значении R_3 частота релаксации электронов проводимости в эллипсоидной частице определяется равенством

$$\frac{1}{\tau} = \sum \frac{1}{\tau_i} + \frac{U_F}{R_3}. \quad (3)$$

Оптические константы магния, необходимые для расчетов спектров поглощения света наночастицами, даны в работе [2]. Показатель преломления бензина мы вычисляли по следующей дисперсионной формуле [3]

$$m_o = 1,4750 + \frac{5977,5}{\lambda^2} + \frac{4,0221 \cdot 10^8}{\lambda^4},$$

где λ выражено в нм.

Оптические константы магния, необходимые для расчетов спектров поглощения света наночастицами, даны в работе [2]. Показатель преломления бензина мы вычисляли по следующей дисперсионной формуле [13]

$$m_o = 1,4750 + \frac{5977,5}{\lambda^2} + \frac{4,0221 \cdot 10^8}{\lambda^4},$$

где λ выражено в нм.

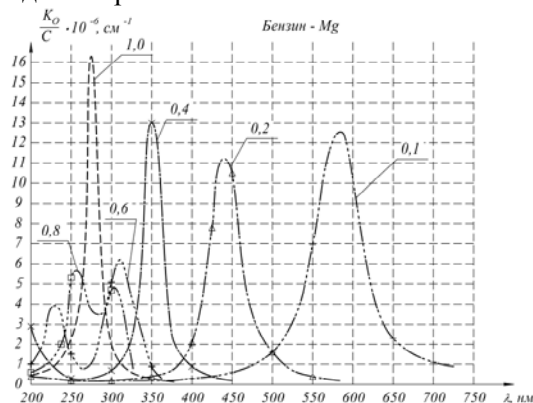


Рис. 1. Спектральные зависимости коэффициентов ослабления света вытянутыми сфероидами магния в бензине. Цифры у кривых показывают отношение полуосей сфероида B/A

На рис. 1 показана спектральная зависимость коэффициентов ослабления света совокупностью не ориентированных вытянутых сфероидов лития в кристалле фтористого лития.

Характеристики полос ослабления приведены в табл. 1.

Характеристики полос ослабления света вытянутыми сфероидами магния в бензине

| B/A | λ_1 , нм | H_1 , нм | λ_2 , нм | H_2 , нм |
|-------|------------------|------------|------------------|------------|
| 1,0 | 275 | 20 | 275 | 20 |
| 0,8 | 260 | | 310 | |
| 0,6 | 255 | 16 | 350 | 35 |
| 0,4 | 228 | 38 | 432 | 37,5 |
| 0,2 | 232 | 30 | 645 | 42 |

На рис. 2 показаны спектры поглощения света сплюснутыми сфероидами магния в бензине. Характеристики этих спектров приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики вычисленных коллоидных полос поглощения света сжатыми сфероидами магния в бензине

| A/B | λ_{1m_2} , нм | H_1 , нм | λ_{2m_2} , нм | H_2 , нм |
|-------|-----------------------|------------|-----------------------|------------|
| 1,0 | 275 | 20 | 275 | 20 |
| 0,8 | 258 | 40 | 305 | 42 |
| 0,6 | 230 | 32 | 308 | 42 |
| 0,4 | | | 350 | 22 |
| 0,2 | | | 440 | 50 |
| 0,1 | | | 485 | 70 |

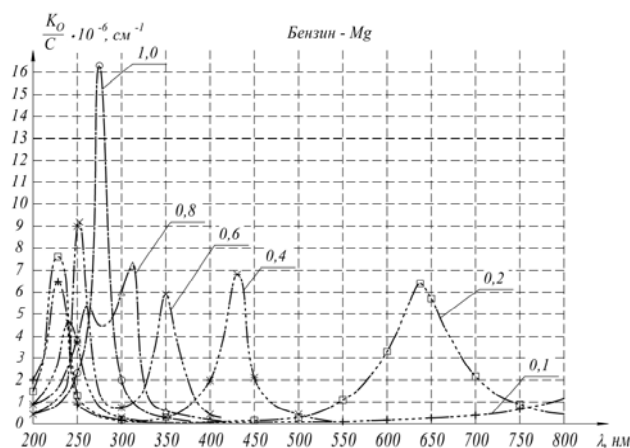


Рис. 2. Спектральные зависимости коэффициентов ослабления света сжатыми сфероидами магния в бензине. Цифры у кривых показывают отношение полуосей сфероида A/B

Из данных рисунков и таблиц видно, что для сферических частиц магния имеется одна полоса поглощения с $\lambda_{\text{max}}=275$ нм. Для вытянутых и сплюснутых сфероидов эта полоса расщепляется на две полосы: одна полоса сдвигается в сторону больших, а другая - в сторону меньших длин волн. Кроме того, из этих рисунков видно, что, меняя размер и форму частиц магния, можно перекрыть весь спектр видимого диапазона.

В работе [10] задача поглощения и рассеяния света изотропным однородным сфероидом произвольного размера решена путем разложения рассеянного электромагнитного поля по векторным сфероидальным гармоникам с последующим определением коэффициентов ослабления и рассеяния. Этот способ аналогичен способу, который используется в случае шара [11].

Расчет коэффициентов поглощения сферическими частицами Mg с оболочкой из MgO. При приготовлении коллоидных растворов магния в воде и бензине возможно образование на частицах слоя окисла магния MgO определенной толщины. Для выяснения влияния толщины оболочки из MgO на частицах магния вычислили спектральную зависимость коэффициента ослабления света совокупностью сферических частиц Mg, покрытых слоем окисла магния толщины Δ .

При радиусе ядра (Mg) R_j радиус оболочки равен $R_0=R_j+\Delta$. Все расчеты были выполнены по формулам работы [12]. Для частиц с $R_0 \ll \lambda$ («мельчайшие частицы») можно пользоваться формулой (18) работы [12]. Эту формулу мы преобразовали к следующему, удобному для вычисления виду

$$k_0 = C \frac{6\pi}{\lambda} m_0 \operatorname{Im} \left(-\frac{q^3 \cdot A + 1 + B}{q^3 \cdot A \cdot B + 2} \right), \quad (4)$$

$$A = \frac{m_1^2 + 2}{m_1^2 - 1}, B = \frac{m_2^2 + 2}{m_2^2 - 1}, \quad (5)$$

$$m_1^2 = \frac{\varepsilon_{1\beta} - i\varepsilon_{1\beta}}{\varepsilon_{10}^2 - i\varepsilon_{20}}; m_2^2 = \frac{\varepsilon_{10} - i\varepsilon_{20}}{m_{0C}^2}, \quad (6)$$

где $\varepsilon_{1Я} = n_{Я}^2 - \varkappa_{Я}^2$ - действительная часть диэлектрической проницаемости вещества ядра (n и \varkappa - соответственно показатели преломления и поглощения); $\varepsilon_{2Я} = 2n_{Я} \varkappa_{Я}$ - мнимая часть диэлектрической проницаемости вещества ядра; $\varepsilon_{10} = n_0^2 - \varkappa_0^2$ и $\varepsilon_{20} = 2n_0 \varkappa_0$ - действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости вещества оболочки; m_{0C} - показатель преломления среды, в которую погружены коллоидные частицы (в нашем случае бензин), $q=R_0/R_{Я}$ (рис. 3).

На рис. 3 показано вычисленную спектральную зависимость коэффициента поглощения света наночастицами магния с оболочкой из MgO в бензине. При расчете показатель преломления MgO определялся по формуле, данной в работах [5,9]

$$m_0 = (2,9565 - 0,01062 \cdot \lambda^2 - 0,00002050 \cdot \lambda^4 + \frac{0,02196}{\lambda^2 - 0,01428})^{0,5}, \quad (7)$$

где λ - в мкм.

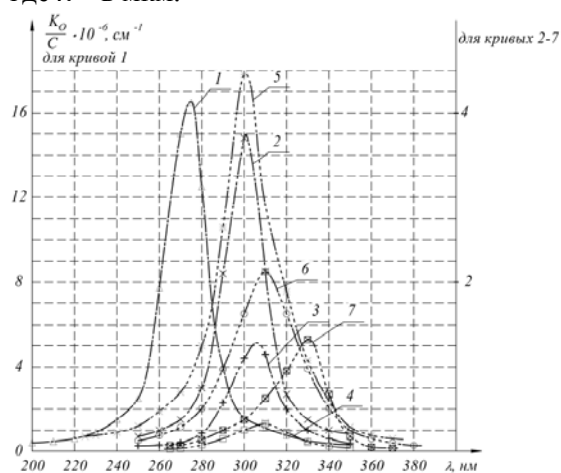


Рис. 3. Влияние оболочки из MgO толщиной $\Delta=R_0-R_{Я}$ на спектры поглощения света системой «бензин-Mg»: 1 - $R_{Я}=5$ нм, 2 - $R_{Я}=5$ нм, $R_0=7,5$ нм, 3 - $R_{Я}=5$ нм, $R_0=10$ нм, 4 - $R_{Я}=5$ нм, $R_0=15$ нм, 5 - $R_{Я}=10$ нм, $R_0=12,5$ нм, 6 - $R_{Я}=10$ нм, $R_0=15$ нм, 7 - $R_{Я}=10$ нм, $R_0=20$ нм

Для рассмотренной спектральной области поглощение света массивным MgO не учитывалось, т.е. $\varkappa=0$.

Из рис. 3 видно, что наличие оболочки из MgO на сферических частицах Mg сдвигает максимум коллоидной полосы в длинноволновую область спектра. Для частиц с $R_{Я}=5$ нм с оболочкой толщины $\Delta=2,5$ нм это смещение составляет ~ 30 нм, коэффициент поглощения в максимуме полосы уменьшается, а её полуширина увеличивается.

Методика эксперимента. Коллоидные частицы магния в бензине мы получали по методике, описанной в [7]. В настоящей работе, как и в [8], после откачки воздуха под колпаком до давления $\sim 10^{-5}$ мм рт. столба и обезгаживания пространство под колпаком заполнялось аргоном до заданного давления. Испаряющийся магний собирался в расплавленный парафин, который растворялся в бензине. Таким образом, мы получали коллоидный раствор магния в бензине.

Спектры поглощения мы снимали на спектрофотометре СФ-16 - рабочий спектральный диапазон 186-1100 нм.

Обсуждение результатов. Коллоидный магний в бензине мы получали также ультразвуковым диспергированием с помощью ультразвукового диспергатора УЗДН-А900.

Оптические спектры коллоидного магния в бензине, приготовленного испарением с последующим охлаждением и ультразвуковым диспергированием, мало отличаются. Возможно, это указывает на то, что в обоих случаях частицы имели одинаковый средний размер.

На рис. 4 показаны вычисленные для частиц магния в бензине с $R=5$ нм и $R=10$ нм спектральные зависимости коэффициента поглощения $K_0(\lambda)$ и измеренная оптическая плотность $D(\lambda)$ коллоидного раствора бензин - Mg. Сравнение кривых этого рисунка показывает, что частицы магния в бензине имеют сферическую форму.

Часть парафина с наночастицами магния вплавлялась между двумя стеклянными пластинами на горячей плите.

Пластины сдавливали разными силами. Сдавленный парафин растворяли в бензине.

Можно предполагать, что в результате сдавливания парафина сферические частицы магния приобретали форму сфероидов.

При растворении парафина в бензине они имели разную ориентацию.

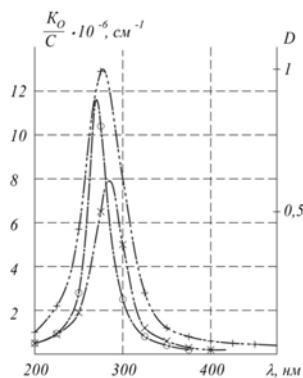


Рис. 4. Измеренная оптическая плотность D и вычисленные спектральные зависимости коэффициента ослабления света сферическими наночастицами магния в бензине. Цифры у кривых показывают радиус частиц в нм

На рис. 5 показано вычисленный (кривая 1) и измеренный (кривая 2) спектры поглощения света сплюснутыми сфероидами магния в бензине.

Вычисленная кривая относится к случаю отношения полуосей сплюснутого сфероида $B/A=0,8$.

Сравнивая кривые 1 и 2, видим, что наблюдается качественное согласие между теоретическими и экспериментальными данными.

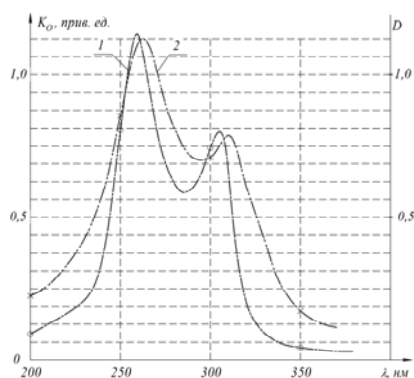


Рис. 5. Измеренный (кривая 2) и расчетный (кривая 1) спектры поглощения света сфероидами магния в бензине. Коэффициент поглощения K_0 дано в приведенных единицах. Кривая 2 вычислена для сплюснутых сфероидов с отношением полуосей $B/A=0,8$

Выводы. Анализ полученных расчетных данных по спектрам поглощения и рассеяния света наночастицами магния в разных средах позволяет сделать следующие выводы.

При идентификации центров окраски различными способами обработанных кристаллов (это касается и облученных γ -радиацией щелочно-галогидных кристаллов Co^{60}) необходимо вычислять спектры поглощения и рассеяния света коллоидными

наночастицами соответствующих металлов. Такой расчет дает возможность теоретически определить спектральное положение коллоидной полосы и ее характеристики.

Спектральная зависимость оптических констант магния такова, что коллоидные полосы поглощения света для сферических частиц располагаются в ультрафиолетовой области спектра. И только для частиц больших размеров они заходят в видимую область спектра. Здесь эти полосы имеют большую полуширину и небольшое значение коэффициента поглощения в максимуме полосы. Однако, полосы поглощения света для сфероидов охватывают всю видимую область спектра. Они имеют малую полуширину и большой коэффициент поглощения в максимуме полосы.

С помощью ультразвукового диспергатора и теплового испарения получают наночастицы магния почти одинакового размера.

Список литературы

1. Брюквина Л.И., Мартынович Е.Ф. Образование и свойства металлических наночастиц лития и натрия с радиационно-созданными центрами окраски // Физика твердого тела. - Том 54. - Вып. 12, 2012. - С. 2248-2253.
2. Рудь Ю.С., Радченко И.С., Малиновская С.И., Белоножко В.Ю. Расчет спектров поглощения и рассеяния света наночастицами магния // Гірничий вісник. - №98, 2014. - С. 120-126.
3. Gans R. Über die Form ultramikroskopischer Goldteilchen // Annalen der Physik. - B. IV, Feige 37. - S. 881-900.
4. Ван де Хюлет Г. Рассеяние света малыми частицами. - Издательство иностранной литературы. - М., 1961. - 536 с.
5. Stephens R.E., Malitson I.H. Index of Refraction of Magnesium Oxide // Journal of Research of the National Bureau of Standards. - Vol. 49. - No 4, 1952. - P. 249-252.
6. Bohren C.F., Huffman D.R. Absorption and Scattering of Light by Small Particles. - New York. - Chichester, 1985.
7. Rud Yu., Ekmanis Yu., Radchenko I. Optical Properties of the Copper Colloidal Particles // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. - No.5, 1997. - P. 3-12.
8. Ген М.Я., Зискин М.С., Петров Ю.И. Исследование дисперсности аэрозолей алюминия в зависимости от условий их образования // Доклады Академии наук СССР. - Т. 127. - №2, 1959. - С. 366-368.
9. Fuchs R. Infrared absorption in MgO microcrystals // Phys. Rev. - B. 18, 1978. - P. 716-7162.
10. Asano S., Jamamoto G. Light scattering by a spheroidal particle // Appl. Opt. - Vol. 14, 1975. - P. 29-49.
11. Mie G. Beiträge zur Optik trüber Medien speziell kolloidaler Metallösungen // Ann. Phys. - B. 25, 1908. - S. 377-445.
12. Шифрин К.С. Рассеяние света на двуслойных частицах // Известия АН СССР. Серия геофизическая. - №2, 1952. - С. 15-23.
13. Moutzouris K., Papamichael M., Betsis S.C., Stavrakas I., Hloupis G. and D. Triantis. Refractive, dispersive and thermo-optic properties of twelve organic solvent in the visible and near-infrared // Appl. Phys. B. - Vol. 116, 2013. - s. 617-622.

Рукопис подано до редакції 30.04.15

В. С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., В. В. ТРОНЬ, канд. техн. наук, доц.,
Д. И. ПАРАНЮК, аспирант, Криворожский национальный университет

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КОСВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ БУРЕНИЕМ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

Рассмотрен метод интерпретации косвенной информации для построения модели геологической структуры в процессе бурения с целью повышения качества автоматического управления данным процессом. С целью формирования модели геологической структуры рудной породы предложено при обработке и анализе текущей информации об оперативных характеристиках процесса бурения использовать алгоритмы кластеризации таких характеристик процесса, как крутящий момент и скорость бурения, что позволит распознать разновидность буримой в данный момент породы. Оперативное распознавание технологических разновидностей рудной породы на основе кластеризации косвенных признаков, полученных в результате мониторинга процесса бурения, позволит повысить точность автоматизированного управления бурением за счет использования расширенной геологической информации об определенных разновидностях. При обработке и анализе текущей информации об оперативных характеристиках процесса бурения целесообразно с целью формирования модели геологической структуры рудной породы использовать результаты кластеризации таких характеристик процесса, как крутящий момент и скорость бурения, что позволит распознать разновидность породы в ходе технологического процесса.

Ключевые слова: автоматизация бурения, геологическая структура, кластеризация данных.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Значительные затраты в процессе бурения разведочных скважин в горной промышленности обуславливают необходимость повышения эффективности данного процесса посредством адаптации управления в соответствии с изменяющимися с глубиной характеристиками геологической структуры породы. Одним из перспективных вариантов распознавания разновидностей буримой породы является оперативный анализ и сопоставление выходных переменных процесса бурения с результатами геолого-технологических исследований, что позволяет изучать геологическую структуру уже на стадии проводки скважин. Однако при формировании модели геологической структуры возникает ряд задач, связанных количественной интерпретацией полученной оперативной информации.

Геолого-технологическое исследование скважин в процессе бурения путем комплексного анализа технологических характеристик процесса позволяет осуществлять единый геологический и технологический контроль и формировать на его основе управляющие воздействия, соответствующие оптимальным режимам бурения определенной технологической разновидности рудного материала. Учет характеристик отдельных технологических разновидностей позволит также предотвратить преждевременный износ и поломку бурового оборудования.

Анализ исследований и публикаций. Проводимые в настоящее время исследования показывают, что оптимизация процесса бурения возможна только при условии комплексного анализа характеристик бурильной установки и факторов окружающей среды, важнейшим из которых является геологическая структура рудной залежи. В свою очередь формирование и поддержание оптимальных режимных параметров в условиях непрерывных изменений возмущающих воздействий обуславливает необходимость применения специальных методов контроля и управления [1-5].

В работах Е. А. Козловского [2-3] обоснована целесообразность применения самонастраивающихся автоматических буровых систем, которые в простейшем случае сводятся к экстремальным системам управления. Установлено, что с ростом осевой нагрузки и частоты оборотов породоразрушающего инструмента до определённого предела растёт механическая скорость бурения. При этом существуют оптимальные зависимости частоты оборотов n и осевой нагрузки G_{oc} (рис. 1а). Оптимальным предложено считать такое регулирование осевой нагрузки и частоты вращения коронки, которое будет соответственно пропорционально и обратно пропорционально крепости пород f . Рациональные соотношения частоты вращения n и осевой нагрузки G_{oc} для твердосплавных коронок, которые получены на основании данных (рис. 1а) для разной крепости пород f представлены на рис. 1б.

На основе рассмотренных зависимостей построена структурная схема системы автоматического поиска оптимальных параметров режима бурения (рис. 2) [2-3]. В данной системе управления сигнал датчика DV_b скорости бурения U_{OC1} подается на вход экстремального регулятора ЭР, исполнительная схема которого, воздействуя на вход гидравлического органа подачи ГО, регулирует осевую нагрузку. Сигнал U_{OC1} подается также на вход функционального преобразователя ФП и воздействует на регулируемый привод РП, который, согласно рациональному соотношению n и G_{oc} , меняет частоту вращения бурового инструмента.

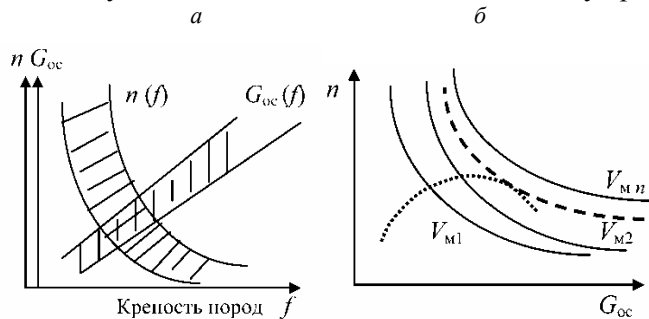


Рис. 1. Соотношения частоты вращения и осевой нагрузки для твердосплавных коронок

Экстремальный регулятор на основе значения разности мгновенного значения механической скорости и максимального значения, зафиксированного экстремальным регулятором $\Delta V_m = V_{mгн} - V_{m\max}$ выдает команду исполнительной схеме на уменьшение осевой нагрузки. Таким образом, исходя из условия оптимальности процесса бурения для конкретной крепости пород, находится максимальная механическая скорость бурения.

Для оптимальности процесса бурения для конкретной крепости пород, находится максимальная механическая скорость бурения.

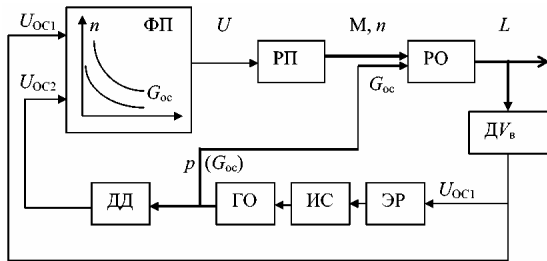


Рис. 2. Система автоматического поиска оптимальных параметров режима бурения: ФП - функциональный преобразователь; РП - регулируемый привод; РО - рабочий орган бурового станка; DV_b - датчик скорости бурения; ЭР - экстремальный регулятор; ИС - исполнительная схема; ГО - гидравлический орган; ДД - датчик давления

Учитывая широкий спектр значений характеристик железорудного материала, добываемого на отечественных горных предприятиях в процессе

управления бурением необходимо учитывать геологическую структуру буримой породы. Проведенные исследования корреляции между данными, полученными в процессе бурения, и геологической информацией [4] выявили высокую степень корреляции между параметрами, полученными в процессе бурения и данными геофизического опробования скважин. В процессе исследования осуществлялся контроль следующих параметров: скорость бурения, скорость вращения, осевая нагрузка, крутящий момент. Данные из скважин были использованы для определения типа породы в шпурах и определения степени соответствия параметров модели геологической структуры шпура, построенной в результате анализа характеристик процесса бурения, параметрам геологической структуры ближайших к месту бурения скважин. При сопоставлении с данными мониторинга буровой машины использованы данные ближайшей скважины. Представленные в работе результаты показали, что существует высокая степень корреляции между параметрами бурения (скорость бурения и крутящий момент) и типом породы.

Исследования [5] показали, что скорость бурения снижается при прохождении твердой породы и увеличивается при прохождении более мягкой. Следует отметить, что анализ динамики крутящего момента также позволяет определить твердую и мягкую породу, однако имеет полностью противоположный характер динамике скорости бурения. Учитывая, что существует некоторое оптимальное значение осевой нагрузки, которое позволяет получить наилучшую скорость бурения, осевую нагрузку целесообразно регулировать для повышения эффективности бурения. Вследствие чего динамика данного параметра уже не будет отражать характеристики разновидностей буримой породы, т.е., использование осевой нагрузки как единственного индикатора характеристик породы является нецелесообразным.

Постановка задачи. Поскольку, существующие методы получения и анализа оперативной информации об текущих характеристиках процесса бурения обеспечивают недостаточную скорость и точность обработки, что обуславливает необходимость проведения дополнительных исследований в данном направлении с целью формирования модели геологической структуры рудной породы в процессе бурения.

Изложение материала и результаты исследований. Определение принадлежности буримого рудного материала к определенной разновидности, как показано выше, может быть выполнено по нескольким характеристикам. Следовательно, целесообразно применить методы кластеризации для поиска закономерностей в полученной в процессе бурения оперативной информации. Следует отметить, что методы кластеризации, в отличие от статистических методов, могут использоваться в условиях практически полного отсутствия априорной информации о законах распределения анализируемых данных [6].

Исходной информацией для кластеризации была матрица измерений характеристик бурения на определенной глубине, состоящая из n строк, каждая из которых содержит показатели, соответствующие определенному значению глубины скважины. В данном случае, задачей является распределение характеристик бурения, соотношенных с текущим значением глубины разведочной скважины, на определенное количество кластеров, соответствующих встречающимся в ходе бурения технологическим разновидностям руды. Для повышения эффективности процесса кластеризации была выполнена нормализация входных данных [7,8]

$$\bar{\psi} = \frac{\psi - \psi_{\min}}{\psi_{\max} - \psi_{\min}} \quad (1)$$

где ψ — текущее значение характеристики процесса бурения, $[\psi_{\min}, \psi_{\max}]$ — диапазон значений характеристики процесса бурения в исследуемом множестве измерений. Результаты нормализации пары характеристик процесса бурения: скорости и крутящего момента; после исключения из выборки выбросов приведены на рис. 3. Для осуществления кластеризации характеристик были рассмотрены методы четкой и нечеткой кластеризации. Диаграмма количества итераций, необходимого для распределения исходных данных на определенное количество кластеров: от 2 до 8; представлена на рис. 4. Следует отметить, что при распределении исходных данных на 6 и более кластеров количество итераций существенно возрастает. Это позволяет сделать вывод, что оптимальное количество кластеров, соответствующее внутренней структуре данных, находится в пределах от 2 до 5.

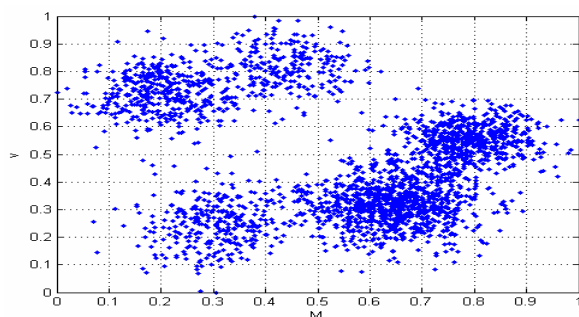


Рис. 3. Нормированные исходные данные

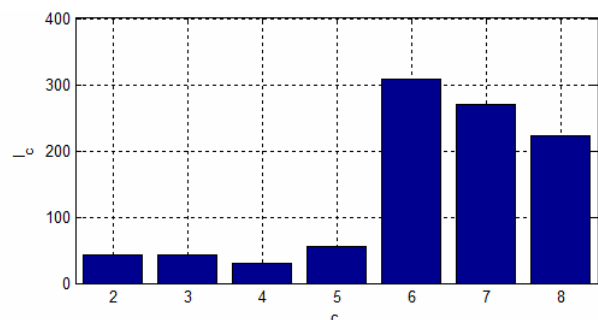


Рис. 4. Количество итераций кластеризации

С применением классической теории множеств четкая кластеризация определяется как семейство подмножеств $\{A_i | 1 \leq i \leq c \subset P(X)\}$ удовлетворяющих условиям: все объекты распределены по кластерам, каждый объект принадлежит только одному кластеру, ни один из кластеров не пуст [6,9].

Среди методов четкой кластеризации наиболее эффективными оказались методы K-means и K-medoid, которые определяют принадлежность каждого набора характеристик процесса бурения одному из c кластеров, обеспечивая минимизацию в рамках кластера суммы квадратов [6,9]

$$\sum_{i=1}^c \sum_{k \in A_i} \|\psi_k - v_i\|_2 \quad (2)$$

где A_i — собой набор объектов (опорных точек) в i -го кластера; v_i — центр масс координат точек кластера i . Согласно алгоритму K-means кластеризации координаты центров кластеров вычисляются по формуле

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^{N_i} \psi_k}{N_i}, \psi_k \in A_i \quad (3)$$

где N_i – количество объектов в A_i .

Результат кластеризации измеренных характеристик процесса бурения, выполненной по алгоритму K -means приведен на рис. 5а.

Согласно методу K -medoid кластеризации центрами кластеров являются ближайшие объекты средних данных в одном кластере $V = \{V_i \in X | 1 \leq i \leq c\}$ [6,9]. Результат кластеризации, выполненной по алгоритму K -medoid, приведен на рис. 5б.

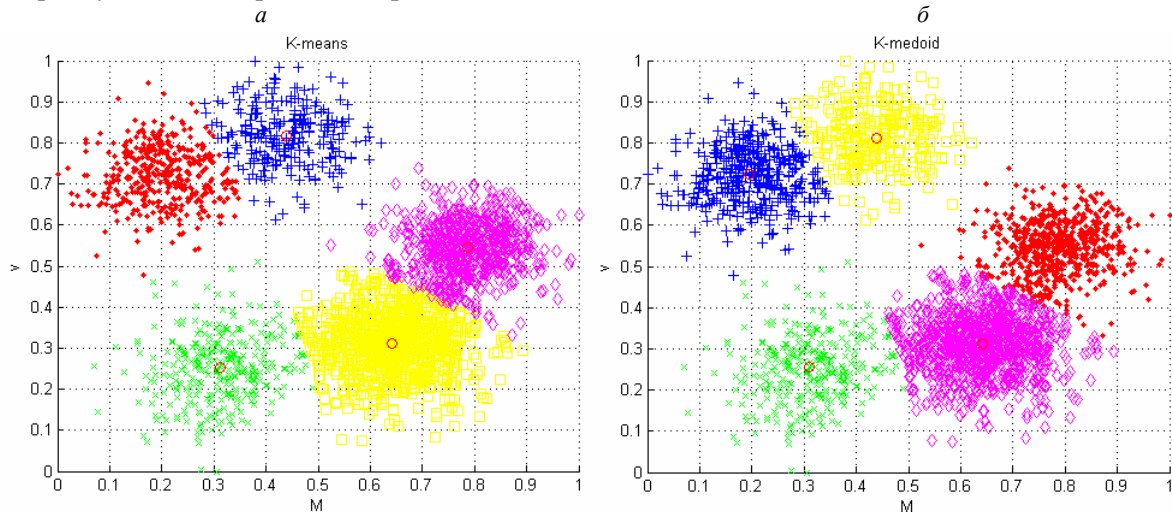


Рис. 5. Результат кластеризации характеристик процесса бурения: а - алгоритм K -means; б - алгоритм K -medoid

Качество алгоритмов кластеризации, как итерационных процессов, оценивалось по скорости достижения оптимума с заданной точностью за конечное число шагов.

Сходимость алгоритмов кластеризации характеристик процесса бурения проверялась при разбиении на близкое к оптимальному количество кластеров, что позволило не только оценить показатели сходимости, но и дополнительно проверить целесообразность проведенного ранее выбора количества кластеров.

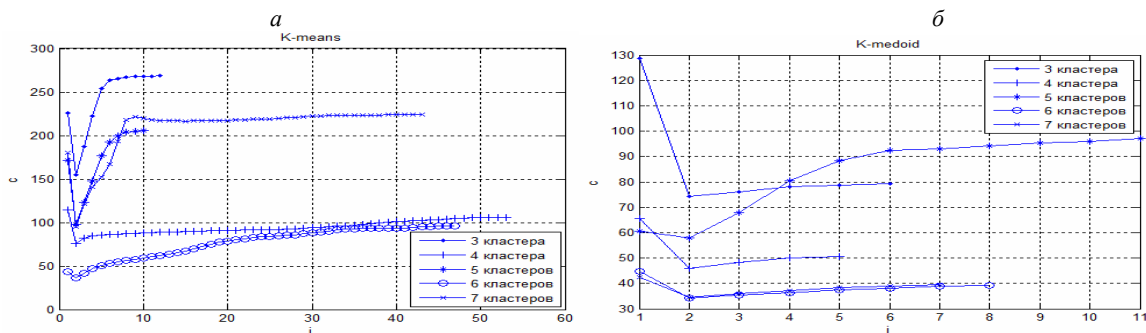


Рис. 6. Сходимость алгоритмов четкой кластеризации при различном количестве кластеров: а - K -Means; б - K -Medoid

Рассмотрим усредненные результаты оценки сходимости для исследуемых алгоритмов.

Результат оценки сходимости алгоритма кластеризации K -Means приведен на рис. 6а.

С точки зрения скорости сходимости, оптимальным является разбиение на 5 кластеров.

Минимальное значение целевой функции обеспечивает распределение на 6 кластеров.

Оценка сходимости алгоритма кластеризации K -Medoid представлена на рис. 6б.

Наилучший результат по скорости сходимости получен в результате разбиения на 4 кластера.

Вместе с тем, наименьшее среднее значение целевой функции алгоритма соответствует разбиению на 6 и 7 кластеров.

Сравнительная оценка результатов исследования скорости сходимости алгоритмов четкой и нечеткой кластеризации (рис. 7) показала, что наилучшие показатели сходимости имеют алгоритмы четкой кластеризации: 10-12 итераций.

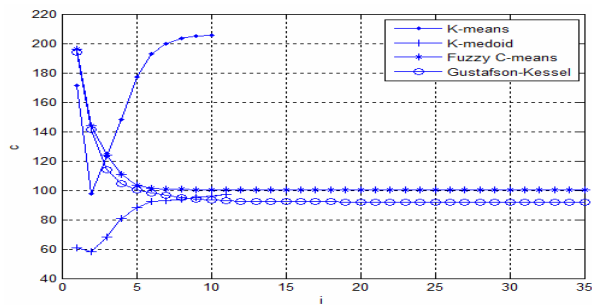


Рис. 7. Сходимость алгоритмов кластеризации при заданном количестве кластеров

Оперативное распознавание технологических разновидностей рудной породы на основе кластеризации косвенных признаков, полученных в результате мониторинга процесса бурения, позволит повысить точность автоматизированного управления бурением за счет использования расширенной геологической информации об определенных разновидностях.

Выводы и направления дальнейших исследований. Таким образом, при обработке и анализе текущей информации об оперативных характеристиках процесса бурения целесообразно с целью формирования модели геологической структуры рудной породы использовать результаты кластеризации таких характеристик процесса, как крутящий момент и скорость бурения, что позволит распознать разновидность породы в ходе технологического процесса.

Список литературы

1. Храменков В. Г. Автоматизация производственных процессов / В. Г. Храменков. – Томск: Томск. политех. университет, 2011. – 343 с.
2. Козловский Е.А. Оптимизация процесса разведочного бурения / Е.А. Козловский. - М.: Недра, 1975.-280 с.
3. Козловский Е.А. Механизация и оптимизация процессов бурения разведочных скважин / Е. А. Козловский, А. Д. Дьяков, П. А. Петров. - М.: Недра, 1980. - 349 с.
4. Scoble M. J. Correlation between Rotary Drill Performance Parameters and Borehole Geophysical Logging. Mining Science and Technology / M. J. Scoble, J. Peck, C. Hendricks. – 1989. – 8. – pp. 301-312.
5. Segui, J. B. Blast Design Using Measurement While Drilling Parameters. Fragblast /, J. B. Segui, , M. Higgins - 2002. - Vol. 6, No. 3 – 4. - pp. 287 – 299
6. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику / С.Д. Штовба. – Режим доступа: //http://matlab/exponenta.ru/fuzzylogic/book1.
7. Balasko B. Fuzzy Clustering and Data Analysis Toolbox / Balasko B., Abonyi J., Feil B. – 74 p.
8. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под. ред. Д. А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
9. Bezdek J. C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. Plenum Press, 1981.

Рукопис подано до редакції 16.03.15

УДК 622.73: 622.74

Т.А. ОЛІЙНИК, д-р техн. наук, проф.,

І.В. ХМЕЛЬ, аспірант, І.А. КОРЖАН, магістр, М.О. ОЛІЙНИК, аспірант

Криворізький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ РУДОПІДГОТОВКИ НА ПАТ «ПівніГЗК»

Розглянуто проблему надлишкових енерговитрат при рудопідготовці магнетитових кварцитів публічному акціонерному товаристві «Північний гірничо-збагачувальний комбінат». Для детального вивчення цього питання на публічному акціонерному товаристві «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» було проведено генеральне опробування технологічної схеми та виконано детальне дослідження всіх продуктів на предмет розкриття мінеральних зерен. За результатами дослідження були встановлені коефіцієнти розкриття рудних та нерудних мінералів за всією технологічною схемою збагачення магнетитових кварцитів на гірничо-збагачувальному комбінаті, зроблено аналіз та синтез отриманої інформації для розробки рекомендацій з вдосконалення процесу подрібнення та класифікації руди на комбінаті. Виявлено те, що розкриття є одним з головних факторів, що впливає на процесу рудопідготовки магнетитових кварцитів на публічному акціонерному товаристві «Північний гірничо-збагачувальний комбінат». Доведено, що при збагаченні корисних копалин основна роль подрібнення полягає в повному розкритті мінеральних зростків з утворенням вільних зерен компонентів для подальшого їх поділу за фізико-хімічними характеристиками.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Збагачення залізних руд за масштабами виробництва концентратів займає одне з перших місць у використанні і переробці мінеральної сировини. У даний час 86 % видобутих руд піддається збагаченню.

Його розвиток характеризується, з одного боку, безперервною інтенсифікацією основних підготовчих процесів у зв'язку з тим, що якість видобуваємих руд постійно знижується, а з іншого - все зростаючими вимогами до залізорудних концентратів.

Тому основні витрати на збагачувальних фабриках пов'язані з процесами дроблення і подрібнення. Недотримання принципів раціональної рудопідготовки: «Не дробити і не збагачувати нічого зайвого» у процесах переробки мінеральної сировини приводить до надлишкових енерговитрат, які далеко непропорційні розкритій поверхні мінералів.

При збагаченні корисних копалин основна роль подрібнення полягає в повному розкритті мінеральних зростків з утворенням вільних зерен компонентів для подальшого їх поділу за фізико-хімічними характеристиками. Фізичний сенс переходу до селективного подрібнення полягає в організації процесу таким чином, щоб руйнування відбувалося не за випадковим напрямками стискаючих зусиль, а переважно по межах мінеральних зерен в результаті розвитку на їхніх кордонах зсувних і розтягуючих навантажень.

Особливістю ПАТ «ПВГЗК», що відрізняє його від інших гірничо-збагачувальних комбінатів Криворізького басейну та інших регіонів планети, є крайня неоднорідність руд по мінералогічним, хімічним, структурним, текстурованим показникам і, як наслідок, за параметрами їх як подрібнюваності, так і збагачуваності.

Тому розкриття особливостей процесу рудопідготовки магнетитових кварцитів на ПАТ «ПВГЗК», зміна яких дозволить удосконалити процес подрібнення та класифікації руд, є актуальною науково-практичною задачею.

Аналіз досліджень і публікацій. Методологічною основою теорії і практики процесів подрібнення є фундаментальні дослідження таких учених, як: Л.А. Вайсберга, С.Ф. Шинкаренко, Е.Е. Андреев, П.В. Маляров, Е.Е. Серго, І.М. Плаксін, В.І. Ревнівцева, В.А. Чантурія, В.В. Адушкін, Г.Р. Бочкарьова, Ю.В. Гуляєва, В.А. Черепеніна, В.А. Вдовина, А.Т. Ковальова, В.С. Вігдергауз, С.Д. Вікторова, С.А. Гончарова, М.Г. Зільбершмідта, Г.Д. Краснова, В.Г. Кулебакина, В.І. Ростовцева, Е.А. Хопунова, Т.С. Юсупова, В.П. Бруева, Ф.Ф. Боріскова, Ю.П. Вейгельта, Г.С. Крилової, А.Ф. Усова, U. Andres, E. Forssberg, K.E. Naque, S.W. Kingman та ін. [1-12]

Сьогодні на збагачувальних фабриках Криворізького залізорудного басейну збагачення магнетитових кварцитів здійснюється за технологією, що включає 3-4 стадії дроблення, 3 стадії кульового подрібнення і класифікації, 3-4 стадії магнітної сепарації, 1-2 стадії знешламлення, фільтрування концентрату.

Для всіх ГЗК Кривбасу подрібнення в I стадії ведеться до 50-75 % класу -0,05 мм і до подрібнюються в останній стадії до 85-98 % класу -0,05 мм. За кордоном - до 95 % -0,044 мм.

На ПАТ «ПівнГЗК» подрібнення здійснюється до крупності 65% класу мінус 0,056 мм - в першій стадії, 85 % класу мінус 0,056 мм - у другій стадії, 98% класу мінус 0,056 мм - в третій стадії. Саме для отримання концентрату з вмістом заліза до 65,3 % в зливні гідроциклонів готового класу мінус 0,056 мм має бути не менше 95,5 %.

Подрібнення здійснюється в кульових млинах в три стадії.

Перша стадія здійснюється в млинах МШР 3600×4000 (I черга) та млинах МШР 4000×5000 (II черга). На 1 і 2 чергах фабрики у другій і третій стадіях подрібнення встановлені млини одного типу - МШЦ 3600×5500 мм.

Гранулометричний склад куль, використовуваних для млинів першої стадії подрібнення наступний: діаметр 120 мм - 15 %, діаметр 100 мм - 30 %, 80 мм - 35 %. У другій стадії застосовуються шари діаметром 60-80 мм, у третій - діаметром 40 мм.

Розрахунок витрати куль на 1 тону подрібненої руди проводиться за питомою роботою руйнування. Завантаження млинів кулями становить 40 % плюс-мінус 5 % від обсягу млина.

Обмеження кількості великих куль (крупніше 80 мм), що завантажуються в млин, і застосування суміші куль різного діаметру може істотно підвищити ефективність роботи вузла подрібнення.

Характер крупності куль в млині визначається згідно відомим теоріям зносу куль. При використанні тільки великих куль вони залишаються переважними протягом усього часу роботи млина.

Оскільки подрібнення рудної сировини в млині проводиться за рахунок ударів і стирання, то в тому й іншому випадку перевагу мають дрібні кулі, так як в одиницю часу вони виконують

значно більшу кількість ударів, а велику роботу виконують стиранням за рахунок переважаючої поверхні.

У витратах на подрібнення енергія і кулі становлять близько 70 %, а в цілому в собівартості збагачення - до 50-60 %.

На подрібнення 1 т руди на I стадії витрачається електроенергія в кількості 7,7–13,6 кВт·год, а в цілому на подрібнення - 17,3-30 кВт·год. Якщо на I і II стадіях подрібнення загальні витрати електроенергії на одержання 1 т готового класу складають 22,5-43,6 кВт·год, то на кінцевій - 68,2-129,5 кВт·год.

Максимальні енерговитрати відповідають вельми тонкому подрібненню до 0,04-0,05 мм.

В цілому слід зазначити, що технології, застосовувані на сучасних залізородних комбінатах далекі від досконалості: якість залізородної сировини за вмістом заліза і кремнезему не відповідає сучасним вимогам металургів; витрата електроенергії на 1 т концентрату в 1,4-1,5 рази вище, ніж на аналогічних підприємствах за кордоном.

Витрати за операціями технологічної схеми розподіляються приблизно таким чином:

51,0-51,5 % - подрібнення; 22,0-24,0 % - перекачування хвостів; 10,0-11,0 % - магнітна сепарація; 6,5-8,0 % - зневоднення концентрату.

Оскільки з подрібненням пов'язані основні витрати (85–87 %) на електроенергію [11], основним напрямком підвищення рентабельності діючих гірничо-збагачувальних комбінатів є підвищення ефективності роботи вузла подрібнення і класифікації, що дозволить зменшити витрати електроенергії, подрібнюючих тіл і оборотної води.

Постановка завдання. Значний вплив на розкриття руд і економіку процесу рудопідготовки має характер і міцність контактів зрощення рудних і нерудних мінералів.

Селективність руйнування по контактам зрощення прямо впливає на кінцеву крупність подрібнення. При безпосередньому зростанні мінералів міцність контактів не поступається, а іноді і перевершує міцність мінералів, що контактують.

Разом з тим, ослаблення приконтактної зони попереджує інтенсивне утворення зростків в процесі руйнування приконтактних областей і практично повне розкриття іншого матеріалу при подрібненні.

Враховуючи багатофакторність і багатоваріантність процесу подрібнення, очевидно, що кількісні показники розподілу енергії, які залежать від розкриття мінералів, можуть бути визначені тільки емпіричним шляхом, а також шляхом обробки статистичного матеріалу, накопиченого в процесі експлуатації млина.

Тому основною метою роботи є встановлення коефіцієнтів розкриття рудних та нерудних мінералів за всією технологічною схемою збагачення магнетитових кварцитів на ПАТ «ПВНГЗК», аналіз та синтез отриманої інформації для розробки рекомендацій з вдосконалення процесу подрібнення та класифікації руди на комбінаті.

Викладення матеріалу та результати. Для досягнення поставленої мети на ГЗК було проведено генеральне опробування технологічної схеми та виконано детальне дослідження продуктів на предмет розкриття мінеральних зерен.

Аналіз результатів досліджень петрологічного складу крупно-і середньо-уламкового матеріалу вихідної руди показав, що вихідна руда, що подається на збагачення, представлена наступними мінеральними різновидами: кальцит-магнетитовими кварцитами - 41,04%; кальцит-магнетитовими і магнетитовими кварцитами зміненими - 14,15%; кальцит-гематит-магнетитовими кварцитами - 18,47%; магнетитовими кварцитами - 17,47%; кальцит-кумінгтоніт-магнетитовими кварцитами - 5,08%; кальцит-магнетит-кумінгтонітовими кварцитосланцями - 1,14%; кальцит-магнетит-рибекітовими метасоматитами - 1,39% ; кальцит-магнетит-егіріновими метасоматитами - 0,93%; малорудними і безрудними кварцитами - 0,33%.

Аналіз розкриття зростків мінералів вихідної руди (рис. 1), подрібненої до крупності -20 + 0 мм показав, що кварц починає розкриватися з 2 мм (ступінь розкриття в класі -2 + 1 мм - 2,2%) і майже повністю розкривається при крупності менше 0,044 мм (ступінь розкриття в класі -0,044 + 0 мм - 99,47%).

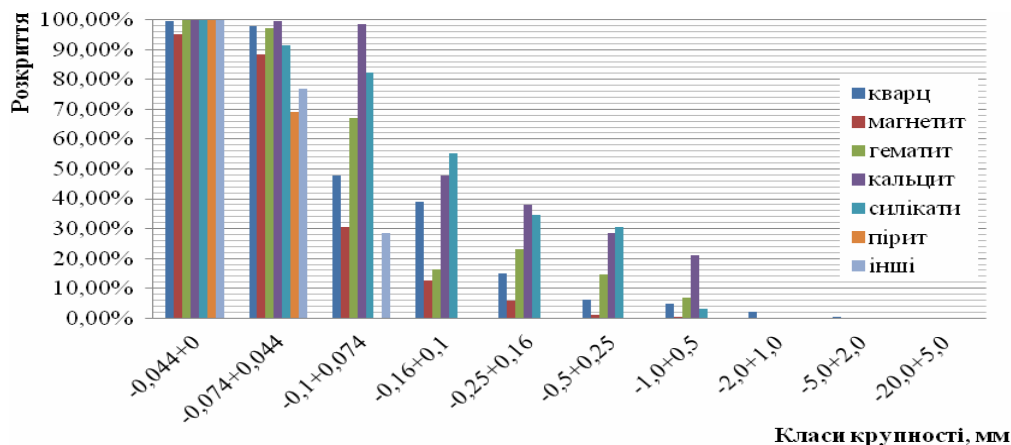


Рис. 1. Порівняння розкриття мінералів у вихідній руді по класам крупності

В середньому по пробі в крупності $-20 + 0$ мм кварц розкритий на 6,44%. Що стосується інших нерудних компонентів, то карбонати і силікати починають розкриватися з крупності -1 мм і повністю розкриті у фракції $-0,044$ мм + 0 мм.

Рудні мінерали характеризуються тим, що верхні класи крупності (більше 0,1 мм) представлені на 99-88% зростками. Основне розкриття магнетиту і гематиту відбувається в крупності $-0,074 + 0$ мм. В середньому по пробі розкриття мінералів становить близько 6,23% мм.

Розвантаження млина першої стадії за кількісним мінеральним складом близька до вихідної руди. Матеріал характеризується більшим розкриттям зростків - в середньому на 39,2%. Так, наприклад, вільні уламки кварцу відзначені в класі крупності $-20,0 \div +0,5$ мм, чого не виявлено в матеріалі вихідної руди. Аналіз результатів розкриття мінералів показує, що кварц розкривається швидше, ніж магнетит і гематит. Так, уже в класі крупності $-2 \div +1$ мм розкритого кварцу більше 10%, а розкриті рудні зерна відсутні і досягають такого коефіцієнта розкриття тільки в класі крупності $-0,16 \div +0,1$ мм. У класі мінус 0,04 мм зростки мінералів практично відсутні. В цілому по пробі коефіцієнт розкриття кварцу в зливні млині становить 42,6%, коефіцієнт розкриття магнетиту - 32,5%, гематиту - 36,85%. Слід зазначити, що сульфідні починають розкриватися тільки з класу $-0,074$ мм.

Злив класифікатора 1 стадії в порівнянні з розвантаженням млина характеризується більшим середнім ступенем розкриття мінералів 66,7% проти 39,2%. Що стосується мінералів, то кварц розкритий на 66,38%, магнетит - на 60%, гематит - на 61%, карбонати і силікати - на 75 і 79%. Розкриття сульфідів становить 43,4%. Тому, можна констатувати той факт, що сировина до 1 стадії магнітної сепарації для скидання основної частини нерудної компоненти сировини добре підготовлено. Аналіз результатів подальшого розділення показує, що магнітна сепарація дозволяє видалити 40 % хвостів, з 60 % розкритого матеріалу, що пов'язано з явищем флокуляції магнетиту.

Аналіз результатів розкриття мінералів проби пісків класифікатора показує, що в млин ми повертаємо розкритих зерен: 19,58 % кварцу, 11,42% магнетиту, 11,03 % гематиту, 20,5 % карбонатів, 28,19 % силікатів, що пояснюється особливостями роботи класифікатора: в піски класифікатора потрапляють тонкі зерна мінералів, згідно швидкостей рівнопадання зерен. Ефективність роботи класифікатора по класу мінус 1 плюс 0 мм становить 52,51 %, по класу $-0,074 \div +0$ мм - 81,66 %, а по класу $-0,044 \div +0$ мм - 89,6 %.

Магнітний промпродукт магнітної сепарації першої стадії характеризується збільшенням вмісту головного рудного мінералу - магнетиту і зниженням, у порівнянні з вихідним матеріалом кількості гематиту, силікатів, карбонату і кварцу. Останнього, все ж, залишається значна кількість - понад 30,0 об.%. Особливо, це характерно, для верхніх класів крупності ($+0,5$ і $-0,5 + 0,25$ мм), де вміст кварцу перевищує 50,0 об.%. Також слід зазначити, що «засмічують» концентрат мінерали (кварц, силікати, карбонат) зустрічаються частіше у вигляді зростків з магнетитом. Однак, також зафіксовані «вільні» («чисті») уламки нерудних мінералів, що пояснюється утворенням магнітних флокул.

Ступінь розкриття мінералів в магнітному промпродукті 1 стадії збагачення становить: кварцу - 48,68%, магнетиту - 59,92%, гематиту - 53,07%, карбонату - 23,04%, силікатів - 47,21%. При попаданні їх в млин 2 стадії збільшиться кількість переподрібненого матеріалу і міцність флокул зросте в десятки разів.

«Хвости» магнітної сепарації першої стадії характеризуються досить низьким вмістом магнетиту - 2,45 об%. Для гематиту і нерудних мінералів зазначається їх концентрація. Крім розкритого кварцу (ступінь розкриття 77,6%), в хвості видалені його зростки з рудними і нерудними компонентами. Гематит, кальцит, силікати і сульфідиди видаляються з процесу збагачення з хвостами в основному у вільному стані (ступінь розкриття цих мінералів 76,03%, 76,7%, 83,9%, 76,79% відповідно). Також, в хвостах порівняно з вихідною рудою зафіксовано зниження кількості сульфідидів, що обумовлено тісним просторовим зв'язком їх зерен з індивідами магнетиту.

Піски гідроциклону другої стадії класифікації складені, переважно, магнетитом, основна частина якого зосереджена в нижніх класах крупності (-0,1 мм). Головним компонентом, що засмічує, є кварц (до 30,0 об.%). Решта домішкових мінералів, містяться в кількості до 5,0 об.%. Аналіз результатів розкриття мінералів проби пісків гідроциклону другої стадії класифікації показує, що в млин ми повертаємо розкритих зерен: 29,1% кварцу, 35,62% магнетиту, 28,4% гематиту, 64,3% кальциту, 42,28% силікатів, що пояснюється низькою ефективністю роботи гідроциклону як класифікуючого апарату: в піски класифікатора потрапляють тонкі зерна розкритих рудних мінералів, згідно швидкостей рівнопадаємості зерен. Ефективність роботи гідроциклону по класу мінус 0,5 плюс 0 мм становить 36,22%, по класу -0,074÷+0 мм - 43,91%, а по класу -0,044÷+0 мм - 67,2%.

Зливи гідроциклону другої стадії представлені, в основному, магнетитом більше (60,0 об.%) Розподіл по класах крупності носить складних характер: високий вміст відзначений у верхніх (+5,0, -0,5 + 0,25 мм) і нижніх (-0,074 + 0,044, -0,044 мм); в середніх класах значення вмісту мінералу значно нижче - коливається в межах 22,0-48,0 об.%. Високий вмісту магнетиту у верхніх класах обумовлений, тим, що основна частина уламків в них представлена спресованими, гострокутними грудочками, що складаються, переважно, з дрібнообломкового магнетитового матеріалу

Разгузка млина 2 стадії подрібнення - живлення магнітної сепарації другої стадії в цілому продукт мінералогічно близький до пісків гідроциклону 2-ї стадії. Середній коефіцієнт розкриття мінеральних зростків знаходиться на рівні 56,06%.

Промпродукт магнітної сепарації другої стадії містить магнетиту більш 65,0 об.%. Істотно кількість кварцу - трохи менше 25,0 об.%. Також спостерігається, в порівнянні з попереднім продуктом, зниження вмісту гематиту, кальциту, силікатів і інших. Коефіцієнт розкриття мінеральних в середньому становить 60,58%.

«Хвости» магнітної сепарації другої стадії складаються в основному з кварцу і кальциту. Істотна також частка гематиту і силікатів (значення їх вмісту перевищує 5,0 об.%). Присутність магнетиту спостерігається, однак вона незначна (близько 2,0 об.%). Мінерал представлений тонко-уламковим матеріалом, що обумовлює скупчення його основної частини в дрібних класах (-0,074 + 0,044 і -0,044 мм). Коефіцієнт розкриття мінеральних зростків в середньому становить 72,71%. Магнетит втрачається з хвостами за рахунок бідних зростків і з тонкими класами.

Піски класифікатора третьої стадії складені, переважно, магнетитом - близько 80,0 об.%. Другорядним мінералом є кварц (близько 10,0 об.%). Силікати, представлені в основному, рібекитом, містяться до кількості 3,0 об.%. Вміст гематиту і кальциту не перевищує 2,0 об.%, Сульфідидів та інших - до 1,0 об.%. Вміст магнетиту поступово зростає до нижніх класів крупності, що пояснюється низькою ефективністю класифікації. Примітним для продукту, що описується є присутність дрібнообломкового магнетитового матеріалу у верхніх класах, що обумовлено залишковою намагніченістю після магнітної сепарації ранніх стадій. Коефіцієнт розкриття мінеральних зростків в середньому становить 70,03%.

Зливи гідроциклонів третьої стадії класифікації характеризуються трохи меншим вмістом магнетиту, порівняно з пісками - до 80,0 об.%.

Відповідно, відзначено більшу кількість кварцу, гематиту, кальциту, силікатів і інших. Вміст магнетиту має тенденцію до збільшення від верхніх класів до нижніх.

На відміну від пісків, де «вільні» уламки кварцу відзначаються в крупності -0,16 мм, в зливах вони присутні вже в матеріалі крупністю -0,5 мм.

Розвантаження млина третьої стадії по мінеральному складу близьке до пісків класифікатора третьої стадії.

Відмінною рисою є те, що істотна частина матеріалу верхніх класів (близько 65%) представлена округлими грудочками, переважно, магнетитового складу. Їх руйнування показує, що грудочки складаються з дрібнообломкового матеріалу магнетиту і захоплених ними більш крупних уламків кварцу.

Концентрат магнітної сепарації четвертої стадії складається, в основному, з магнетиту - близько 85,0 об.% (рис. 2). Кварцу міститься до 9,0 об.%.

Зосереджений він, переважно, у верхніх класах - мінімальне значення його вмісту зафіксовано в класі -0,044 мм - до 5,0 об.%. У цьому ж класі крупності відзначається найвищий вміст магнетиту - більш 90,0 об.%.

Коефіцієнт розкриття мінеральних зростків в середньому становить 66,85%, чим і пояснюється низький вміст заліза в концентраті.

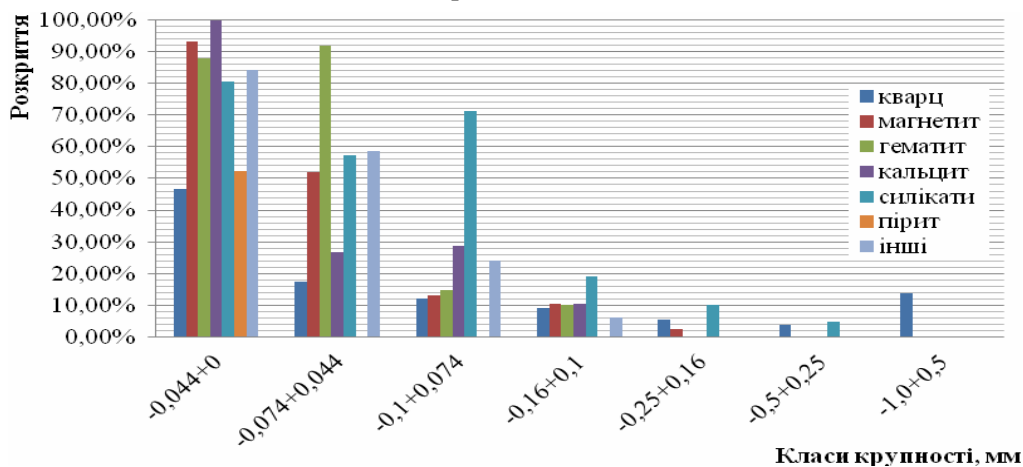


Рис. 2. Порівняння розкриття мінералів у концентраті по класам крупності

«Хвости» - відвальні представлені, переважно, кварцом близько 65,0 об.% (рис. 3). Другорядними є кальцит і силікати - близько 15,0 і 10,0 об.%, відповідно.

Значення вмісту гематита та інших - становить близько 5,0 об.%.

Кількість магнетиту незначно не перевищує 2,5 об.%, основна частина якого зосереджена в матеріалі крупністю -0,074 мм.

Піриту в описуваному продукті міститься не більше 1,0 об.%. Коефіцієнт розкриття мінеральних зростків в середньому становить 71,82%.

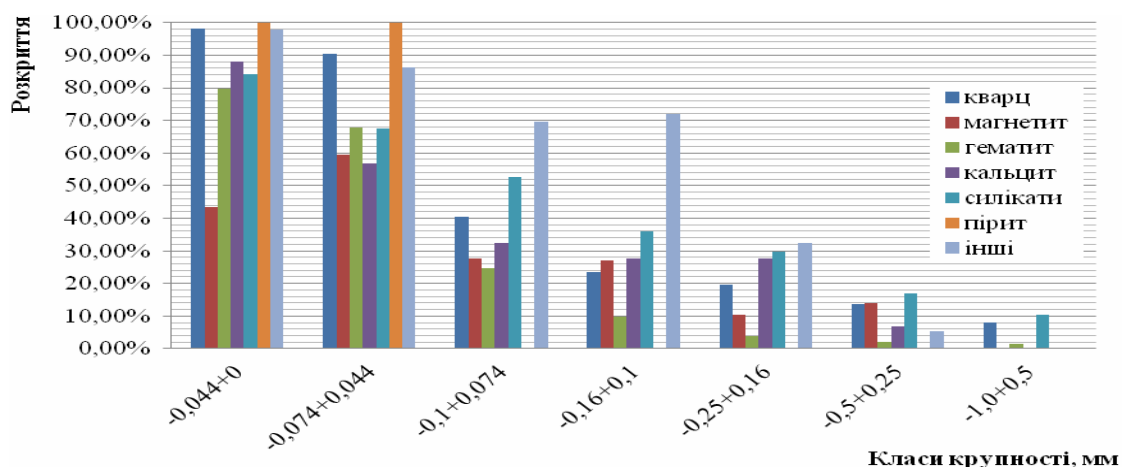


Рис. 3. Порівняння розкриття мінералів у відвальних хвостах по класам крупності

Висновки та напрямок подальших досліджень. У роботі доведено, що розкриття нерудної фази у вихідній руді, починаючи з першої стадії подрібнення, значно випереджає розкриття магнетиту, так при крупності 65,3 % класу -0,071 мм розкриття рудних мінералів становить 27,0 %, а нерудних 40,4 %.

Встановлено, що основною проблемою при подрібненні магнетитових кварцитів ПАТ «ПВНГЗК» є виведення з циклів подрібнення не тільки відвальних продуктів, але і високоякісних магнетитових концентратів по мірі їх розкриття, що дозволить скоротити кількості стадій магнітної сепарації, підвищити вилучення заліза і рентабельність збагачувального переділу (магнітного збагачення).

Характер розподілу заліза за класами крупності в кінцевому концентраті, свідчать про необхідність мінімізації вмісту класу плюс 0,045 мм в концентраті. З цією метою руду необхідно подрібнювати до крупності 98-99% класу мінус 0,045 мм і у II та III стадії подрібнення повинна бути введена операція контрольного просівання по класу 0,045 мм.

Список літератури

1. Пивняк Г.Г., Вайсберг Л.А., Кириченко В.И., Пилов П.И., Кириченко В.В. Учебное пособие для ВУЗов. - М.: Изд. дом "Руда и металлы", 2007. - 296с
 2. Шинкаренко С.Ф. Технология измельчения руд черных металлов. М.: Недра, 1982.-211 с.
 3. Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1980. - 415 с.
 4. Маляров, П. В. К вопросу об оценке эффективности процесса измельчения руд и распределения потребляемой энергии между стадиями / П. В. Маляров, В. Ф. Степурин, Г. М. Солдатов, Н. Д. Конник // Обогащение руд. 2006. № 2. С. 3–6.
 5. Серго Е.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых., Высшее образование, Москва "Недра", 1985, СПГИ(ТУ), для специальностей обогащение полезных ископаемых, 282 стр., книга.
 6. Ревнивцев Р.И. Селективное разрушение минералов /Ревнивцев В.И., Талонов Г.В., Зарогатский Л.П. и др./ Под ред. Ревнивцева В.И. М.: Недра, 1988.-286 с. 73.
 7. Karmazin V.V. Bikbov M.A., Bikbov A.A., An approach to energy saving technology of beneficiation of iron ore. MES, V.3, OPA, 2002. -P. 257
 8. Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П. Новое оборудование для дробления и измельчения материалов. // Горный журнал. - 2000. - №3. - с. 49-52.
 9. Баранов В.Ф. Диаметр барабана и производительность мельниц. // Цветные металлы. - 1978. - № 10. - с. 107-109.
 10. Андреев С.Е. О внутреннем трении в шаровой мельнице. //Горный журнал. - 1961. - № 2. - с. 62-68.
 11. Андреев С.Е., Товаров В.В., Перов В.А. Закономерности измельчения и исчисления характеристик гранулометрического состава. - М.: Металлургиздат, 1959.- 437 с.
 12. Кузнецов Г.В., Куваев Г.Н., Куваев Я.Г. Энергосберегающее управление процессом измельчения руды на основе компьютерной стохастической модели. // Материалы международной конференции «Форум горняков 2005» // том 3. – Д.: НГУ, 2005
- Рукопис подано до редакції 18.04.15

УДК 622.026: 622.271.33

М.В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц., В.В. КАПУСТА, аспірант,
А.А. СЕРГЄЄВА, асистент, Криворізький національний університет»

ГЕОФІЗИЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА СТІЙКІСТЮ ГІРСЬКИХ ПОРІД НА КАР'ЄРІ № 1 ПАТ «ЦГЗК»

Розглянуто питання пов'язані зі стійкістю гірських порід при комбінованій розробці родовищ, покладів, рудних тіл або дільниці корисних копалин та вибір натурних спостережень. Умовами застосування комбінованих способів розробки є забезпечення безпеки ведення відкритих гірничих робіт в зоні впливу підземних розробок. Використання для цих цілей геофізичних методів спостереження дозволяє оперативнo, при менших затратах часу і коштів, з досить великою повнотою охарактеризувати процес зсуву порід в гірському масиві, а також попередити раптовість виникнення воронки на земній поверхні. Вимірjовальні системи для просторового визначення стійкості гірського масиву, місцезнаходження і спостереження при підземному способі видобування корисних копалин з родовища, покладу, рудного тіла або дільниці корисних копалин та маркшейдерського забезпечення визначення і зйомки доступних і недоступних гірничих пустот. Виконання методик спостережень значним чином зменшує вплив інструментальних похибок на точність результатів повторного нівелювання. Одним із основних джерел похибок, що впливають на результати спостережень, є стійкість геодезичних знаків та екзогенних процесів. Виходячи з поставлених завдань було проведено резонансно акустичне профілювання на кар'єрі № 1 ПАТ «ЦГЗК». Вимірювання виконувалися по

серії профілів, з кроком між точками спостережень 25 м дозволило вивчити різні фізико-механічні властивості гірських порід, проаналізувати мінливість напружено-деформованого стану гірського масиву.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Умовами застосування комбінованих способів розробки родовищ, покладів, рудних тіл або дільниці корисних копалин є забезпечення безпеки ведення відкритих гірничих робіт в зоні впливу підземних розробок. Для діючих забоїв кар'єру, працюючих гірничотранспортних приладів та персоналу представляє безпеку, головним чином, раптові обвалення порід з утворенням у кар'єрі воронок і провалів. Для рейкового транспорту та бортів кар'єру, які мають недостатній запас стійкості, можуть представляти безпеку зсуви гірських порід, які проявляються в інших формах. На міцність та стійкість гірських порід має значний вплив ведення технології гірничих робіт особливо в тому випадку, коли збільшується глибина підземних і відкритих робіт при їх поєднанні. В цьому випадку ускладнюються закономірності переміщень і деформації порід, що покривають товщу, методика спостережень за процесом їх зсуву і локального обвалення. Виконання маркшейдерсько-геодезичних спостережень у цих умовах висуває особливі вимоги до стійкості земної поверхні в зонах, де закладаються репери, котрі є вихідними (початковими) пунктами при виконанні робіт по спостереженню за зсувом порід гірського масиву. Використання для цих цілей геофізичних методів спостереження дозволяє оперативно, при менших затратах часу і коштів, з досить великою повнотою охарактеризувати процес зсуву порід в гірському масиві, а також попередити раптовість виникнення воронок на земній поверхні.

Аналіз досліджень і публікацій. Стійкість гірського масиву залежить від фізико-механічних властивостей гірських порід, форми та розмірів виробленого простору, гідрогеологічних властивостей, ведення технології гірничих робіт та інше. Фізико-механічні властивості гірських порід є основним фактором який визначає міцність та стійкість гірських порід, а також напружений стан гірського масиву від впливу гравітаційних та інших сил, критичних напружень, при яких здійснюється руйнування порід. Вимірювальні системи для просторового визначення стійкості гірського масиву, місцезнаходження і спостереження при підземному способі видобування корисних копалин з родовища, покладу, рудного тіла або дільниці та маркшейдерського забезпечення визначення і зйомки доступних і недоступних гірничих пустот розглянуто в [1-3]. За основу розроблення таких систем взято вивчення процесу формування виробленого простору з урахуванням фізико-механічних властивостей гірських порід під впливом підповерхового способу проведення гірничих робіт для гірничо-геологічних умов Кривбасу [12-14]. Вибрано оптимальні варіанти для визначення стану гірського масиву на основі спектрально-сейсмічного профілювання гірського масиву.

Постановка завдання. Швидкість розповсюдження акустичних хвиль зростає із збільшенням вмісту твердих компонентів в породі. По мінливості швидкості можна судити і про мінливість міцності гірського масиву [8-11]. Хвилі, що розповсюджуються через гірську породу, несуть з собою певну енергію. Розповсюдження через середовище інтенсивність пучка зменшується в результаті поглинання по експоненті і по ступеню ослаблення інтенсивності пучка можна судити про мінливість міцності породи. Поперечний перетин рудного тіла обмежений, тому, вимірявши часовий інтервал між приходом прямої хвилі і відбитою на межі розділу середовищ з різною міцністю визначається швидкість розповсюдження сейсмічної хвилі. Коливальний процес спектрально пов'язаний з розмірами досліджуваного об'єкту і може використовуватися при визначенні геологічної будови масиву гірських порід. Врахування цього є метою даної роботи - розглянути будову апаратури, вивчити програму спектрального перетворення сигналу та проаналізувати види та вибір натурних спостережень за стійкістю гірських порід при комбінованій розробці залізорудних покладів [1-3].

Викладення матеріалу та результати. Забезпечення стійкості гірського масиву в бортах кар'єру є важливою умовою при комбінованій розробці залізорудних покладів. Одним з важливих питань є визначення ступеню мінливості напружено-деформованого стану гірського масиву по контурам кар'єру та виробленого простору. Одним із основних завдань є вивчення процесу переміщення та деформацій земної поверхні і всієї товщі гірських порід для встановлення заходів охорони земної поверхні та інженерних споруд від шкідливого впливу підземних та відкритих робіт. Основним методом дослідження стану земної поверхні є регулярні маркшейдерські інструментальні спостереження, на основі яких роблять висновки про характер зсуву гірських

порід у різних гірничо-геологічних умовах. Отримані результати спостережень у сукупності з геологічними даними гірських порід є основою для аналізу і вивчення впливу на процес переміщення та деформацій гірських порід. Методи маркшейдерських натурних спостережень дозволяють вирішувати слідуючі завдання: фіксацію прояву порушень стійкості гірничих вироблень в конкретних гірничо-геологічних умовах кар'єру і встановлення геометричних елементів цих порушень для послідуочого обґрунтування причин деформацій та схему розрахунку; отримання інформації про переміщення та деформації; обґрунтування кінематичної схеми розвитку деформації в часі і простору; визначення фактичних контурів непорушених укосів уступів і відвалів при роботі різних машин та агрегатів [1]. Зокрема, фіксуються слідуючі данні про геометричні розміри деформацій: довжина по фронту; кут укосу до і після деформації; висота уступу (борту); ширина захвату; ширина розповсюдження; зсуви верхньої площадки; висота вертикального відриву; довжина видимої поверхні руйнування; кут нахилу до горизонту видимої частини поверхні руйнування; кут відхилення поверхні по укосу від 90° (орієнтування деформації по відношенню до верхньої бровки); порода, по якій проходить поверхня руйнування; характер поверхні руйнування.

Одним із основних і важливих параметрів зсуву гірських порід є вертикальні деформації (осідання та підняття), по яким розраховуються всі інші величини зсуву та деформацій. Достовірність визначення вертикальних деформацій, при рішенні визначених завдань, обумовлюється точністю результатів повторного геометричного нівелювання, яка залежить передусім від стійкості закладених реперів та інструментальних похибок. Виконання методик спостережень значним чином зменшує вплив інструментальних похибок на точність результатів повторного нівелювання. Одним із основних джерел похибок, що впливають на результати спостережень, є стійкість геодезичних знаків та екзогенних процесів. Виконання повторного геометричного нівелювання в умовах, де можливі техногенні впливи, ставлять питання про усунення їх впливу на стійкість реперів. Особливо актуальне це питання для кар'єру № 1 ПАТ «ЦГЗКа», який інтенсивно веде гірничі роботи в умовах підробки його підземними гірничими виробками. Зараз багато уваги приділяється вивченню зв'язку різних фізичних явищ зі зміною напружено-деформованого стану порід гірського масиву. В основу цього лежать магнітні, акустичні, радіохвильові, електричні, гравітаційні явища. Спосіб виконання буро вибухових робіт при відкритій розробці корисних копалин є найбільш суттєвим чинником, що впливає на порушення міцності порід за проектним контуром уступів. При миттєвому підриванні великого числа колонкових зарядів в вертикальних свердловинах великого діаметру зона часткового дрібнення гірських порід поширюється на 8-10 м за зону повного подрібнення, породи із якої видаляються екскаватором. Після виїмки екскаватором розпушеної підірваної маси в уступах залишаються породи міцність яких значно менша природній міцності масиву і уступи не мають постійного кута нахилу, а берми не мають постійної ширини.

При масових вибухах високих та крутих укосів під впливом сейсмічних коливань змінюється напружений склад масиву, що зменшує сили зчеплення по найбільш слабкій поверхні та при невеликому запасі стійкості може привести до раптового обвалення борту кар'єру. Сейсмічний ефект можливо зменшити використанням короткоуповільненого підривання при підході уступів до граничного положення, починаючи з довжини 30-50 м. Найбільш ефективним засобом зниження подрібнення порід за граничним контуром та сейсмічної дії вибуху є контурне підривання. При підриванні свердловин зменшеного діаметру с кутом нахилу $60-70^\circ$ різко зменшується розміри зони деформації. Це особливо важливо для глибоких кар'єрів з довгим терміном дії виробок. Аналіз впливу мінливості кута укосу уступу на генеральний кут нахилу борту показує, що при збільшенні кутів укосів уступів на $5-10^\circ$ кут нахилу борту збільшується на $4-8^\circ$, при цьому зменшується об'єм розкривних порід [2]. Окрім того, сейсмічний метод вельми ефективний при вивченні сейсмічного впливу вибухів на стійкість поверхневих споруд і підземних гірничих виробок, але використання його для вивчення процесів зсуву гірських порід і контролю за розвитком локальних обвалів в умовах спільного відпрацювання скрутне в зв'язку з тим, що сейсмічні прийоми і комутаційні дроти повинні розташуватися в цьому випадку безпосередньо в зоні ведення гірничих робіт.

Найбільший інтерес для маркшейдерії представляє можливість ультразвукового методу при вивченні тріщинуватості гірських порід, яка є однією з найбільш важливих гірничо-технологічних характеристик порід масиву, що розробляється [3]. Розрахунки, які пов'язані при

підземній розробці зі стійкістю камер, при відкритій - зі стійкістю уступів і бортів кар'єру, проводяться з урахуванням показників тріщинуватості породного масиву.

В більшості випадків гірські породи володіють радіоактивністю, що визначається присутністю урану і торію з продуктами їх розпаду або радіоактивного ізотопу калію. Вимірюючи інтенсивність штучно викликаного випромінювання, визначаємо властивості гірських порід, їх склад, порушення та вирішуємо цілий ряд гірничотехнічних і маркшейдерських завдань, що пов'язанні з визначенням щільності [4].

В реальній обстановці на результати геофізичних спостережень впливає маса чинників, що заважають: неоднорідність фізичних властивостей і неправильна форма аномальних об'єктів, рельєф місцевості, промислові перешкоди, незакономірний (випадкове) розташування пунктів спостереження по відношенню до шуканим аномалій і т. д. Тому рішення різноманітних геологічних завдань вимагає використання всього арсеналу геофізичних методів, що досягається їх раціональним спільним використанням або комплексуванням. Завданням комплексування є вибір найбільш обґрунтованих шляхів вирішення конкретних завдань в мінімально короткий термін і з найменшими витратами (при забезпеченні заданої точності та створенні певної системи надійності).

У натурному експерименті сейсмометрична апаратура розміщувалася на горизонті мінус 1180 м на відстані 28 м від чотирьох вибухових накладних зарядів по 750 г вибухової речовини кожен. Час затримки вибухів один від одного складав 0,1-0,5 с. Запуск осцилографа здійснювався від датчика вертикальних коливань. Поріг запуску-40 мВ по фронту наростаючого сигналу. Чутливість по вертикалі-200 мВ/поділку.

Отримано сейсмограми приведено на рис. 1-3. З осцилограм видно, що максимальна швидкість коливання породи виникла в районі відмітки 0,15 с. Час приходу максимальної по амплітуді хвилі дорівнював 152 мс. За даними промислових досліджень відмінність в приході поздовжньої хвилі (X) складало 8 мс, а поперечної (Y)-4 мс. Це підтвердило висновок про те, що по різниці швидкостей можна визначити пористість (міцність) гірської породи.

Порівнюючи форму сигналу з датчиків можна зробити висновок про наявність відбитих від межі розділу середовищ з міцністю $f=5-7$ (рудне тіло) і $f=8-12$ (граніт) сигналів, розділених 8 мс. При швидкості розповсюдження сейсмічної хвилі 4 км/с межа рудного тіла знаходиться на відстані 25 м від прямої, що сполучає епіцентр вибуху - точку спостереження (місце установки датчика поперечних хвиль) [11-13].

Виходячи з поставлених завдань було проведено резонансно акустичне профілювання на кар'єрі № 1 ПАТ «ЦГЗКа». Вимірювання виконувалися по серії профілів з кроком між точками спостережень 25 м. Для спостережень був обраний плоский датчик, який встановлювався на поверхню забитого в ґрунт металевого клапана і притискався акумулятором вагою 2 кг. Оскільки глибина досліджень за різними профілями становила до 1000 м, то для вимірювань були обрані частоти дискретизації 1028 Гц.

Довжина записуваного акустичного сигналу була обрана рівною 8192 відліків. Роздільна здатність методу при роботі з такими параметрами становить 22 м на глибині 1000 м. Верхня межа спостережень при таких параметрах зйомки складає близько 4,9 м.

Прокладка профілів спостережень, зняття координат і висот точок геофізичних спостережень виконувалося згідно умов.

При обробці отриманих даних в результати спостережень вводилася поправка за висоту точок спостережень. Поверхневі вимірювання проводилися в складних гірничих умовах кар'єру, де не припинявся виробничий процес.

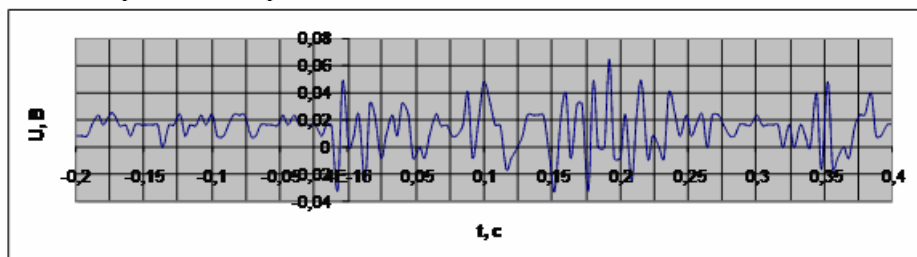


Рис. 1. Сейсмограма вертикальні Z-коливання

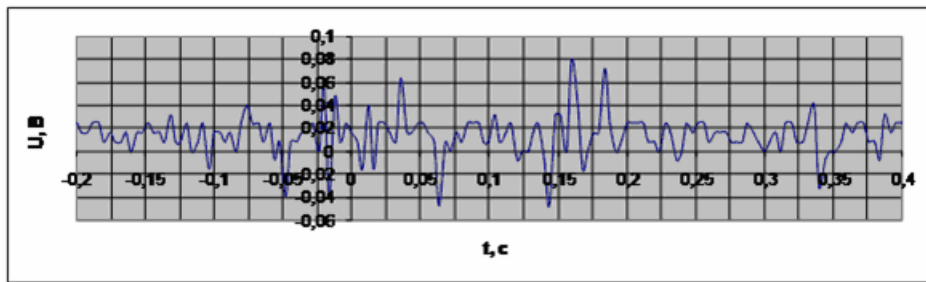


Рис. 2. Сейсмограма горизонтальні X-коливання

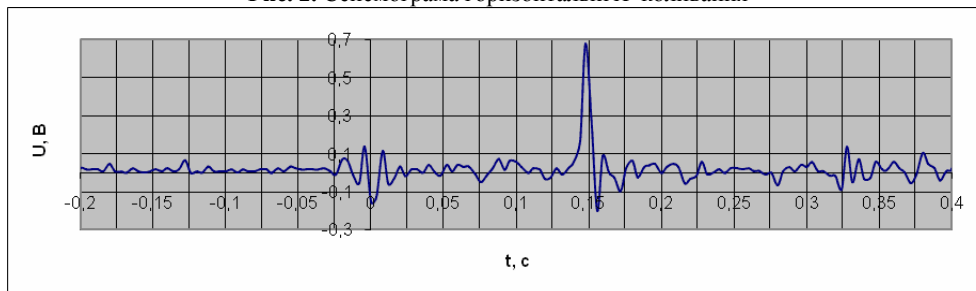


Рис. 3. Сейсмограма горизонтальні Y- коливання

Тому на тлі акустичного сигналу присутні частоти викликані працюючими механізмами, машинами, поривами вітру, електромагнітним полем електроліній. Ці фактори враховувалися при обробці первинного матеріалу і їх негативний вплив було зведено до мінімуму. Інтерпретація даних РАП проводилася на підставі аналізу акустичних аномалій і їх інтенсивності, що вказує на активність процесу.

Ділянки підвищеного розшарування порід, зон тріщинуватості, ділянки обводнення, зони тектонічних порушень виділено на геомеханічних РАП-перерізах за підвищеною насиченості та інтенсивності колірної гами. На рис. 4 показано основні типи аномалій, що виділяються методом РАП і пояснюють основні принципи їх інтерпретації.

Аномалії типу «1» - горизонтальні і субгоризонтальні поверхні ослабленого механічного контакту, відповідають кордонам літологічних різниць. Аномалії типу «2» - ділянки знижених значень амплітуд спектрів акустичних сигналів.

Найімовірніше - відповідають ділянкам сформованій структурою прошаруватості (пухкі, що перекривають відклади, зони вивітрювання порід і т. д.). Аномалії типу «3» - вертикальні і субвертикальні зони підвищення амплітуди спектрів акустичних сигналів.

Найбільш інтенсивні зони в геомеханічному перерізі відповідають зонам підвищеної тріщинуватості і розшарування порід перерізу, можливо - обводнені.

Найімовірніше - відповідають зонам тектонічних порушень. Аномалії типу «4» - високо інтенсивні аномалії спектра в більш глибинних частинах перерізу відповідають зонам підвищеного розшарування і тріщинуватості порід, найімовірніше - обводненими.

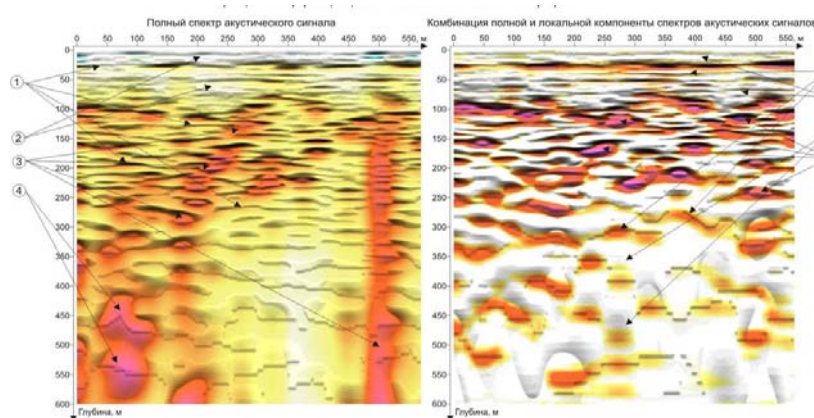


Рис. 4. Типи аномалій, що виділяються методом резонансно-акустичного профілювання

Іноді буває корисним проводити окрему інтерпретацію результатів обчислення повної та локальної компонент спектра акустичних сигналів, так як локальна складова більш детально виділяє характеристики розшарування геомеханічного перерізу.

Інтерпретація отрима-

них результатів резонансно-акустичного профілювання (РАП) проводиться у відповідності з основними принципами інтерпретації: зони ослабленого механічного контакту порід в методі РАП відповідають підвищеним значенням спектрів акустичних сигналів; підвищені значення спектрів акустичних сигналів відображаються більш інтенсивною кольоровою гамою; чим нижче механічна міцність виділяються поверхонь ослабленого механічного контакту, тим більш інтенсивним кольором вони відображаються на кольорових геомеханічних РАП - перерізах. Кольоровий переріз за профілем № 7 представлено на рис. 5.

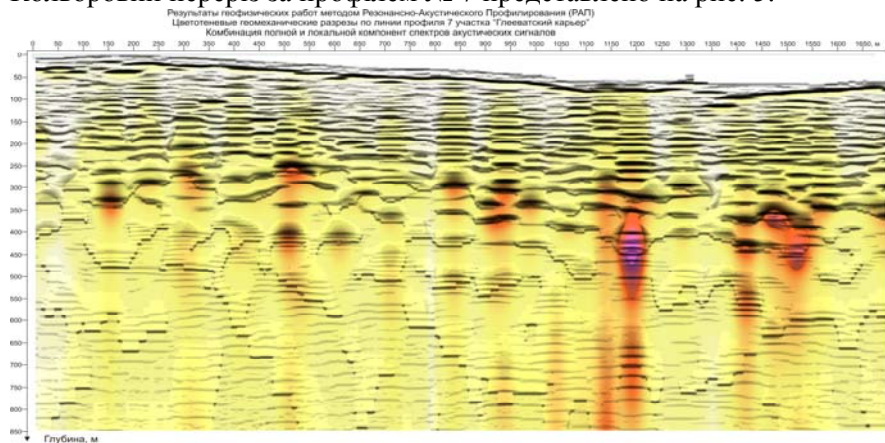


Рис. 5. Кольорово-тінюві геомеханічні перерізи по лінії профілю № 7 ділянки кар'єру

Виходячи з принципів тлумачення аномалій РАП, в геомеханічних перерізах переважають аномалії 3-го типу, яким відповідають вертикальні і суб-вертикальні зони підвищення амплітуди спектрів акустичних сигналів.

Найбільш інтенсивні зони в геомеханічному перерізі відповідають зонам підвищеної тріщинуватості і розшарування порід перерізу, можливо обводнення і ймовірно відповідають зонам тектонічних порушень.

В результаті проведених робіт були виявлені два типи аномальних зон: зона активних при поверхневих розуплотнень з підвищеними значеннями резонансного сигналу на глибині до 200 м; зона підвищеної тріщинуватості і зсування з активним розуцільненням на глибині більше 200 м.

Аномальні зони першого типу становлять найбільшу небезпеку у зв'язку з можливим виходом воронки обвалення.

У східному борту кар'єра виділяється 4 таких аномалії.

Перша знаходиться в зоні впливу підземних виробок шахти «Більшовик» маркшейдерські осі 60-100 південніше існуючої воронки обвалення.

Обмежена зонами впливу двох розломів складної конфігурації. Південь зони розташований на кордоні цілику - вироблений простір, північ спирається на проекцію зони розлому, що перетинає вироблення на глибині 500 м.

Ділянка примикає до вирви обвалення відзначається підвищеною тріщинуватістю і процесами зсування. Між розломами вироблення дворівневі з великою потужністю відпрацьованих камер (до 100 м).

Висновок та напрямок подальших досліджень. Отже, використання різних геофізичних методів спостереження дозволяє вивчити різні фізико-механічні властивості гірських порід, проаналізувати мінливість напружено-деформованого стану гірського масиву від впливу гравітаційних та інших сил, критичних напружень, при яких здійснюється руйнування порід.

Кожен з цих методів має свою область застосування, апаратурну особливість, точність вимірювання інформаційних параметрів, але використання геофізичних методів спостереження у сукупності з традиційними маркшейдерсько-геодезичними спостереженнями дозволяє забезпе-

чити ефективно та безпечно використання різних способів та систем розробок корисних копалин.

Список літератури

1. **Бердичевский Н.П., Кобзова В.М., Билинский А.И.** Физическое моделирование в геоэлектрике. Киев; «Наукова думка», 1987.
2. **Демин А.М.** Закономерности появления деформаций откосов в карьерах. М.; «Наука», 1981 -144 с.
3. **Здешиц В.М., Сидоренко В.Д.** Сучасна техніка виявлення підземних порожнеч / Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг: КТУ. - Вип. 29, 2011. - С. 59-64.
4. **Здешиц В.М.** Виявлення підземних порожнеч в гірському масиві методом спектрального сейсмічного профілювання / **В.М. Здешиц, В.Д. Сидоренко** // Гірничий вісник. - 2013. - Кривий Ріг - Вип. 96. - С. 93-97.
5. Инструкция по наблюдениям за движением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений. / М-во. цвет. мет. СССР. Горное управление: Введена 03.07.86. - Разработана ВНИМИ, ВНИПИГорцвет. - М.: Недра, 1988. - 112 с.
6. Инструкция по производству маркшейдерских работ. - М.: Недра, 1987. - 240 с.
7. **Монахов А.В., Сазонов А.В., Шолох Н.В., Яковенко А.Л.** Развитие процесса сдвижения при отработке слепых рудных залежей в Криворожском бассейне // Вісник Криворізького технічного університету. - 2011. - Кривий Ріг - Вип. 29. - С. 82-87.
8. Направления дополнительного совершенствования маркшейдерского обслуживания разрезов с применением микрокомпьютеров / **М. Маждраков, Г. Трапов, Т. Трендафилов** и др. // Сб. Прогноз и принципы создания АСУ, - София: Шахты, 1985.
9. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных работ в Криворожском железорудном бассейне. Ленинград: ВНИМИ, 1975. - 68 с.
10. **Сазонов В.А., Сосик Д.И.** Геофизика в маркшейдерском деле. М.; «Недра», 1989 - 120 с.
11. **Сидоренко В.Д., Федоренко П.Й., Шолох М.В.** Автоматизація маркшейдерських робіт: Навчальний посібник. -2-е вид., перероб. і доп. Кривий Ріг: Мінерал, 2006. - 344 с.
12. **Сидоренко В.Д., Шолох Н.В.** Использование GPS-аппаратуры для наблюдений за сдвижением горных пород и земной поверхности в Кривбассе / Збірник доповідей науково-технічної конференції «Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості» 18-22 травня 2004 р., том 1, Кривий Ріг, КТУ, 2004, С. 97-100.
13. **Стрельцов В.И., Могильный С.Г.** Маркшейдерское обеспечение природопользования. - М.: Недра, 1989.
14. **Шолох М.В.** Дослідження впливу близьких до поверхні пустот на експлуатацію залізрудних родовищ Кривбасу / М.В. Шолох, К.С. Єлезов // Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг, 2011. - Вип. 28. - С. 39-43.
15. **Baranowski M.** Zastosowanie fotogrametrii w miernictwie podziemnym / **M. Baranowski** // Prz. gorniczy. - 1974. - Vol. 30. - № 11. - P. 571-577.
16. **Herzinger C.M.** Ellipsometric determination of optical constants / C. M. Herzinger, B. Johs, McGahan and J. A. Woollan. - 1995. - 123 p.
17. Deeper open pits // International Mining. - № 10. - 2009. - P. 52-55.
18. New issues in PC graphics Mc Nierney E. D. "Dr. Dobb's J." 1986, 11, № 11, 30-32, 35-36, 38.
19. **Sloan S.** A fast algorithm for constructing Debaunay triangulation in the plane.- In: Adv. Eng. Software, Vol. 9, № 1, 1987, P. 34-55.

Рукопис подано до редакції 18.04.15

АНОТАЦІЇ

УДК 531.53 (076.5), 622.271.012.3

Здешиц В.М., Сидоренко В.Д., Повар С.В., Глебенко В.В. Волоконно-оптический сейсмограф с магнитной подвеской чувствительного элемента

Разработан чувствительный волоконно-оптический сейсмограф на магнитной подвеске инерционной массы, которая размещается в области пересечения противоположно направленных силовых линий магнитного поля кольцевого магнита. Конструкция обеспечивает условия для равновесия чувствительного элемента сейсмического датчика без контакта с его корпусом и демпфирования при возникновении сейсмических колебаний. Основное назначение разработанного сейсмографа – дистанционное измерение микросмещений контролируемой поверхности и решения, таким образом, задачи регистрации микросейсмических колебаний. Помехоустойчивость к электромагнитным наводкам, устойчивость к радиационному излучению является достоинством разработанного волоконно-оптического сейсмографа. Это позволяет устанавливать его при необходимости в непосредственной близости от ядерной реакторной установки, а также в хранилищах радиоактивных и токсичных отходов. Волоконно-оптическая система передачи позволяет без ретрансляции доставлять аналоговую информацию на десятки километров без искажения. В работе приводится экспериментально определенная аналитическая зависимость между мощностью измеряемого отраженного светового потока и величиной смещения породы. Показано, что перпендикулярные измеряемому направлению колебания не вносят дополнительную погрешность в результаты измерений. В работе приведены также результаты метрологических испытаний опытного образца сейсмографа.

Ключевые слова: сейсмоприемник, волоконно-оптический сейсмограф, магнитная подвеска, микросейсмические волны, амплитудно-частотные характеристики.

Здешиц В.М., Сидоренко В.Д., Повар С.В., Глебенко В.В. Волоконно-оптический сейсмограф с магнитной подвеской чувствительного элемента

Розроблено чутливий волоконно-оптичний сейсмограф на магнітній підвісці інерційної маси, яка розміщується в області перетину протилежно спрямованих силових ліній магнітного поля кільцевого магніту. Конструкція забезпечує умови для рівноваги чутливого елемента сейсмічного датчика без контакту з його корпусом і демпфірування при виникненні сейсмічних коливань. Основне призначення розробленого сейсмографа - дистанційне вимірювання микросмещень контрольованої поверхні і розв'язання, таким чином, завдання реєстрації микросейсмічних коливань. Перешкодостійкість до електромагнітних наведень, стійкість до радіаційного випромінювання є гідністю розробленого волоконно-оптичного сейсмографа. Це дозволяє встановлювати його при необхідності в безпосередній близькості від ядерної реакторної установки, а також у сховищах радіоактивних та токсичних відходів. Волоконно-оптична система передачі дозволяє без ретрансляції доставляти аналогову інформацію на десятки кілометрів без спотворення. У роботі наводиться експериментально певна аналітична залежність між потужністю вимірюваного відбитого світлового потоку і величиною зміщення породи. Показано, що коливання, що перпендикулярні до напрямку вимірювань, не вносять додаткову похибку в результати вимірювань. У роботі наведені також результати метрологічних випробувань дослідного зразка сейсмографа.

Ключові слова: сейсмоприймач, волоконно-оптичний сейсмограф, магнітна підвіска, микросейсми, пружні хвилі, амплітудно-частотні характеристики.

Zdeshits V.M., Sidorenko V.D., Povar S.V., Glebenko V.V. Fiber optic seismograph with magnetic suspension of sensitive element

Developed sensitive fiber optic seismograph maglev inertial mass, which is located at the intersection of oppositely directed magnetic field lines of the ring magnet. The design provides the conditions for the equilibrium of the sensitive element of the seismic sensor without contact with his body and damping in the event of seismic vibrations. The main purpose developed a seismograph - remote measurement microdisplacements test surface and solutions, thus the problem of registration of microseismic oscillations. Immunity to electromagnetic interference, resistance to radiation exposure is an advantage of the developed fiber optic seismograph. This makes it possible to install it, if necessary in the immediate vicinity of the nuclear reactor plant, and in the storage of radioactive and toxic waste. Fiber-optic transmission system allows to deliver retransmission without analog information for dozens of kilometers without distortion. The paper presents the experimentally determined relationship between the analytical capacity of the measured reflected light flux and the magnitude of the displacement of the breed. It is shown that the direction perpendicular to the measured fluctuations do not contribute additional uncertainty in the measurement results. The paper presents the results of metrological tests of the prototype of a seismograph.

Keywords: geophone, fiber optic seismograph, magnetic suspension, microseisms elastic wave-us, amplitude-frequency characteristics.

УДК 622.271.33

Близиюков В.Г., Баранов И.В., Луценко С.А. . Совершенствование методов определения границ карьеров

В статье рассматривается вопрос определения конечных контуров карьеров. Описана одна из проблем разработки железорудных месторождений на современном этапе развития открытых горных работ, которая заключается в том, что на большинстве карьеров их рабочие контуры по поверхности достигли проектных отметок. В этих условиях необходима переоценка возможностей сырьевой базы для дальнейшей работы горных предприятий. Выполнен анализ научных достижений в решении вопроса определения конечных контуров карьеров. Приведен общеизвестный принцип определения границ открытых горных работ, сущность которого заключается в определении границ на основе сравнение допустимой себестоимости добычи руды с ожидаемой по проектируемому карьере. На примере карьеров, которые отражают характерные особенности разработки крутопадающих месторождений Украины, продемонстрировано влияние текущих коэффициентов вскрыши действующих карьеров на граничный коэффициент вскрыши, который служит главным критерием при определении границ открытых горных работ для проектируемых

карьеров. Разработана методика определения границ карьеров, которая предусматривает применения граничного коэффициента вскрыши как величины не постоянной, а изменяющейся во времени, и такой, которая зависит от изменения текущих коэффициентов вскрыши на карьерах-конкурентах. В результате усовершенствована теория в области определения конечных контуров карьеров. Новая методика отличается от известных учетом изменения граничного коэффициента вскрыши во времени, а также определением влияния технологических показателей карьеров-конкурентов на конечную глубину проектируемого карьера.

Ключевые слова: карьер, конечный контур, коэффициенты вскрыши, руда, вскрышные породы

Блізнюков В.Г., Баранов І.В., Луценко С.О. Удосконалення методів визначення границь кар'єрів

У статті розглядається питання визначення кінцевих контурів кар'єрів. Описано одна із проблем розробки залізородних родовищ на сучасному етапі розвитку відкритих гірничих робіт, яка полягає в тому, що на більшості кар'єрів їх робочі контури по поверхні досягли проектних відміток. У цих умовах необхідна переоцінка можливостей сировинної бази для подальшої роботи гірничих підприємств. Виконаний аналіз наукових досягнень у розв'язанні питання визначення кінцевих контурів кар'єрів. Наведений загальновідомий принцип визначення границь відкритих гірничих робіт, сутність якого полягає у визначенні границь на основі порівняння припустимої собівартості видобутку руди з очікуваною по кар'єру, який проектується. На прикладі кар'єрів, які відображають характерні риси розробки крутоспадних родовищ України, продемонстровано вплив поточних коефіцієнтів розкриття діючих кар'єрів на граничний коефіцієнт розкриття, який служить головним критерієм при визначенні границь відкритих гірничих робіт для кар'єрів, які проектуються. Розроблена методика визначення границь кар'єрів, яка передбачає застосування граничного коефіцієнта розкриття як величини не постійної, а мінливої в часі, і такої, яка залежить від зміни поточних коефіцієнтів розкриття на кар'єрах-конкурентах. У результаті вдосконалена теорія в області визначення кінцевих контурів кар'єрів. Нова методика відрізняється від відомих урахуванням зміни граничного коефіцієнта розкриття в часі, а також визначенням впливу технологічних показників кар'єрів-конкурентів на кінцеву глибину кар'єру, який проектується.

Ключові слова: кар'єр, кінцевий контур, коефіцієнти розкриття, руда, розкриттні породи

Bliznyukov V.G., Baranov I.V. . S.A. Lutsenko. . Совершенствование методов определения границ карьеров

The article examines the issue of determining the end boundaries of opencast mines. It describes one of the problems of development of iron ore deposits at the current state of development of opencast mining, which is the fact that the surface lineaments of most opencast mines have reached their final grades. In these conditions, it is necessary to reevaluate the resources of supply of raw materials in order to ensure the further operation of mining plants. The article analyses the scientific achievements in the field of determining the end boundaries of opencast mines. It cites the commonly known method of determining the boundaries of opencast mining, the essence of which is determining the boundaries based on comparison of the acceptable final cost of ore extraction with the expected final cost in the projected opencast mine. By the example of opencast mines, which reflect the unique features of developing steep deposits of Ukraine, the article demonstrates the influence of current stripping ratios of operating opencast mines on economic stripping ratio, which is the primary factor in determining the boundaries of opencast mining for the projected opencast mines. The developed method of determining the boundaries of opencast mines specifies the application of economic stripping ratio as an inconsistent value that changes through time and depends on the changes of current stripping ratios at the rival opencast mines. As a result, the theory in the area of determining end boundaries of opencast mines was enhanced. The new method differs from the existing ones by the accounting of change of economic stripping ratio through time, as well as the determining of influence of technological factors of rival opencast mines on the end depth of the projected opencast mine.

Key words: opencast mine, end boundaries, stripping ratios, ore, overburden.

УДК 622.273: 65.011.12

Голик В.И., Комащенко В.И., Моркун В.С. Современные способы эффективного подземного выщелачивания металлов

Приведены краткие сведения о теории выщелачивания металлов из руд. Охарактеризованы способы повышения активности минералов, в том числе механоактивацией. На примере промышленного использования технологий на предприятиях России и Казахстана систематизированы и приведены результаты вариантов технологий. Сделан вывод о технологической возможности и экологической целесообразности целесобразности выщелачивания металлов с ликвидацией хранилищ на земной поверхности. Приведены краткие сведения о теории выщелачивания металлов из руд. Охарактеризованы способы повышения активности минералов, в том числе механоактивацией. Сформулировано направление экологизации горного производства путем минимизации объема извлекаемых из недр на земную поверхность минеральных ресурсов. Определено, что отходы добычи, обогащения и выщелачивания металлических руд могут быть использованы при управлении массивом с закладкой пустот твердеющими смесями, изготовленными из продуктов переработки хвостов обогащения и с использованием массивов из хвостов подземного выщелачивания металлов, которые под влиянием химических процессов приобретают прочность. Сформулированы задачи развития механохимической технологии и указаны защищенные патентами направления решения проблемы.

Ключевые слова: железные руды, металлы, кристаллы, разрушение, обогащение, механоактивация, минеральное сырье, технология добычи, твердеющая закладка, прибыль, технология разработки, извлечение металлов, выщелачивающий раствор, дезинтеграция, механохимия.

Голик В. И., Комащенко В. И., Моркун В. С. Сучасні способи ефективного підземного вилугування металів

Приведені короткі відомості про теорію вилугування металів з руд. Охарактеризовані способи підвищення активності мінералів, у тому числі механоактивацией. На прикладі промислового використання технологій на підприємствах Росії і Казахстану систематизовані і приведені результати варіантів технологій. Зроблений висновок про технологічну можливість і екологічну доцільність вилугування металів з ліквідацією сховищ на земній поверхні. Приведені короткі відомості про теорію вилугування металів з руд. Охарактеризовані способи підвищення активності мінералів, у тому числі механоактивацией. Сформульований напрям екологізації гірського виробництва шляхом мінімізації об'єму витягуваних з надр на земну поверхню мінеральних ресурсів. Визначено, що

відходи здобичі, збагачення і вилуговування металевих руд можуть бути використані при управлінні масивом із закладкою порожнеч тверднучими сумішами, виготовленими з продуктів переробки хвостів збагачення і з використанням масивів з хвостів підземного вилуговування металів, які під вплив хімічних процесів придбавають міцність. Сформульовані завдання розвитку механохімічної технології і вказані захищені патентами напрями вирішення проблеми.

Ключові слова: залізна руда, метали, кристали, руйнування, збагачення, механоактивація, мінеральна сировина, технологія видобутку, тверднуча закладка, прибуток, технологія розробки, вилучення металів, вилуговуючий розчин, дезинтеграція, механохімія.

Golik Vladimir, Komashchenko Vitaly, Morkun Vladimir The modern methods of the effective underground lixiviating of metals

Short data on the theory of leaching of metals from ores are provided. Ways of increase of activity of minerals, including mechanoactivation are characterized. On the example of industrial use of technologies results of options of technologies are systematized and given in the enterprises of Russia and Kazakhstan. The conclusion is drawn on a technological capability and ecological expediency of leaching of metals with liquidation of storages on a terrestrial surface. Short data on the theory of leaching of metals from ores are provided. Ways of increase of activity of minerals, including mechanoactivation are characterized. The direction ekologisation mountain manufacture by minimization of volume taken of bowels on a terrestrial surface of mineral resources is formulated. It is defined that a waste of extraction, enrichment and lye of Metal of the ores can be used at management of a file with a bookmark of emptiness the hardening mixes made of products of processing of tails of enrichment and with use from tails underground lixiviating of metals which under influence of chemical processes get durability. Problems of development of mechanochemical technology are formulated and the directions of a solution protected by patents are specified.

Keywords: iron ores, metals, crystals, destruction, enrichment, mechanoactivation, mineral raw materials, technology of production, the hardening bookmark, profit, technology of development, extraction of metals, the leach solution, disintegration, mechanochemistry.

УДК 622.27

Костянский А. Н., Яценко Б.Е. Прогнозирование коэффициента вскрыши как показателя для определения глубины карьера с учетом затрат на энергоносители

Основной задачей при проектировании открытых горных работ является определение конечных контуров карьера. Для карьеров разрабатывающих наклонные и крутопадающие залежи последовательно по глубине открытым и подземным способом границы определяют как границу перехода от открытых к подземным горным работам. Как известно, особенностью эксплуатации глубоких карьеров является то, что при доставке горной массы значительная доля затрат приходится на энергоносители. Производственные затраты, которые включают энергоносители влияют на себестоимость как руды, так и товарной продукции комбината. Пределом возможного удорожания себестоимости руды служит максимальный эксплуатационный коэффициент вскрыши. Для изучения влияния энергозатрат через себестоимость на коэффициент вскрыши получена зависимость изменения стоимости энергоносителей для конкретных условий по фактическим данным за рассмотренный период для условий СевГОКа, что позволило ориентировочно прогнозировать затраты на энергоносители. По величине максимального эксплуатационного коэффициента вскрыши, при определении которого учтены затраты на энергоносители, устанавливается глубина карьера для определения его параметров. При этом на основании геологических данных о разведанности определяют возможную ошибку - риск, как опасность невыполнения утвержденных решений, уровень которого оценивают и затем корректируют расчетное значение максимального эксплуатационного коэффициента вскрыши. Приведенные зависимости могут найти применение для обоснования глубины карьера при его реконструкции.

Ключевые слова: карьер, эксплуатационный коэффициент вскрыши, энергоносители

Костянский О. М., Яценко Б.Е. Прогнозування коефіцієнта розкриву як показника для визначення глибини кар'єру з урахуванням витрат на енергоносії

Основним завданням при проектуванні відкритих гірських робіт є визначення кінцевих контурів кар'єру. Для кар'єрів розробляючих похилі і крутопадаючі поклади послідовно по глибині відкритим і підземним способом межі визначають як межу переходу від відкритих до підземних гірських робіт. Як відомо, особливістю експлуатації глибоких кар'єрів є те, що при доставці гірської маси значна доля витрат доводиться на енергоносії. Виробничі витрати, які включають енергоносії впливають на собівартість як руди, так і товарної продукції комбінату. Межею можливого дорожчання собівартості руди служить максимальний експлуатаційний коефіцієнт вскрыши. Для вивчення впливу енерговитрат через собівартість на коефіцієнт розкриву отримана залежність зміни вартості енергоносіїв для конкретних умов за фактичними даними за розглянутий період для умов СевГОКа, що дозволило орієнтовно прогнозувати витрати на енергоносії. За величиною максимального експлуатаційного коефіцієнта розкриву, при визначенні якого враховані витрати на енергоносії, встановлюється глибина кар'єру для визначення його параметрів. При цьому на підставі геологічних даних про розвідану визначають можливу помилку - ризик, як небезпека невиконання затверджених рішень, рівень якого оцінюють і потім коригують розрахункове значення максимального експлуатаційного коефіцієнта розкриву. Приведені залежності можуть знайти застосування для обґрунтування глибини кар'єру при його реконструкції.

Ключові слова: кар'єр, експлуатаційний коефіцієнт розкриву, енергоносії

Kostjanskiy A.N., Jachenko B.E. Prognostication of coefficient of stripping as an index for the depth-finding of quarry taking into account expenses on power mediums

A basic task at planning of open mountain works is determination of eventual contours of quarry. For the quarries of elaborative sloping and high-dipping beds consistently on a depth it is determined the open and underground method of border as a transition border from open to underground mountain works. As is generally known, the feature of exploitation of deep quarries is that at delivery of mountain mass a considerable proportion of expenses is on power mediums. Productive expenses,

which include power mediums influence on the prime price of both ore and commodity products of combine. The limit of possible rise in prices of prime price of ore the maximal operating coefficient of stripping serves as. For the study of influence of energy cost through a prime price on the coefficient of stripping dependence of change of cost of power mediums is got for concrete terms from actual data for considered period for the terms of СевГОКа, that allowed orientation to forecast expenses on power mediums. On the size of maximal operating coefficient of stripping, at determination of which expenses are taken into account on power mediums, the depth of quarry is set for determination of his parameters. Thus on the basis of geological data about found out determine possible error- risk, as danger of non-fulfillment of the ratified decisions, the level of which is estimated and then correct the calculation value of maximal operating coefficient of stripping. The brought dependences over can find application for the ground of depth of quarry at his reconstruction.

Keywords: quarry, operating coefficient of stripping, power mediums

УДК 62.83

Рыбальченко М.А., Головки В.И., Верховская А.А., Папанов Г.А. Моделирование векторного управления асинхронным электродвигателем затвора весовой воронки системы шихтоподачи доменной печи

В статье рассмотрены характеристики векторной и скалярной систем управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором. Показано, что для получения высоких динамических показателей и высокой точности поддержания скорости наиболее предпочтительной является векторная система управления электроприводом. При разработке математической модели привода затвора весовой воронки использовался принцип ориентации системы координат по вектору потокоцепления ротора. В этом случае модель асинхронного двигателя приобретает сходство со структурной схемой машины постоянного тока, где возможно раздельное управление магнитным состоянием и моментом на валу двигателя. Выполнено моделирование работы электропривода затвора весовых воронок шихтоподачи доменной печи объемом 5000 м³ в среде MATLAB Simulink. Установлено, что применение системы векторного управления асинхронным двигателем затвора весовой воронки позволит реализовать формирование многокомпонентной порции шихты на доменном конвейере в любой последовательности разгрузки весовых воронок.

Рыбальченко М. А., Головки В. И., Верховская А.А., Папанов Г. А. Моделирование векторного управления асинхронным электродвигателем затвора ваговой воронки системы шихтоподачи доменной печи

У статті розглянуто характеристики векторної і скалярної систем управління асинхронним двигателем з короткозамкнутим ротором. Показано, що для отримання високих динамічних показників і високої точності підтримки швидкості найбільш прийнятною є векторна система управління електроприводом. При розробці математичної моделі приводу затвора вагової воронки використовувався принцип орієнтації системи координат по вектору потокоцеплення ротора. У цьому випадку модель асинхронного двигуна придбає схожість із структурною схемою машини постійного струму, де можливе роздільне управління магнітним станом і моментом на валу двигуна. Виконано моделювання роботи електроприводу затвора вагових воронок шихтоподачі доменної печі об'ємом 5000 м³ в середовищі MATLAB Simulink. Встановлено, що застосування системи векторного управління асинхронним двигателем затвора вагової воронки дозволить реалізувати формування багатокomпонентної порції шихти на доменному конвеєрі в будь-якій послідовності розвантаження вагових воронок.

Rybalchenko M.A., Golovko V.I., Verhovskaya A.A., Papanov G.A. Simulation of vector control asynchronous electric motor gate weight funnel of system serve of charge blast furnace

In the article descriptions are considered vectorial and scalar control system by an asynchronous drive with a short-circuited rotor. It is shown that for the receipt of high dynamic indexes and high exactness of maintenance of speed most preferable is vectorial control system. For development of mathematical model of drive of breech-block weight funnels principle of orientation of the system coordinates was used management for the rotor flux linkage. In this case the model of asynchronous drive acquires likeness with the flow diagram of machine of direct-current, where a separate management is possible by the magnetic state and moment on the billow of drive. The design of work of electro mechanic of breech-block weight funnels the blast furnace with a conveyor feeding the charge on the furnace top was executed in the environment of MATLAB Simulink. It is set, that application of the system of vectorial management of asynchronous drive of breech-block weight funnels will allow to realize forming of multicomponent portion of charge on a conveyer in any sequence of its unloading.

УДК 681.513.6:622.7:622.34

Тронь В.В., Масевський К.В. Формування адаптивного керування процесом подрібнення залізородної сировини в умовах невизначеності характеристик об'єкта

У статті наведено результати дослідження методів формування автоматизованого керування технологічним процесом подрібнення в умовах нестабільності характеристик залізородної сировини та невизначеності параметрів технологічного процесу. Проаналізовано моделі та методи керування процесом подрібнення руди, представленої технологічними різновидами для забезпечення заданої продуктивності технологічних агрегатів. Розглянуто роботу класичних та адаптивних регуляторів у системі керування завантаженням млина першої стадії подрібнення. Побудовано модель кульового млина у середовищі імітаційного комп'ютерного моделювання MATLAB/Simulink. Досліджено роботу моделі у системі керування з використанням класичного ПІД-регулятора. Для підвищення якості керування подрібненням досліджено роботу адаптивних регуляторів, що засновані на модернізованих методах Зіглера-Нікольса. Представлено результати застосування у системі керування адаптивних регуляторів, заснованих на фільтрації диференційного компонента з використанням апроксимації Таєтіна, методу прямокутної та трапецеївидної дискретизації. У результаті проведених досліджень встановлено, що найкращим регулятором для процесів керування подрібненням технологічних різновидів залізородної сировини з урахуванням нестаціонарності характеристик реального об'єкта керування є адаптивний регулятор Зіглера-Нікольса для процесів третього порядку з фільтрацією диференційного компонента з використанням апроксимації Таєтіна. Використання даного регулятора забезпечує меншу похибку керування порівняно з класичним ПІД-регулятором та розглянутими адаптивними регуляторами, яка

знаходиться у межах 0.01%-0.81%, і забезпечує такі усереднені значення показників якості керування: перерегулювання - 16.7, тривалість перехідного процесу - 69.5 секунд.

Ключові слова: автоматизація, адаптивне керування, подрібнення руди, ПІД-регулятор.

Тронь В.В., Маевський К.В. . Формирование адаптивного управления процессом измельчения железорудного сырья в условиях неопределенности характеристик объекта

В статье приведены результаты исследования методов формирования автоматизированного управления технологическим процессом измельчения в условиях нестабильности характеристик железорудного сырья и неопределенности параметров технологического процесса. Проанализированы модели и методы управления процессом измельчения руды, представленной технологическими разновидностями для обеспечения заданной производительности технологических агрегатов. Рассмотрена работа классических и адаптивных регуляторов в системе управления загрузкой мельницы первой стадии измельчения. Построена модель шаровой мельницы в среде имитационного компьютерного моделирования MATLAB/Simulink. Исследована работа модели в системе управления с использованием классического ПИД-регулятора. Для повышения качества управления измельчением исследована работа адаптивных регуляторов, основанных на модернизированных методах Зиглера-Никольса. Представлены результаты применения в системе управления адаптивных регуляторов, основанных на фильтрации дифференциального компонента с использованием аппроксимации Тастина, метода прямоугольной и трапециевидной дискретизации. В результате проведенных исследований установлено, что наилучшим регулятором для процессов управления измельчением технологических разновидностей железорудного сырья с учетом нестационарности характеристик реального объекта управления является адаптивный регулятор Зиглера-Никольса для процессов третьего порядка с фильтрацией дифференциального компонента с использованием аппроксимации Тастина. Использование данного регулятора обеспечивает меньшую погрешность управления по сравнению с классическим ПИД-регулятором и рассмотренными адаптивными регуляторами, которая находится в пределах 0.01% -0.81%, и обеспечивает такие усредненные значения показателей качества управления: перерегулирование - 16.7, продолжительность переходного процесса - 69.5 секунд.

Ключевые слова: автоматизация, адаптивное управление, измельчение руды, ПИД-регулятор.

Tron V.V., Maevsky K.V. The forming of the adaptive process control of iron ore degradation in conditions of characteristics uncertainty

The article presents the results of the analysis of the methods of the automatic control of the technological process of iron ore disintegration in conditions of iron-ore raw material characteristics and technological process parameters uncertainty. The articles and works about the principles of mill control and the methods of the shredding analysis were analyzed. The analysis the library of adaptive controllers is represented. The model of the ball mill was created in the simulation environment MATLAB / Simulink. In this work are represented the principles of using the PID controller, the work of adaptive controllers based on the Ziegler-Nichols methods. The results of using the adaptive controllers based on differential filtering component with usage of Tustin approximation (Ziegler-Nichols controller with D-component filtration) and the methods of rectangular and trapezoidal discrete sampling are represented. The results of the simulation show that the adaptive Ziegler-Nichols controller for the 3-order processes based on differential filtering component with usage of Tustin approximation is the most efficient controller for the control of the grinding process of the various types of iron-ore raw material. Comparing to the classical PID-controller it provides the smaller measure of inaccuracy, which is 0.01%-0.81%. This controller provides the following results: overshoot - 16.7, the installation of the transition process - 69.5 seconds.

Keywords: automation, adaptive control, ore degradation, PID controller.

УДК 62-83

Гущин Д.В., Філіпп Ю.Б. Визначення енергетичних показників електроприводів установок вакуумної металізації рулонних матеріалів

Питання підвищення ефективності енерговикористання та енергозбереження набувають все більшої актуальності. Використання регульованих електроприводів для забезпечення якості технологічних процесів сприятливо впливає як на якість технологічної продукції так і на зменшення споживання активної енергії. В свою чергу, сучасний регульований електропривод здійснюється засобами перетворювальної техніки, які сприймаються мережею як нелінійні елементи, що суттєво впливає на показники якості споживання електроенергії. Відомо, що якість електроенергії безпосередньо впливає на збільшення збитків на промислових підприємствах, у тому числі, і до підвищення втрат електроенергії.

Електроприводи як електромеханічні об'єкти управління сучасних промислових агрегатів характеризуються досить складною механічною частиною, яка являє собою багатомасову систему з пружними зв'язками та зазорами в них. Крім того, робочі органи окремих механізмів, складних технологічних комплексів можуть бути пов'язані між собою через оброблюваний матеріал або виріб. Електрична частина електроприводів може бути багатодвигунною і виконуватися з живленням електродвигунів як від загальних, так і від індивідуальних перетворювачів, що визначає їх взаємний вплив один на одного.

На основі технологічних параметрів вакуумної установки, особливостей режимів роботи багатодвигунного електропривода перемотувального пристрою для металізації тонких рулонних матеріалів (плівка, папір) для одностороннього та двохстороннього алюмінівання були розглянуті зміни параметрів електропривода в статичних і динамічних режимах роботи. Також були визначені та побудовані енергетичні показники електроприводів установок.

Ключові слова: електропривод, двигун, плівка, пристрій, вакуумна установка.

Гущин Д.В., Филипп Ю.Б. Определение энергетических показателей электроприводов установок вакуумной металлизации рулонных материалов

Вопросы повышения эффективности энергоиспользования и энергосбережения приобретают все большую актуальность. Использование регулируемых электроприводов для обеспечения качества технологических процессов благоприятно влияет как на качество технологической продукции так и на уменьшение потребления активной энергии. В свою очередь, современный регулируемый электропривод осуществляется средствами превращающей техники, ко-

которые воспринимаются сетью как нелинейные элементы, что существенно влияет на показатели качества потребления электроэнергии. Известно, что качество электроэнергии непосредственно влияет на увеличение убытков на промышленных предприятиях, в том числе, и к повышению потерь электроэнергии.

Электроприводы как электромеханические объекты управления современных промышленных агрегатов характеризуются достаточно сложной механической частью, которая являет собой многомассовую систему с упругими связями и зазорами в них. Кроме того, рабочие органы отдельных механизмов, сложных технологических комплексов могут быть связаны между собой через обрабатываемый материал или изделие. Электрическая часть электроприводов может быть багатодвигунною и выполняться с питанием электродвигателей как от общих, так и от индивидуальных преобразователей, что определяет их взаимное влияние друг на друга.

На основе технологических параметров вакуумной установки, особенностей режимов работы багатодвигунного электропривода перематывающего устройства для металлизации тонких рулонных материалов (пленка, бумага) для одностороннего и двухстороннего алюминирования были рассмотрены изменения параметров электропривода в статических и динамических режимах работы. Также были определены и построены энергетические показатели электроприводов установки.

Ключевые слова: электропривод, двигатель, пленка, устройство, вакуумная установка.

Guchin D.V., Гуцин Д.В., Філіпп Ю.Б. Determination of power indexes of electromechanics of options of a vacuum metallization of roll materials

The questions of increase of efficiency of energovikorystannya and energy-savings acquire vce greater actuality. The use of the managed electromechanics for providing of quality of technological processes favourably influences as on quality of technological products so on diminishing of consumption of active energy. In turn, the modern managed electromechanic is carried out by facilities of converting technique, which are perceived by a network as nonlinear elements, that substantially influences on the indexes of quality of consumption of electric power. It is known that quality of electric power directly influences on the increase of losses on industrial enterprises, including., and to the increase of losses of electric power.

Electromechanics as electromechanics objects of management of modern industrial asms are characterized by difficult enough mechanical part which shows by itself the multimass system with resilient copulas and gaps in them. In addition, the working organs of separate mechanisms, difficult technological complexes can be constrained inter se through the processed material or good. Electric part of electromechanics can be багатодвигунною and executed with the feed of electric motors both from general and from individual transformers, that determines them cross-coupling on each other.

On the basis of technological parameters of a vacuum setting, features of the modes of operations of багатодвигунного электропривода of rewinding device for metallization of thin roll materials (tape, paper) for one-sided and twoextraneous алюминирования there were the considered changes of parameters of электропривода in static and dynamic office hours. Were also certain and built power indexes of electromechanics of setting.

Keywords: electromechanic, engine, tape, device, vacuum setting.

УДК 658.011.56

Кондратец В.А., Мацуї А.Н. Технологические предпосылки и экспериментальная основа создания средств идентификации характеристик измельчаемой руды

Приведены результаты исследования измельчаемости руд на примере отдельного карьера и ее связи с содержанием общего железа и железистых соединений. Руды дробились лабораторной щековой дробилкой и измельчались в лабораторной шаровой мельнице. Измельчаемость отдельных руд определялась по отношению к показателю одной из этих руд, принятой за эталонную. Измельчаемость руд не одинакова и сильно зависит от времени измельчения. Сравнение показателей осуществлялось при одинаковом времени измельчения. Содержание магнитного железа определялось измерителем магнитной фракции и химическим анализом, другие составляющие находились химическим анализом. Плотность руд находили лабораторным путем. На стенде исследовали взаимодействие потока руды с упругим стержнем на различных типах руды и ее крупности. Установлено тесную линейную корреляционную связь между амплитудой и числом выбросов случайного процесса за определенный уровень и произведением средневзвешенного размера кусков руды и сопротивлением измельчению. Такая же связь установлена между максимальным значением деформации упругого элемента, на котором разрушается образец материала определенного размера и типа руды. Перспективно использовать и средства визуального контроля руд

Кондратець В.О., Мацуї А.М. Технологічні передумови та експериментальна основа створення засобів ідентифікації характеристик подрібнюваної руди

У статті наведено результати дослідження подрібнюваності руд на прикладі окремого кар'єру та її зв'язки з вмістом загального заліза та залістистих з'єднань. Руди дробились лабораторною щековою дробаркою та подрібнювались у лабораторному кульовому млині. Подрібнюваність окремих руд визначалась по відношенню до показника однієї з цих руд, яка прийнята за еталонну. Подрібнюваність руд не однакова і сильно залежить від часу подрібнення. Порівняння показників здійснювалось при однаковій тривалості подрібнення. Вміст магнітного заліза визначався вимірюванням магнітної фракції та хімічним аналізом, інші складові знаходились хімічним аналізом. Густина руд знаходили лабораторним шляхом. На стенді досліджували взаємодію потоку руди з пружним стержнем на різних типах руд і їх крупностях. Встановлено тісний лінійний кореляційний зв'язок між амплітудою і числом викидів випадкового процесу за певний рівень і добутком середньозваженого розміру кусків руди й опірністю подрібненню. Такий же зв'язок встановлено між максимальним значенням деформації пружного елемента, на якому руйнується зразок матеріалу певного розміру і типу руди. Перспективно використовувати і засоби візуального контролю руд.

Kondratets V., Matsui A. Technological conditions and experimental basis for the creation of means of identification characteristics of chopping ore

The article presents the results of a study the grindability of various ores by example of individual quarry and its relation to the characteristics of the crushed material. The ores of one of the quarries, which have seven types of ores were investigated. Feedstock ore concentrator presented first, second, third and sixth types. Other types of ores were studied to compare and

determine their possible impact on the investigated dependence. Selected ore processed laboratory equipment - in the laboratory jaw crusher and ball mill 40 ML of 7 liters and loading ore 1650. Ore grindability defined as the ratio of the specific performance class - 0,063 mm test-type ore to the same characteristics of the ore taken as a reference - it is the first type of ore. Found that ores grindability varies and depends on the milling time. Found that the most close connection with the grindability of total iron content, but it is not as close to her may be used to determine the grindability. It is not possible to implement in practice on the ore grindability dependence on its density. Established a close correlation parameters of the wave of elastic rod interacting with the flow of ore and index K_{cp}/K_u , where K_{cp} - average size of the material, and K_u - its grindability. Established a very close relationship with the magnitude of deformation of the elastic element, which destroyed a piece of ore ball constant mass. Perspective is the use of visual data flow control ore.

УДК 622.013

Калиниченко В.О., Тарасютин В.М., Письменный С.В., Шепель О.Л. Про питання зниження втрат руди на лежачому боці покладів

У запропонованому дослідженні розглянута ефективність відбійки руди на затиснуте середовище при системах розробки підповерхового обвалення руди й вміщувальних порід. Наведено умови застосування відбійки руди на затиснене середовище, а також напруження, які виникають у масиві руди при пошаровій відбійці. Запропоновано спосіб зменшення втрат енергії вибухової хвилі в руді при наступних вибухах. Можливі шляхи вдосконалення технології відпрацювання родовищ, що забезпечить зниження втрат руди на лежачому боці покладу. Розглянуто ефективний варіант буріння глибоких свердловин з бурових ніш, розташованих на горизонті буріння й доставки. Проаналізовано основні відомі способи й методи, що сприяють зниженню втрат руди трикутника лежачого боку. Запропоновано необхідну послідовність відбійки руди на затиснуте середовище й необхідні параметри буропідривних робіт. Проаналізовано необхідну величину коефіцієнта розпушення відбитої руди на контакті з порожніми породами лежачого боку покладу. Розглянуто технічні характеристики закордонної бурової техніки, що призначена для проходки підняттявих виробок. Запропоновано метод підвищення ефективності за рахунок збільшення вилучення руди шляхом застосування продуктивного самохідного встаткування при відбійці руди на затиснуте середовище.

Ключові слова: руда, технологія, лежачий бік покладу, відбійка, «затиснене» середовище.

Калиниченко В.А., Тарасютин В.М., Письменный С.В., Шепель А.Л. О вопросе снижения потерь руды на лежащем боку залежей

В предложенном исследовании рассмотрена эффективность отбойки руды на зажатую среду при системах разработки подэтажного обрушения руды и вмещающих пород. Приведены условия применения отбойки руды на зажатую среду, а также напряжения, которые возникают в массиве руды при послойной отбойке. Предложен способ уменьшения потерь энергии взрывной волны в руде при последующих взрывах. Возможные пути совершенствования технологии отработки месторождений, которая обеспечит снижение потерь руды на лежащем боку залежи. Рассмотрен эффективный вариант бурения глубоких скважин из буровых ниш, расположенных на горизонте бурения и доставки. Проанализированы основные известные способы и методы, способствующие снижению потерь руды треугольника лежачего бока. Предложена необходимая последовательность отбойки руды на зажатую среду и необходимые параметры буровзрывных работ. Проанализирована необходимая величина коэффициента разрыхления отбитой руды на контакте с пустыми породами лежачего бока залежи. Рассмотрены технические характеристики зарубежной буровой техники, которая предназначена для проходки восстающих выработок. Предложен метод повышения эффективности за счет увеличения извлечения руды путем применения производительного самоходного оборудования при отбойке руды на зажатую среду.

Ключевые слова: руда, технология, лежачий бок залежи, отбойка, «зажатая» среда.

Kalinichenko V.O., Tarasjutin V.M., Pysmenny S.V., Shepel O.L. About the question of the decrease of losses of ore on lying to a side of deposits

In the offered research efficiency of breaking of ore on the griped environment is considered at mining methods of a sublevel caving of ore and adjacent strata. Conditions of application of breaking of ore on the griped environment, and also stresses which arise in an ore massif at level-by-level breaking are resulted. The way of reduction of losses of energy of a blast wave in ore is offered at the subsequent explosions. Possible ways of improvement technology working of deposits which will provide a decrease of losses of ore on lying to a deposit side. The effective variant of drilling of deep wells from the chisel niches located on horizon of drilling and delivery is considered. The basic known ways and the methods promoting a decrease of losses of ore of a triangle of a lying side are analyzed. The necessary sequence of breaking of ore on the griped environment and necessary parameters of drilling-and-blasting is offered. The necessary size of a degree of fragmentation of broken ore on contact to dead rocks of a lying side of a deposit is analyzed. Technical characteristics of foreign chisel technics which is intended for carrying out of rise workings are considered. The method of increase of efficiency at the expense of increase in extraction of ore by application of the productive self-propelled equipment is offered at ore breaking on the griped environment.

Keywords: ore, technology, deposit lying wall, breaking, "griped" environment.

UDC 378.1

Shatokha V.I., Petrenko A.L. Higher engineering education for sustainable development

Societal needs, related to the environmental challenges, require relevant human resource and, therefore, must be adequately addressed in both the content and the teaching methodology of higher engineering education. The approach to redefine the content of the engineering curriculum while addressing current and future needs of the sustainable development has been analysed with respect to shift of the techno-economic development paradigm from the "cleaner production" concept to the "industrial transformation" concept. Consortium comprising Ukrainian and EU academic, industrial, R & D and policy-level stakeholders in the scope of the ongoing TEMPUS project "Higher engineering training for environmentally sustainable in-

dustrial development" aims at addressing sustainability challenges through the set of activities, including introduction of new taught disciplines.

Шатоха В.І., Петренко А.Л. Вища технічна освіта для життєздатного розвитку

Соціальні потреби, пов'язані з екологічними викликами, вимагають релевантний людський ресурс і, тому, повинно адекватно звернутися до як у вміст, так і викладацьку методологію вищої технічної освіти. Підхід, щоб перевизначити вміст технічного учбового плану, звертаючись до поточних і майбутніх потреб життєздатного розвитку був проаналізований з пошаною до переміщення techno-economic парадигми розвитку від поняття "Чистіше виробництво" до поняття "Індустріальне перетворення". Консорціум, що охоплює українську мову і ученого ЄС, промисловця, R і D і горизонтальні для політики посередники в можливості проекту TEMPUS, що триває, "Вище, споруджуючи навчання екологічно життєздатний індустріальний розвиток" цілиться в адресацію викликів стійкого розвитку через набір діяльності, у тому числі вступ нових дисциплін, що викладаються.

Шатоха В.И., Петренко А.Л. Высшее техническое образование для жизнеспособного развития

Социальные потребности, связанные с экологическими вызовами, требуют релевантный человеческий ресурс и, тому, должно адекватно обратиться к как в содержимое, так и преподавательскую методологию высшего технического образования. Подход, чтобы переопределить содержимое технического учебного плана, обращаясь к текущим и будущим потребностям жизнеспособного развития был проанализирован с уважением к перемещению techno - economic парадигме развития от понятия "более Чистое производство" к понятию "Индустриальное превращение". Консорциум, который охватывает украинский язык и ученого ЕС, промышленника, R и D и горизонтальные для политики посредники в возможности проекта TEMPUS, который длится, "Выше, соорудая учебу экологически жизнеспособное индустриальное развитие" целится в адресацию вызовов устойчивого развития через набор деятельности, в том числе вступление новых дисциплин, которые выкладываются.

УДК 331.452

Пищикова Е.В., Янова Л.А., Куценко В.А. Усовершенствование процедуры получения допуска для выполнения ремонтных работ на технологическом оборудовании с электроприводом

Практика показывает, что причиной тяжелых форм электротравм являются несогласованные и ошибочные действия персонала, ошибочная подача напряжения на установку, где работают люди, нарушение правил безопасной эксплуатации электроустановок потребителей. Для профилактики электротравматизма на горных предприятиях обоснована необходимость пересмотра и модернизации существующего подхода к контролю подачи электрического напряжения при производстве ремонтных работ, совершенствованию действующей бирочной системы допуска к ремонтам технологического оборудования, внесения дополнений в технические мероприятия по разбору электрических схем с использованием опыта передовых мировых технологий – внедрения международного стандарта БМП (Блокировка – Маркировка – Проверка). Как показал анализ, действующая бирочная система на горнорудных предприятиях Кривбасса уступает своей эффективностью системе Lockout-tagout (LOTO). LOTO позволяет практически полностью устранить риски, связанные с человеческим фактором, при обесточивании оборудования и блокировании подачи опасной энергии, снижая производственный травматизм до 0%. Обосновано направление дальнейших исследований по усовершенствованию существующей бирочной системы с внедрением в нее элементов системы Lockout-tagout (LOTO) или легализации стандарта Lockout-tagout (LOTO) на государственном уровне и целесообразности введения блокирующих устройств, как элементов технических мероприятий для подготовки рабочего места к работе, требующей снятия напряжения.

Пищикова О. В., Янова Л.О., Куценко В. А. Удосконалення процедури отримання допуску для виконання ремонтних робіт на технологічному устаткуванні з електроприводом

Практика показує, що причиною важких форм електротравм є незгоджені і помилкові дії персоналу, помилкова подача напруги на установку, де працюють люди, порушення правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів. З метою профілактики електротравматизму на гірничих підприємствах обґрунтовано необхідність перегляданню та модернізації існуючого підходу до контролю подачі електричної напруги при виробництві ремонтних робіт, вдосконалення діючої биркової системи допуску до ремонтів технологічного обладнання, внесення доповнень до технічних заходів з розборки електричних схем з використанням досвіду передових світових технологій - впровадження міжнародного стандарту БМП (Блокування - Маркування - Перевірка). Як показавши аналіз, діюча биркова система на гірничорудних підприємствах Кривбасу поступається своєю ефективністю системі Lockout - tagout (LOTO). LOTO дозволяє практично повністю усунути ризики, пов'язані з людським чинником, при знеструмленні обладнання та блокуванні подачі небезпечної енергії, знижуючи виробничий травматизм до 0%. Обґрунтовано напрямки подальших досліджень з удосконалення існуючої біркової системи з впровадженням у неї елементів системи Lockout - tagout (LOTO) або легалізації стандарту Lockout - tagout (LOTO) на державному рівні і доцільності введення блокуючих пристроїв, як елементів технічних заходів для підготовки робочого місця до роботи, що вимагає зняття напруги.

Pychikova O.V., Janova L.O., Kutsenko V.A. Improvement of procedure of receipt of admittance for implementation of workovers on a technological equipment electrically-actuated

Practice of shows that reason of heavy forms of electro- traumas of of are the uncoordinated and erroneous operating of personnel, erroneous serve of tension on setting, where people, violation of rules of safe exploitation of electro - options of of consumers, work. With of of the purpose of prophylaxis of електротравматизма of of on mountain enterprises the necessity of revision and modernization of the existent going is reasonable near control of serve of electric tension at the production of workovers, to perfection of the operating tally system of admitting to repairs of technological equipment, bringing of additions in technical measures on the analysis of electric charts with the use of experience of front - rank world technologies - introduction of international standard of БМП (Blocking is Marking - Verification). As an analysis showed, the operating tally system on the mining enterprises of Kryvbass yields the efficiency to the system Lockout - tagout (LOTO). LOTO of of allows practically fully to remove risks, related to the human factor, at deenergizing of equipment and blocking of serve of

dangerous energy, reducing a productive traumatism to 0%. Direction of further researches is reasonable on the improvement of the existent tally system with introduction in her elements of the system Lockout - tagout (LOTO) or legalizations of standard of Lockout - tagout (LOTO) at state level and expediency of introduction of locking mechanisms, as elements of technical measures for the makeready of workplace, to requiring a deenergization.

УДК 624.042.8: 622.281

Хворост В.В. К вопросу повышения эффективности динамического расчета несущих конструкций пролетных строений транспортерных галерей при случайных колебаниях

Современное развитие промышленного производства связано с реконструкцией, расширением, техническим переоснащением и улучшением условий труда на действующих предприятиях. Учитывая рыночный характер отношений, важно, чтобы работы по реконструкции выполнялись в кратчайшие сроки. Тенденция к сокращению сроков реконструкции пролетных строений - весьма важное направление строительного дела.

При обследовании пролетных строений поверхностного комплекса шахт Криворожского бассейна выявлено значительное количество дефектов несущих и ограждающих конструкций галерей. Что касается ограждающих конструкций, то они требуют частичной или полной замены.

Среди общей экономии возникает вопрос о замене старых конструкций на более эффективные по ряду признаков. Это позволит значительно уменьшить нагрузку конструкции от собственного веса. То есть осуществляется переход на облегченные ограждающие конструкции галерей, что исключает необходимость выполнять проверочные расчеты несущей способности конструкций и опор галерей. Но уменьшение массы конструкции приводит к изменению частот собственных колебаний и жесткости всей конструкции. Это может привести к реализации резонанса, приводит к нарушению технологического процесса или аварийной ситуации. В наше время недостаточно сведений о работе конструкций пролетных строений при условии замены старых ограждающих конструкций на новые облегченные.

Благодаря проведенным исследованиям и накопленному практическому опыту строительство и реконструкция пролетных строений широко и с высокой эффективностью внедрялись в горнодобывающую промышленность. Несмотря на это, прослеживается длительный застой в динамике развития технико-экономических показателей строительства пролетных строений, не наблюдается развитие и совершенствование технологических схем ведения работ и реконструкции, не происходит модернизация оборудования, противоречит тенденции развития шахтного строительства в мировых горнодобывающих странах. При этом определяется перспективное направление развития технологии реконструкции галерей, который заключается в замене старых железобетонных ограждающих конструкций на современные облегченные материалы.

Хворост В. В. До питання підвищення ефективності динамічного розрахунку конструкцій пролітних будов транспортерних несучих галерей, при випадкових коливаннях

Сучасний розвиток промислового виробництва пов'язаний з реконструкцією, розширенням, технічним переоснащенням і поліпшенням умов праці на діючих підприємствах. Враховуючи ринковий характер стосунків, важливо, щоб роботи по реконструкції виконувалися в найкоротші терміни. Тенденція до скорочення термінів реконструкції пролітних будов - дуже важливий напрям будівельної справи.

При обстеженні пролітних будов поверхневого комплексу шахт Криворізького басейну виявлена значна кількість дефектів конструкцій галерей, що несуть і захищають. Що стосується конструкцій, що захищають, то вони вимагають часткової або повної заміни.

Серед загальної економії виникає питання про заміну старих конструкцій на ефективніші по ряду ознак. Це дозволить значно зменшити навантаження конструкції від власної ваги. Тобто здійснюється перехід на полегшені конструкції галерей, що захищають, що виключає необхідність виконувати перевірочні розрахунки здатності конструкцій і опор галерей, що несе. Але зменшення маси конструкції призводить до зміни частот власних коливань і жорсткості усїєї конструкції. Це може привести до реалізації резонансу, призводити до порушення технологічного процесу або аварійної ситуації. У наш час недостатньо відомості про роботу конструкцій пролітних будов за умови заміни старих конструкцій, що захищають, на нових полегшених.

Due to the conducted researches and accumulated practical experience building and reconstruction of flight structures widely and with high efficiency inculcated in mining industry. In spite of it, the protracted stagnation is traced in the dynamics of development of технико-экономических indexes of building of flight structures, there is not development and perfection of flowsheets of conduct of works and reconstruction, there is not modernization of equipment, conflicts with a progress of mine building trend in world mining countries. Perspective direction of development of technology of reconstruction of galleries is thus determined, which consists in substituting of old reinforce-concrete non-load-bearing constructions by the modern facilitated materials.

Khvorost V.V. To the question of increase of efficiency of dynamic calculation of bearing constructions of flight structures of conveyer galleries at casual vibrations

Modern development of industrial production is related to the reconstruction, expansion, technical retooling and improvement of terms of labour on operating enterprises. Taking into account market character of relations, important, that works on a reconstruction were executed in the earliest possible dates. A tendency to reduction of terms of reconstruction of flight structures is essential direction of building business.

At the inspection of flight structures of superficial complex of mines of the Криворожского pool the far of defects of bearing and non-load-bearing constructions of galleries is educed. In respect of non-load-bearing constructions, then they require partial or complete replacement.

Among a general economy there is a question about replacement of old constructions on more effective on the row of signs. It will allow considerably to decrease loading of construction from own weight. Id est passing is carried out to the facilitated non-load-bearing constructions of galleries, that eliminates a necessity to execute the checking calculations of bearing strength of constructions and supports of galleries. But the degrowth of construction causes the change of frequencies of eigtontones and inflexibility of all construction. It can result in realization of resonance, result in violation of technological

process or emergency situation. In our time information not enough about work of constructions of flight structures on condition of substituting of old non-load-bearing constructions by new facilitated.

Due to the conducted researches and accumulated practical experience building and reconstruction of flight structures widely and with high efficiency inculcated in mining industry. In spite of it, the protracted stagnation is traced in the dynamics of development of технико-экономических indexes of building of flight structures, there is not development and perfection of flowsheets of conduct of works and reconstruction, there is not modernization of equipment, conflicts with a progress of mine building trend in world mining countries. Perspective direction of development of technology of reconstruction of galleries is thus determined, which consists in substituting of old reinforce-concrete non-load-bearing constructions by the modern facilitated materials.

УДК 622.271.33

Паламар А.Ю., Лауфер Д.Д. Анализ методов прогнозирования стойкости бортов карьеров та відвалів

Наведено основні методи спостережень та прогнозування стійкості відкритих гірничих виробок. Проблеми геомеханічних процесів є надзвичайно складною і багатогранною задачею, вирішення якої неможливе без вирішення цілого ряду приватних наукових завдань, зумовлених загальним ходом науково-технічного прогресу в теорії і практиці відкритих гірничих робіт. На основі досліджень фактичних характеристик кар'єрів та відвалів було обгрунтовано значимість та важливість виконання прогнозу, що є вагомим аспектом про перспективи та можливості стану укосів протягом усього строку їхньої служби. За результатами виконаної порівняльної характеристики ефективності існуючих методів та засобів контролю, визначені основні їх переваги і недоліки. Аналіз теорії й практики, щодо методів та засобів виконання прогнозу при експлуатації глибоких залізородних кар'єрів, дозволив зробити висновок про необхідність впровадження сучасних технологій в усі види маркшейдерсько-геодезичних робіт, що дозволить підвищити ефективність оперативного й маркшейдерського обліків розкривних і добувних гірничих робіт, ефективність проведення спостережень за деформаціями та втрат корисних копалин.

Паламар А.Ю., Лауфер Д.Д. Анализ методов прогнозирования стойкости бортов карьеров и отвалов

Приведены основные методы наблюдений и прогнозирования стойкости открытых горных выработок. Проблемы геомеханических процессов являются чрезвычайно сложной и многогранной задачей, решение которой невозможно без решения целого ряда частных научных заданий, предопределенных общим ходом научно-технического прогресса в теории и практике открытых горных работ. На основе исследований фактических характеристик карьеров и отвалов была обоснована значимость и важность выполнения прогноза, которые являются весомым аспектом о перспективах и возможностях состояния укосов в течение всего срока их службы. По результатам выполненной сравнительной характеристики эффективности существующих методов и средств контроля, определены основные их преимущества и недостатки. Анализ теории и практики, относительно методов и средств выполнения прогноза при эксплуатации глубоких железородных карьеров, позволил сделать вывод о необходимости внедрения современных технологий во все виды маркшейдерско-геодезических работ, что позволит повысить эффективность оперативного и маркшейдерского учета разкрывных и добывающих горных работ, эффективность проведения наблюдений за деформациями и потерь полезных ископаемых.

Palamar A.Ju., Laufer D.D. Analysis of methods of prognostication of firmness of sides of quarries and dumps

Basic methods over of supervisions and prognostication of firmness of the open mountain making are brought. Problems of геомеханічних processes are an extraordinarily intricate and many-sided problem, the decision of which is impossible without the decision of a number of private scientific tasks, predefinded by general motion of scientific and technical progress in a theory and practice of open mountain works. On the basis of researches of actual descriptions of quarries and dumps meaningfulness and importance was reasonable implementations of prognosis, which are a ponderable aspect about prospects and possibilities of the state of hay-crops during all tenure of their employment. On results the executed comparative description of efficiency of existent methods and controls, their basic advantages and defects are certain. The analysis of theory and practice, in relation to methods and facilities of implementation of prognosis during exploitation of deep iron-ore quarries, allowed to draw conclusion about the necessity of introduction of modern technologies for all types of surveyor-geodesic works, that will allow to promote efficiency of operative and surveyor account of розкривних and extractive mountain works, efficiency of realization of watching deformations and losses of minerals.

УДК 622.012: 628.5

Гольшев А.М., Деньгуб Т.В. Особенности аэродинамической устойчивости аспирационных систем и способы ее повышения

Локализация вредных выбросов и очистка запыленного воздуха при работе горноперерабатывающих предприятий осуществляется при помощи аспирации. На ее работу расходуется около 15% от энергетических затрат на привод технологического оборудования. В процессе эксплуатации аспирационных систем возникает необходимость изменять их режим работы применительно к изменению работы оборудования и с целью снижения энергетических затрат.

Методом математического моделирования исследованы аэродинамические характеристики аспирационных систем, которые выполнены по схеме элементов сети «местный отсос - магистральный воздуховод - пылеулавливающие аппараты - вентилятор» и по схеме «местный отсос - пылеулавливающий аппарат - магистральный воздуховод - вентилятор». Установлено, что аспирационные системы, выполненные по первому варианту компоновки элементов сети эффективно работают только в проектном режиме и не допускают изменения количества местных отсосов в процессе их эксплуатации. Уменьшение или добавление количества местных отсосов приводит к отложению пыли в магистральном воздуховоде в первом случае, либо к истечению запыленного воздуха из аспирационных укрытий.

Аспирационные системы, выполненные по второй схеме компоновки элементов сети обладают более высокой аэродинамической устойчивостью. При уменьшении количества местных отсосов по сравнению с проектным режимом (например, при части неработающих технологических агрегатов) возможно уменьшение мощности привода вентиля-

тора, поскольку в магистральный воздуховод будет поступать очищенный от пыли воздух. Увеличение по сравнению с проектом местных отсосов вместе с пылеулавливающими аппаратами существенно не изменяет аэродинамическую характеристику аспирационной сети и обеспечивается надежная локализация вредных примесей в укрытиях оборудования.

Таким образом, методом математического моделирования доказаны преимущества аспирационных систем, выполненных по схеме «местный отсос – пылеулавливающий аппарат – магистральный воздуховод – вентилятор» как более аэродинамически устойчивых и энергетически целесообразных.

Голишев О.М., Деньгуб Т.В. Особливості аеродинамічної стійкості аспіраційних систем і способи її підвищення
Локалізація шкідливих викидів і очищення запиленого повітря при роботі гірничопереробних підприємств здійснюється за допомогою аспірації. На її роботу витрачається близько 15% від енергетичних витрат на привід технологічного обладнання. В процесі експлуатації аспіраційних систем виникає необхідність змінювати їх режим роботи стосовно до зміни роботи обладнання з метою зниження енергетичних витрат. Методом математичного моделювання досліджено аеродинамічні характеристики аспіраційних систем, які виконані за схемою елементів мережі «місцевий відсос – магистральний повітропровід – пиловловлюючі апарати – вентилятор» та за схемою «місцевий відсос – пиловловлюючий апарат – магистральний повітропровід – вентилятор». Встановлено, що аспіраційні системи, виконані по першому варіанту компоновки елементів мережі ефективно працюють тільки в проектному режимі і не допускають зміни кількості місцевих відсмоктувачів у процесі їх експлуатації. Зменшення або додавання кількості місцевих відсмоктувачів призводить до відкладення пилу в магистральному повітропроводі в першому випадку, або до витікання запиленого повітря з аспіраційних укріттів. Аспіраційні системи, які виконані за другою схемою компоновки елементів мережі мають більш високу аеродинамічну стійкість. При зменшенні кількості місцевих відсмоктувачів в порівнянні з проектним режимом (наприклад, при частини непрацюючих технологічних агрегатів) можливе зменшення потужності привода вентилятора, тому, що в магистральний повітропровід буде надходити очищене від пилу повітря. Збільшення порівняно з проектом місцевих відсмоктувачів разом з пиловловлюючими аппаратами суттєво не змінює аеродинамічну характеристику аспіраційної мережі та забезпечується надійна локалізація шкідливих домішок в укриттях обладнання. Таким чином, методом математичного моделювання доведено переваги аспіраційних систем, виконаних за схемою «місцевий відсос – пиловловлюючий апарат – магистральний повітропровід – вентилятор» як більш аеродинамічно стійких і енергетично доцільних.

Golyshev A.M., Dengub T.V. features aerodynamic stability aspiration systems and methods of its increase

Localization of harmful emissions and cleaning of dusty air when the mining companies is by means of aspiration. Her work consumes about 15% of the energy costs drive manufacturing equipment. In the operation of vacuum systems there is a need to change their mode of operation in relation to the change of the equipment and to reduce energy costs. The method of mathematical modeling is used to study the aerodynamic characteristics of vacuum systems, which are made according to the scheme of network elements "local suction – main duct – dust collecting apparatus – a fan" and on a "local suction – dust collecting apparatus – main air duct – fan". It is established that the aspiration system, made according to the first embodiment of the layout of the network elements work effectively only in design mode and do not allow changes in the number of local suction in the course of their operation. Reduction or addition in the number of local suction leads to the deposition of dust in the main ducts in the first case, or by the expiration of dusty air from the suction cover. Aspiration system, made according to the second layout of the network elements have a higher aerodynamic resistance. As the number of local suction as compared to the design mode (for example, with parts broken technological units) may reduce the drive power of the fan, because in the main duct will be supplied free of dust the air. The increase compared with the draft local suction with dust collecting apparatus does not significantly alter the aerodynamic performance of the aspiration of the network and ensure reliable localization of contaminants in the equipment shelters. Thus, by mathematical modeling has proved the advantages of vacuum systems, made in a "local suction – dust collecting apparatus – main air duct – fan" as a more aerodynamically stable and energetically feasible.

УДК 622.457: 621.926.2

Андрейчиков М.В. Інноваційні розробки для підвищення ефективності сухого очищення повітря за допомогою ультразвуку

Статтю присвячено питанню ефективності пилопригнічення. Був проведений аналіз рудникової атмосфери при дробуванні сировини. Розроблена модель фільтра «Циклон», який оснащений ультразвуковим генератором. Низька ефективність аспіраційних систем підприємств зв'язана не тільки з експлуатаційними причинами: порушенням технології, абразивним зношенням, злипанням пилу, але й з недосконалістю апаратів очищення повітря.

Враховуючи технологічну недосконалість засобів пиловловлювання, невисоку ефективність їх роботи при подрібненні сировини, внаслідок чого концентрації пилу і шкідливих газів на робочих місцях у більшості випадків перевищують допустимі величини, що призводить до розвитку пилового бронхіту і силікозу у робітників, метою наукової роботи є зменшення змісту шкідливих домішок в атмосфері робочої зони при подрібненні сировини до нормативних величин за регламентований проміжок часу шляхом пригнічення пилових викидів. Як відомо фільтр «Циклон» достатньо ефективний в уловлюванні крупнодиспертного пилу, але мало ефективний у уловлюванні дрібнодисперсного пилу. Для збільшення ефективності осадження дрібнодисперсного пилу в «Циклоні» необхідно збільшити масу частинок пилу, тобто скоагулювати частини. Інтенсифікація процесу коагуляції пилу та збільшення ефективності її уловлювання досягається тим, що на частинки пилу діє ультразвукове випромінювання.

Ультразвукова коагуляція являє собою процес зближення і укрупнення, зважених в газі або рідині дрібних твердих часток, рідких крапельок і газових бульбашок під дією акустичних коливань звукових або ультразвукових частот. Швидкість коагуляції, тобто ефективність процесу очищення промислових газів від дисперсних домішок з допомогою накладення ультразвукових коливань високої інтенсивності визначаються: інтенсивністю коливань, часом експозиції, частотою, вихідною концентрацією. Усе це дозволяє констатувати, що за допомогою розробленого пиловлов-

лювача при транспортуванні, дробуванні й скиданні сировини створені нормальні санітарно-гігієнічні умови праці за пиловим чинником, які повністю виключають виникнення у робітників пневмоконіозу.

Ключові слова: гірниче підприємство, пневмоконіоз, пиловловлювачі.

Андрейчиков М. В. Инновационные разработки для повышения эффективности сухой очистки воздуха с помощью ультразвука

Статья посвящена вопросу эффективности пылопригнічення. Был проведенный анализ рудниковой атмосферы при дробуванні сырья. Разработанная модель фільтра "Циклон", который оснащен ультроразвуковым генератором. Низкая эффективность аспирационных систем предприятий связана не только с эксплуатационными причинами: нарушением технологии, абразивным износом, слипанием пыли, но и с несовершенством аппаратов очистки воздуха.

Учитывая технологическое несовершенство средств пылеулавливания, невысокую эффективность их работы при измельчении сырья, в результате чего концентрации пыли и вредных газов на рабочих местах в большинстве случаев превышают допустимые величины, что приводит к развитию пылевого бронхита и силикоза у рабочих, целью научной работы является уменьшение содержания вредных примесей в атмосфере рабочей зоны при измельчении сырья к нормативным величинам за регламентированный промежуток времени путем притеснения пылевых выбросов. Как известно фільтр "Циклон" достаточно эффективен в улавливании крупнодиспертного пыли, но мало эффективный в улавливании мелкодисперсного пыли. Для увеличения эффективности осаждения мелкодисперсного пыли в "Циклоне" необходимо увеличить массу частиц пыли, т.е. скоагулювати части. Интенсификация процесса коагуляции пыли и увеличения эффективности ее улавливания достигается тем, что на частицы пыли действует ультразвуковое излучение.

Ультразвуковая коагуляция являет собой процесс сближения и укрупнения, взвешенных в гаге или жидкости мелких твердых частей, жидких капелек и газовых пузырьков под действием акустических колебаний звуковых или ультразвуковых частот. Скорость коагуляции, то есть эффективность процесса очистки промышленных газов от дисперсных примесей с помощью наложения ультразвуковых колебаний высокой интенсивности визначаються: интенсивністю колебаний, временами экспозиции, частотой, исходной концентрацией. Все это позволяет констатировать, что с помощью разработанного пылеуловителя при транспортировке, дробуванні и сбросе сырья созданы нормальные санітарно-гігієнічні условия труда за пылевым фактором, которые полностью исключают возникновение у рабочих пневмоконіоза.

Ключевые слова: горное предприятие, пневмоконіоз, пылеуловители.

Andreychikov M.V. Innovative developments for the increase of efficiency of the dry cleaning of air by means of ultrasound
The article is sacred to the question of efficiency of ardor suppression. There was the conducted analysis of mine atmosphere at crushing of raw material. The worked out model is фільтра "Cyclone" which is equipped by a ультразвуковым generator. Subzero efficiency of the aspiration systems of enterprises is related not only to operating reasons: by violation of technology, abrasive wear, clinging of dust, but also with imperfection of vehicles of cleaning of air.

Taking of into account technological imperfection of facilities of ardor of catching, not high efficiency of their work at growing of raw material shallow, as a result the concentrations of dust and harmful gases on workplaces in most cases exceed possible sizes, that results in development of dustborne bronchitis and schistosis for workers, the purpose of the advanced study is diminishing of maintenance of harmful admixtures in the atmosphere of working area at growing of raw material shallow to the normative sizes for the regulated interval of time by oppression of dustborne extrass. As is generally known filter "Cyclone" is effective enough in catching of large диспертного of dust, but small effective in catching of finely dispersible of dust. For the increase of efficiency of besieging of finely dispersible of dust in "Cyclone" it is necessary to increase mass of particles of dust, id est скоагулювати part. Intensification of process of coagulation of dust and increase of efficiency of her catching is arrived at by that an ultrasonic radiation operates on the particles of dust.

Ultrasonic of coagulation shows by itself the process of rapprochement and enlargement, self-weighted in an eider or liquid of shallow hard parts, liquid drops and blubs under the action of acoustic vibrations of audio or ultrasonic frequencies. Speed of of coagulation, id est efficiency of process of cleaning of shale-gases from dispersible admixtures by means of imposition of ultrasonic vibrations of high intensity of is determined: intensity of vibrations, sometimes displays, by frequency, initial concentration. All of of of it allows to establish that by means of worked out пылеуловителя of of at transporting, дробуванні and upcast of raw material is created normal sanitary are hygiene of terms labours after a dustborne factor, which fully eliminate an origin for the workers of пневмо коніоза.

Keywords: mountain enterprise, пневмо коніоз, ardor catchers.

УДК 622.453

Евстратенко Л. И. Влияние гранулометрического состава пористой среды аэродинамических зон обрушений Кривбасса на режимы фильтрации воздуха

Изучено влияние гранулометрического состава пористой среды в обрушенных зонах на величину их аэродинамического сопротивления. Показано, что режим движения воздуха в пористой среде зависит как от крупности одномерных частиц породы, так и от объема мелких фракций, содержащихся в ней. Получены аэродинамические характеристики пористой среды в зависимости от изменения крупности одномерных частиц породы и от объема мелких фракций, содержащихся в ней.

В результате выполненных исследований установлено влияние гранулометрического состава пористой среды аэроактивных зон обрушений Кривбасса на режимы фильтрации воздуха. Установлено, что режим движения воздуха в пористой среде зависит как от крупности одномерных частиц породы, так и от объема мелких фракций, содержащихся в ней. Получены аэродинамические характеристики пористой среды в зависимости от изменения крупности одномерных частиц породы и от объема мелких фракций, содержащихся в ней, позволяющие рассчитать фильтрационные потоки воздуха в обрушенных зонах при различных условиях проветривания горных выработок, а также определить параметры обрушенных зон (проницаемость, пористость и др.).

Євстратенко Л.І. Вплив гранулометричного складу пористого середовища аеродинамічних зон обвалення Кривбасу на режими фільтрації повітря.

Вивчено вплив гранулометричного складу пористого середовища в обрушених зонах на величину їх аеродинамічного опору. Показано, що режим руху повітря в пористому середовищі залежить як від крупності одновимірних частинок породи, так і від вмісту в ньому дрібних фракцій. Отримано аеродинамічні характеристики пористого середовища в залежності від зміни крупності одновимірних частинок породи і від вмісту в ньому дрібних фракцій.

У результаті виконаних досліджень встановлено вплив гранулометричного складу пористого середовища аероактивних зон обвалень Кривбасу на режими фільтрації повітря. Встановлено, що режим руху повітря в пористому середовищі залежить як від крупності одновимірних часток породи, так і від обсягу дрібних фракцій, утримуючихся в ній. Отримано аеродинамічні характеристики пористого середовища в залежності від зміни крупності одновимірних часток породи і від обсягу дрібних фракцій, що містяться в ній, що дозволяють розрахувати фільтраційні потоки повітря в завалених зонах при різних умовах провітрювання гірничих виробок, а також визначити параметри завалених зон (проникність, пористість та ін.).

Liliya Evstratenko Influence of the granulometric composition of porous medium of krivbass aeroactive caving zones on the air filtration modes

The influence of the particle size distribution of the porous medium in the collapsed areas by the amount of aerodynamic drag. It is shown that the mode of air flow into the porous medium depends on the dimensional size of rock particles and on the amount of fines contained therein. Obtained aerodynamic characteristics of the porous medium as a function of changes in dimensional size of rock particles and the volume of fines contained therein.

As a result of the executed researches, the influence of particle size distribution of the porous medium of the aeroactive caving zones of Krivbass on the modes of air filtration was established. It was established that the air circulation mode in the porous medium depends as on the coarseness of dimensional rock particles and the volume of fine fractions contained therein. It was obtained the aerodynamic characteristics of the porous medium depending on the changes in coarseness of dimensional rock particles and on the volume of fine fractions contained therein, allowing to calculate filtration flows of air in caved zones under different conditions of ventilation of mine workings, as well as to determine the parameters of caved zones (permeability, porosity, etc.).

УДК 621.311.22 – 047.58:515.173.6

Замницький О.В., Шепеленко М.І. 3D-моделювання в теплоенергетиці

У науковій праці розглянуті основні принципи 3D-моделювання теплоенергетичних об'єктів. Доповнення візуалізації до традиційних методів обчислень дозволить не тільки максимально сприйняти принцип дії та зовнішню подобу устаткування, але й оптимізувати процес аналізу тепломасообмінних процесів, які протікають в даному устаткуванні. В якості об'єкта візуалізації був обраний парогенератор марки E-75-42-440 КТ, він оснащений необхідними трубопроводами в його межах і арматурою, а також пристроями для відбору проб котлової і живильної води, насиченої і перегрітої пари. Даний агрегат проектується і виготовляється в блочному виконанні, так як конструкція котла допускає монтаж поставними блоками або їх збірку в монтажні блоки. Для створення 3D-моделі парогенератора використаний програмний продукт КОМПАС-3D компанії АСКОН. На підставі аналізу його можливостей виявлено недоліки та переваги даного програмного забезпечення при проектуванні теплоенергетичних об'єктів. Також розглянута можливість експорту моделі з середовища КОМПАС до середовища інших CAD (computer-aided design) систем, що дозволяє створювати рендерінг моделі; виконувати анімацію, як елементів устаткування, так і тепломасообмінних процесів, які протікають в даній моделі устаткування; проводити поглиблений аналіз тепломасообмінних процесів.

Замыцкий О.В., Шепеленко М.И. 3D-моделирование в теплоэнергетике

У науковій праці розглянуті основні принципи 3D-моделювання теплоенергетичних об'єктів. Доповнення візуалізації до традиційних методів обчислень дозволить не тільки максимально сприйняти принцип дії та зовнішню подобу устаткування, але й оптимізувати процес аналізу тепломасообмінних процесів, які протікають в даному устаткуванні. В якості об'єкта візуалізації був обраний парогенератор марки E-75-42-440 КТ, він оснащений необхідними трубопроводами в його межах і арматурою, а також пристроями для відбору проб котлової і живильної води, насиченої і перегрітої пари. Даний агрегат проектується і виготовляється в блочному виконанні, так як конструкція котла допускає монтаж поставними блоками або їх збірку в монтажні блоки. Для створення 3D-моделі парогенератора використаний програмний продукт КОМПАС-3D компанії АСКОН. На підставі аналізу його можливостей виявлено недоліки та переваги даного програмного забезпечення при проектуванні теплоенергетичних об'єктів. Також розглянута можливість експорту моделі з середовища КОМПАС до середовища інших CAD (computer-aided design) систем, що дозволяє створювати рендерінг моделі; виконувати анімацію, як елементів устаткування, так і тепломасообмінних процесів, які протікають в даній моделі устаткування; проводити поглиблений аналіз тепломасообмінних процесів.

Zamytskyi O.V., Shepelenko M.I. 3D is a design in warm to energy

Basic of principles of 3D is a design of теплоенергетичних objects are considered in scientific labour. Adding of visualization to the traditional methods of calculations will allow not only maximally to perceive principle of action and external similarity of equipment but also optimize the process of analysis of warm масообмінних processes which flow in this equipment. In of quality the object of visualization there was select парогенератор of brand of E- 75-42-440 КТ, he is equipped by necessary pipelines in his limits and armature, and also by devices for sampling of caldrion and nourishing water, saturated and overheated pair. This of asm is designed and made in sectional implementation, so construction of caldrion assumes editing поставними blocks or their collection in assembling blocks. For of creation of 3D-моделі of паро generator of the software product of КОМПАС- of a 3D company of АСКОН of of of is used. On of the basis of analysis of his possibilities defects and advantages of this software are educed at planning of теплоенергетичних objects. Also of of of considered possibility of export of model from an environment of COMPASS of to the environment of other of CAD (computer - aided design) of the systems, that allows to create рендерінг models; to execute animation, both elements of

УДК 563

Kiriyenko S. M. Analysis of efficiency of biological treatment of domestic wastewater application at private locality near the southern mining and ore-dressing complex

Resulting from intensive construction activity at localities without canalization system with creation of living environment and such constructions as infectious diseases hospital, camping centers, small agro-processing enterprises problem of wastewater treatment of such objects by establishment of scientifically based, reliable, compact, low energy technological schemes and designs systems of low productivity take center stage. Not all the treatment facilities and wastewater treatment methods provide quality wastewater treatment and give reliable operations or require highly qualified personnel presence. Therefore improvement of existing and development of more effective and safe in terms of Ecology wastewater treatment methods is urgent. Using of remediation facilities is one of the perspective trends of wastewater treatment. Treatment facilities combining basic construction elements of land treatment with hydrobiocenosis of bio-plateau or bioponds with higher water plant. BTP technology uses processes of sedimentation, filtration and natural self-purification of water objects based on the ability of higher water plants, aquatic flora and microorganisms to carry out destruction, transformation and accumulation of organic and mineral suspended solids, oil, heavy metals and bacterial contamination. Using advanced technologies based on the actions of higher water plants nowadays are environmentally acceptable and economically promising direction in wastewater treatment systems. Distribution of such technologies can contribute to improving the environmental situation at localities without canalization system in Krivoy Rog.

Key words: biological treatment of water, bio-plateau, higher water plant.

Кірієнко С.М. Дослідження ефективності застосування біологічної очистки побутових стічних вод в приватному населеному пункті біля південного гірничо-збагачувального комбінату

Одним із варіантів вирішення проблеми очистки побутових стічних вод в приватному населеному пункті біля Південного гірничозбагачувального комбінату є застосування біоінженерної споруди. Вагомими перевагами використання біоінженерних споруд при очистці побутових стічних вод є те, що це екологічно чистий метод, який моделює природні процеси самоочищення води, значно дешевший за традиційні очисні споруди, метод біоінженерних споруд є також енергозберігаючою технологією, яка не передбачає застосування коагулянтів, флокулянтів та іоноактивних сполук, що забезпечує високу ефективність очистки побутових стічних вод. Технологія біоінженерних споруд використовує процеси седиментації, фільтрації та природного самоочищення водних об'єктів, заснованого на здатності вищої водної рослинності, водної мікрофлори і мікроорганізмів здійснювати деструкцію, трансформацію та акумуляцію органічних, мінеральних і зважених речовин, нафтопродуктів, іонів важких металів і бактеріального забруднення. Використання прогресивних технологій, заснованих на дії вищих водних рослин, у наш час є екологічно прийнятним і економічно найбільш перспективним напрямком у системі очищення стічних вод. Розповсюдження таких технологій може сприяти поліпшенню екологічної ситуації в регіоні. У статті запропонований біологічний метод очистки побутових стічних вод за типом біоплато у приватному населеному пункті біля Південного гірничозбагачувального комбінату. Розглянуто переваги та ефективність застосування біоплато у неканалізованих районах, а також механізми видалення забруднюючих речовин у цих спорудах.

Ключові слова: біологічна очистка вод, біоплато, вищі водні рослини.

Кириєнко С.М. Исследование эффективности применения биологической очистки бытовых сточных вод в частном населенных пунктов возле южного горно-обогатительного комбината

В связи с интенсивным строительством в неканализованных районах жилья с высоким уровнем благоустройства, зданий, таких как инфекционные больницы, турбазы, небольшие предприятия по переработки сельхозпродукции на передний план выступает проблема очистки сточных вод этих объектов путем создания научно обоснованных, надежных, компактных, неэнергоёмких технологических схем и конструкций установок малой производительности. Не все очистительные сооружения и методы очистки бытовых сточных вод в полной мере обеспечивают качественную очистку сточных вод и не достаточно надежны в эксплуатации, или нуждаются в присутствии высококвалифицированного персонала. Поэтому актуальным является усовершенствование существующих и разработка более эффективных и безопасных с точки зрения экологии методов очистки сточных вод. Одним из перспективных экологических направлений очистки бытовых стоковых вод есть использование сооружений фиторемедиации. Очистительные сооружения, которые объединяют основные элементы сооружений почвенной очистки с гидробиоценозами биоплато или биопрудов с посадкой высших водных растений. Технология биоинженерных сооружений использует процессы седиментации, фильтрации и естественной самоочистки водных объектов, основана на способности высшей водной растительности, водной микрофлоры и микроорганизмов, осуществляют деструкцию, трансформацию и аккумуляцию органических, минеральных и взвешенных веществ, нефтепродуктов, ионов тяжелых металлов, бактериального загрязнения.

Ключевые слова: биологическая очистка вод, биоплато, высшие водные растения.

УДК 62-97: 620.9: 621.1

Суртаєв В.В., Осипчук В.С. Розвиток галузі геотермальної енергетики в Україні

В результаті огляду і аналізу встановлено, що перспективною альтернативою традиційним джерелам енергії являється геотермальна енергетика. Геотермальна енергія дозволяє отримувати необхідну людству енергію завдяки теплоті надр Землі. Чим більше віддалений від центра Землі певний внутрішній шар, тим нижче його температура. Але навіть самий верхній шар Землі (біля 10-ти кілометрів) містить кількість теплоти, якої достатньо для забезпечення всіх енергетичних потреб людини. Через розлами в корі тепло проникає на поверхню планети. Потенціал геотермальної енергії величезний і невичерпний. Залишається лише навчитися використовувати те, що так великодушно дарує природа. Потенціал надр Землі дозволяє покрити усі потреби людини в енергії. Розглянуті теоретичні і практичні питання введення геотермальних станцій. Розглянуті схеми, устаткування і технології геотермальної енергетики в Україні і інших країнах.

Доступність і мінімум витрат на відбір пари й гарячої води з поверхні Землі давно цікавлять дослідників. Однак, у більшості країн тепло Землі приховано глибоко в її надрах. Розробку глибинних джерел теплоти почали порівняно недавно й практично одночасно в таких країнах як США, Японія, Ісландія, Китай, Філіппіни, Англія, Франція, ФРН. Найбільше досягнень у даному напрямку мають США та Франція. Промислове освоєння геотермальних ресурсів у світі почалося після створення й пуску в Італії в 1916 р. геотермальної електростанції потужністю 7,5 МВт із трьома турбінами фірми «Франко Този» потужністю по 2,5 МВт кожна. Однак широке промислове будівництво геотермальних електростанцій було розгорнуто тільки в 60-х рр. у США, Новій Зеландії, Японії, Ісландії й ін. країнах

Ключові слова: гейзери, геотермальні електростанції, свердловини, турбіни, робоче тіло, енергоблок, мінералізовані води.

Суртаев В.В., Осипчук В.С. Развитие отрасли геотермальной энергетики в Украине

В результате осмотра и анализа установлено, что перспективной альтернативой традиционным источникам энергии является геотермальная энергетика. Геотермальная энергия позволяет получать необходимого человечеству энергию благодаря теплоте недр Земли. Чем больше удален от центра Земли определенный внутренний слой, тем ниже его температура. Но даже самый верхний слой Земли (около 10-ти километров) содержит количество теплоты, которой достаточно для обеспечения всех энергетических потребностей человека. Через разломы в коре тепло проникает на поверхность планеты. Потенциал геотермальной энергии огромен и неисчерпаем. Остается только научиться использовать то, что так великодушно дарит природа. Потенциал недр Земли позволяет покрыть все потребности человека в энергии. Рассмотрены теоретические и практические вопросы введения геотермальных станций. Рассмотрены схемы, оборудование и технологии геотермальной энергетики в Украине и других странах.

Доступность и минимум затрат на отбор пара и горячей воды с поверхности Земли давно интересуют исследователей. Однако, в большинстве стран тепло Земли скрыто глубоко в ее недрах. Разработку глубинных источников теплоты начали сравнительно недавно и практически одновременно в таких странах как США, Япония, Исландия, Китай, Филиппины, Англия, Франция, ФРГ. Больше достижений в данном направлении имеют США и Франция. Промышленное освоение геотермальных ресурсов в мире началось после создания и запуска в Италии в 1916 геотермальной электростанции мощностью 7,5 МВт с тремя турбинами фирмы «Франко Този» мощностью по 2,5 МВт каждая. Однако широкое строительство геотермальных электростанций было развернуто только в 60-х гг. В США, Новой Зеландии, Японии, Исландии и др. стран/

Ключевые слова: гейзеры, геотермальные электростанции, скважины, турбины, рабочее тело, энергоблок, минерализованные воды.

Surtaev V.V., Osypchuk S.V. Trends of Ukraine geothermal energy industry

The survey and analysis showed that a promising alternative to traditional sources of energy is geothermal energy. Geothermal energy allows energy supply due to Earth's internal heat. The farther a particular layer is from Earth's center the lower its temperature is. But even the upper layer (about 10 km) contains the amount of heat sufficient enough for satisfying all human needs for energy. The heat reaches the surface through the crust fractures. The geothermal potential is enormous and inexhaustible. The task is to learn to use what is generously given by nature. The schema, the geothermal energy equipment and technologies in Ukraine and throughout the world are discussed. Earth potential allows covering all the needs of the person in power. Theoretical and practical issues of commissioning geothermal stations are considered.

Availability and minimum costs to the steam and hot water selection from the surface of the Earth have interested researchers for a long time. However, in most of the countries heat of the Earth is hidden deep in its depth. The development of deep heat sources started recently and almost simultaneously in such countries as the US, Japan, Iceland, China, the Philippines, Britain, France and Germany. Industrial development of geothermal resources in the world was started with the creation and start in Italy in 1916 geothermal power plant with the capacity 7.5 MW with three turbines by "Franco toga" with the capacity 2.5 MW each. However, widespread industrial building of geothermal power plants have been started only in the 60's. In the US, New Zealand, Japan, Iceland and others. Countries.

Key words: geysers, geothermal power plants, holes, turbine, working body, power unit, mineralized water.

УДК 622.807.1

Шаповалов В.А. Дослідження ізокінетичності руху потоку повітря в порожнині пилоприбирального насадку

Серед комплексу санітарно-гігієнічних заходів боротьби з пилом прибирання виробничих приміщень займає важливе місце. Видалення осілого пилу за допомогою промислових пиლოსосних установок забезпечує високі санітарно-гігієнічні умови праці і підвищує продуктивність. Ефективна і економічна робота промислових пилоприбиральних установок в значній мірі залежить від робочого органу – пилоприбирального насадку, в порожнині якого відбуваються складні аеродинамічні процеси. Втрати тиску в порожнині пилоприбирального насадку складають значну частину від загальних витрат тиску у системі трубопроводів пилоприбиральних систем. Зменшення цих витрат можна спостерігати в такій конструкції насадку, який має рівновеликі площі всмоктувальної щілини, вихідного патрубку і довільних перетинів порожнини корпусу. Тобто, коли в порожнині насадку буде дотримуватися принцип ізокінетичності руху повітряного потоку. Для досягнення цього принципу зменшення довжини всмоктувальної щілини повинно відбуватися за рахунок звуження порожнини, обмеженої вертикальними поверхнями, виконаних по дугах двох кіл, а ширину всмоктувальної щілини необхідно збільшувати до діаметра патрубка між клиновидними вертикальними поверхнями, що розширюються. Аналітичне дослідження довільних площ перетинів порожнини насадку та експериментальні виміри швидкості повітряних потоків у цих перетинах показали, що для досягнення в ньому принципу ізокінетичності необхідно, щоб перехід від всмоктувальної щілини до вихідного патрубка здійснювався за овальним сполученням горизонтальних і вертикальних поверхонь корпусу, виконаних вищевказаним способом.

Шаповалов В.А. Исследование изокINETИЧНОСТИ движения потока воздуха в полости пылоприбирального насадку

Среди комплекса санитарно-гигиенических мероприятий по борьбе с пылью уборка производственных помещений занимает важное место. Уборка осевшей пыли при помощи промышленных пылесосных установок обеспечивает высокие санитарно-гигиенические условия труда и повышает производительность. Эффективная и экономичная

работа промышленных пылеуборочных установок в значительной степени зависит от рабочего органа – пылеуборочного насадка, в полости которого происходят сложные аэродинамические процессы. Потери давления в полости пылеуборочного насадка составляют значительную часть от общих потерь давления в системе трубопроводов пылеуборочных систем. Уменьшение этих потерь можно достичь в такой конструкции насадка, которая имеет равновеликие площади всасывающей щели, выходной патрубка и произвольных сечений полости корпуса. То есть, когда в полости насадка будет соблюдаться принцип изокинетичности движения воздушного потока. Для соблюдения этого принципа уменьшение длины всасывающей щели должно осуществляться за счет сужения полости, ограниченной вертикальными поверхностями, выполненными по радиусу двух окружностей, а ширину всасывающей щели необходимо увеличивать до диаметра патрубка между клиновидными расширяющимися вертикальными поверхностями. Аналитическое исследование площади сечений полости насадка и экспериментальные данные скорости воздушных потоков в этих сечениях показали, что для соблюдения условия изокинетичности для воздушного потока необходимо, чтобы переход от всасывающей щели к выходному патрубку осуществлялся по овальной сопряжению горизонтальных и вертикальных поверхностей корпуса, выполненных вышеуказанным способом.

Shapovalov V.A. Research of iso kinenik motion of blast in the cavity of drank harvest attachment

Among the complex of sanitary-hygenic measures on a fight against a dust, cleaning up of shopfloors occupies an important place. Cleaning up of settling dust through industrial vacuum cleaner options provides the high sanitary-hygenic terms of labour and promotes the productivity. Effective and economical work of industrial пылеуборочных options largely depends on a working organ is пылеуборочного attachment, in the cavity of which there are difficult aerodynamic processes. The losses of pressure in the cavity of пылеуборочного насадка make considerable part from the general losses of pressure in the system of pipelines of the пылеуборочных systems. Diminishing of these losses it is possible to attain in such construction of насадка, which has isometric areas of suction crack, output union coupling and arbitrary sections of cavity of corps. Id est, when principle of изокинетичности motion of current of air will be observed in the cavity of насадка. For the observance of this principle diminishing of length of suction crack must be carried out due to narrowing of cavity, limited to the vertical surfaces, executed on the radius of two circumferences, and the width of suction crack must be increased to the diameter of the union coupling between wedge-shaped broadening vertical surfaces. Analytical research of area of sections of cavity of насадка and these experimental speeds of currents of air showed in these sections, that for the observance of condition of изокинетичности it is necessary for the current of air, that a transition from a suction crack to the output union coupling was carried out on the oval interface of horizontal and vertical surfaces of corps, executed by a foregoing method.

УДК 621.18

Осадчук Ю.Г., Козакевич И.А., Лисиютенко И.Ю. Анализ пульсаций электромагнитного момента двухфазного асинхронного двигателя

Асинхронный электропривод является одним из наиболее перспективных для привода малых мощностей. В работе рассмотрены основные схемы, используемые в регулируемом электроприводе на базе двухфазного асинхронного двигателя, к числу которых относится питание от трехфазного инвертора напряжения, а также схема на базе матричного преобразователя. Обосновано, что более целесообразной по экономическим соображениям является схема, предусматривающая питание двигателя от трехфазного инвертора. Для этой схемы проведен анализ способов формирования выходного напряжения с помощью широтно-импульсной модуляции. Для варианта, предполагающего использование пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции, на основании спектрального анализа получен гармонический состав напряжений и токов двигателя, а также оценены пульсации электромагнитного момента. Доказано, что наличие таких пульсаций приводит к существенному снижению показателей качества регулирования системы управления электроприводом. Путем анализа уравнений, описывающих состояние двухфазной асинхронной машины, получены аналитические зависимости для статорных и роторных токов, а также электромагнитного момента машины. Результаты подтверждены моделированием методом конечных элементов в среде Ansoft Maxwell, а также с использованием модели с сосредоточенными параметрами в среде Matlab/Simulink.

Осадчук Ю.Г., Козакевич И.А., Лисиютенко И.Ю. Аналіз пульсацій електромагнітного моменту двофазного асинхронного двигуна

Асинхронний двофазний електропривод є одним з найбільш перспективних для приводу малих потужностей. У роботі розглянуто основні схеми, що використовуються у регульованому електроприводі на базі двофазного асинхронного двигуна, до числа яких відносяться живлення від трифазного інвертора напруги, а також схема на базі матричного перетворювача. Обґрунтовано, що найбільш доцільним з економічних міркувань є використання схеми, що передбачає живлення двигуна від трифазного інвертора. Для цієї схеми проведено аналіз способів формування вихідної напруги за допомогою широтно-імпульсної модуляції. Для варіанту, що передбачає використання просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції, на основі спектрального аналізу отримано гармонійний склад напруг та струмів двигуна, а також виконана оцінка пульсацій електромагнітного моменту. Доведено, що наявність таких пульсацій призводить до суттєвого зниження показників якості регулювання системи керування електроприводом. Шляхом аналізу рівнянь, що описують стан двофазної асинхронної машини, отримано аналітичні залежності для статорних та роторних струмів, а також електромагнітного моменту машини. Результати підтверджено моделюванням методом кінцевих елементів у середовищі Ansoft Maxwell, а також з використанням моделі з зосередженими параметрами у середовищі Matlab/Simulink.

Osadchuk Y.G., Kozakevich I.A., Lisiutenko I.U. Asynchronous two-phase electric motor is one of the most promising for low power electric drives. The paper discusses the basic circuits used in the regulated electric drive on the basis of a two-phase induction motor, which include the power of three-phase voltage inverter, as well as the scheme based on matrix converter. Justified, that would be more appropriate for economic reasons is a scheme which provides power to the motor from the three-phase inverter. For this scheme, the analysis methods of generating an output voltage by using pulse width modulation. For options, involving the use of space vector pulse width modulation based on the spectral analysis of radiation-harmonic composition of voltages and currents of the engine, as well as the estimated electromagnetic torque ripple. It is

proved that the presence of such fluctuations leads to significant declines in the quality of regulation motor system control. By analyzing the equations that describe the state of the two-phase asynchronous machine analytical dependence for the stator and rotor currents and electromagnetic torque of the machine. Results are confirmed by finite element modeling environment Ansoft Maxwell, as well as using a model with lumped parameters in the environment Matlab / Simulink.

УДК 622.274.3.

Громадский А.С., Римарчук Б.И., Горбачев Ю.Г., Кузьменко Д.И. Новая технология проведения подэтажных горизонтальных выработок

Разработана и испытана в промышленных условиях новая технология бурения скважин, при которой компенсационная скважина увеличенного диаметра не заряжается, а выполняет во врубе роль дополнительной обнаженной полости. Уточнены параметры вруба и схемы бурения забоя. Разработан новый буровой инструмент для формирования компенсационных скважин как в одну, так и в две стадии, у которого скорость бурения выше в 1,9 раз, а скорость износа меньше в 1,53 раза. Рекомендованы формулы для расчета расстояния между взрываемым шпуром и компенсационной полостью в зависимости от крепости породы. В результате применения новой технологии бурения скважин количество шпуров при бурении в забое по породам средней крепости $f=10-12$ по шкале проф. М.М. Протодяконова уменьшено в 1,2 раза, количество шпуров подлежащих заряданию как для пород средней крепости $f=10-12$, так и для крепких пород $f=15-18$ уменьшено в 1,08 раз. КИШ при стандартной схеме проходки забоя сечением $5,7 \text{ м}^2$ по породам средней крепости $f=10-12$ составляет 0,75, а по крепким породам $f=15-18 - 0,92$. В результате применения новой технологии проходки забоя такого же сечения достигнуты коэффициенты использования шпуров по породам средней крепости $f=10-12$ (с одной компенсационной скважиной) - 0,9, а по крепким породам $f=15-18$ (с двумя компенсационными скважинами) - 1,0.

Громадський А.С., Римарчук Б.І., Горбачов Ю.Г., Кузьменко Д.І. Нова технологія проведення підповерхових горизонтальних виробок

Розроблена й випробувана в промислових умовах нова технологія буріння свердловин, при якій компенсаційна свердловина збільшеного діаметру не заряджається, а виконує у врубі роль додаткової оголеною порожнини. Уточнено параметри врубу і схеми буріння забою. Розроблено новий буровий інструмент для формування компенсаційних свердловин як в одну, так і в дві стадії, у якого швидкість буріння вище в 1,9 рази, а швидкість зносу менше в 1,53 рази. Рекомендовані формули для розрахунку відстань між шпуром та компенсаційної порожниною залежно від міцності породи. В результаті застосування нової технології буріння свердловин кількість шпурів при бурінні в забої по породах середньої міцності $f=10-12$ за шкалою проф. М.М. Протодяконова зменшено в 1,2 рази, кількість шпурів які підлягають заряджанню, як для порід середньої міцності $f=10-12$, так і для міцних порід $f=15-18$ зменшено в 1,08 рази. КВШ при стандартній схемі проходки забою перетином $5,7 \text{ м}^2$ по породах середньої міцності $f=10-12$ становить 0,75, а по міцних породах $f=15-18 - 0,92$. В результаті застосування нової технології проходки забою такого ж перетину досягнуті коефіцієнти використання шпурів по породах середньої міцності $f=10-12$ (з одного компенсаційної свердловиною) - 0,9, а по міцних породах $f=15-18$ (з двома компенсаційними свердловинами) - 1,0.

Gromadskiy A.S., Rumarchuk B.I., Gorbachov Ju.G., Kuzmenko D.I. New technology of realization of the subfloor horizontal making

Developed and tested in industrial conditions the new technology of drilling, in which a compensation bore of enlarged diameter is not charging, and performs in the kerfs role of the additional cavity. Refined parameters of the groove and schemes drilling slaughter. Developed a new drilling tool for forming the compensation of wells as in one or two stages at which the drilling speed 1.9 times higher, and the rate of wear in less of 1.53 times. The recommended formula for calculating the distance between the hole and explode the compensation cavity, depending on the strength of the breed. As a result of new technology for drilling a number of boreholes while drilling in the mine on the rocks of medium strength $f=10-12$ on a scale of Professor M. M., Protodyakonov reduced by 1.2 times, the number of holes to be loading for rocks of medium strength $f=10-12$, and hard rock ($f=15-18$ reduced 1.08 times. KISH when sinking the bottom section of 5.7 m^2 on the rocks of medium strength ($f=10-12$ 0.75, and hard rock ($f=15-18 - 0.92$. As a result of new technology for drilling face the same section achieved using coefficient of holes over the rocks of medium strength $f=10-12$ (one compensating bore) is 0.9, and hard rock ($f=15-18$ (with two countervailing wells) to 1.0.

УДК 621.3.029.4: 622.785

Filatov S.V., Zhukov S.A., Girin I.V., Filatov A.S. Decrease of iron-ore transportation cost price by supersize trucks at the expense of rolling coefficient reduction

The article essence of influence of disintegration going down of down wheels of heavy open - pit auto of tipper of is exposed on deformation of tires and on their hysteresis, and consequently and on the coefficient of resistance to wobbling of car. Digital of values over of influence of coefficient of resistance to wobbling are also brought on the powerful indexes of open - pit auto - tipper. In addition, methods, which will help to reduce the expense of combustible lubricating materials, promote efficiency of work of heavy open - pit auto-ipper of and labour intensiveness of technical service, are examined in the article, permanent repair, which will promote safety of motion of open - pit auto - ipper, and their course firmness the same, to cut prime cost the same portage heavy open - pit auto by tippers, and also to decide the problem of горно metallurgical complex, economy and ecology of transport.

Keywords: disintegration-going down, deformation of tires, hysteresis, coefficient of resistance to wobbling, expense of combustible lubricating materials, efficiency of work, prime price of portages, ecology

Філатов С. В., Жуков С.О., Гірін І.В., Філатов А.С. Зниження собівартості транспортування залізної руди великовантажними кар'єрними автосамоскидами за рахунок зменшення коефіцієнту кочення

У статті розкрито суть впливу розвал-сходження коліс великовантажного кар'єрного автосамоскида на деформацію шин, на їх гістерезис, а отже, і на коефіцієнт опору коченню автомобіля. Також наведено цифрові значення впливу коефіцієнта опору коченню на потужнісні показників кар'єрного автосамоскида. Крім того, розглядаються методи,

які допоможуть понизити витрату паливно-мастильних матеріалів, підвищити ефективність роботи великовантажних кар'єрних автосамоскидів і трудомісткість технічного обслуговування, поточного ремонту, який тим самим підвищить безпеку руху кар'єрних автосамоскидів, і їх курсову стійкість, тим самим понизити собівартість транспортування великовантажними кар'єрними автосамоскидами, а також розв'язати проблему гірничо-металургійного комплексу, економіки і екології транспорту.

Ключові слова: розвал-сходження, деформація шини, гістерезис, коефіцієнт опору коченню, витрата горюче-мастильних матеріалів, ефективність роботи, собівартість транспортування, екологія

Филатов С. В., Жуков С. А., Гирин И. В., Филатов А. С. Снижение себестоимости транспортирования железной руды большегрузными карьерными автосамосвалами за счет уменьшения коэффициента сопротивления качению В статье раскрыта суть влияния развал-сходжения колес большегрузного карьерного автосамосвала на деформацию шин и на их гистерезис, а следовательно и на коэффициент сопротивления качению автомобиля. Также приведены цифровые значения влияния коэффициента сопротивления качению на мощностные показатели карьерного автосамосвала. Кроме того, рассматриваются методы, которые помогут снизить расход горюче-смазочных материалов, повысить эффективность работы большегрузных карьерных автосамосвалов и трудоемкость технического обслуживания, текущего ремонта, который тем самым повысит безопасность движения карьерных автосамосвалов, и их курсовую стойкость, тем самым снизить себестоимость транспортирования большегрузными карьерными автосамосвалами, а также решить проблему горно-металлургического комплекса, экономики и экологии транспорта.

Ключевые слова: развал-сходжение, деформация шины, гистерезис, коэффициент сопротивления качению, расход ГСМ, эффективность работы, себестоимость транспортирования, экология

УДК 621.313.33

Максимов М. М., Філіпп Ю. Б., Рибкін Р. О. Формування еквівалентного струму асинхронного двигуна з модуляцією керуючої дії

На підставі того, що асинхронні двигуни з різних причин виходять з ладу (через перевантаження, несприятливі умови навколишнього середовища, низьку якість мережі живлення та ін.) було визначено необхідність проведення комплексу ремонтних робіт, в результаті яких двигун можна повторно експлуатувати протягом тривалого часу. Визначено найбільш вразливе місце електричної машини під час проведення ремонтних робіт.

На підставі відомих раніше публікацій, в яких зазначається можливість дослідження реальних характеристик відремонтованого двигуна, було проведено якісний аналіз із зазначенням існуючих недоліків, які були б максимально зменшені з використанням запропонованої системи.

У результаті, запропоновано декілька варіантів зміни електромагнітної енергії обмоток двигуна, що дасть можливість навантажити його виключаючи можливість механічного впливу на вал. Дані обставини наочно обґрунтовуються наведеними формулами зміни частоти, напруги живлення та моменту.

Для представлення режимів роботи електричної машини у повному циклі навантаження наведено графік штучної та природної механічних характеристик із зазначенням усіх робочих точок.

Для доведення реальної працездатності запропонованої системи було проведено її моделювання з повним циклом навантаження та представлені результати у вигляді осцилограм фазових координат довільно обраного двигуна.

Величина статичного навантаження обиралась згідно з умов дотримання номінального струму та не перевищення перевантажувальної здатності асинхронного двигуна. Оскільки, за мету роботи ставилось не лише створення універсальної моделі, а й економічно вигідної – було додатково визначено потужність, яка виділялась у вигляді втрат та побудовано її осцилограму.

Ключові слова: асинхронний двигун, частота, форма напруги, модуляція, навантаження, потужність, синхронна швидкість.

Максимов М. М., Филипп Ю. Б., Рибкин Р. О. Формирование эквивалентного тока асинхронного двигателя с модуляцией управляющего действия

На основании того, что асинхронные двигатели по различным причинам выходят из строя (через перегрузку, неблагоприятные условия окружающей среды, низкое качество сети питания и др.) была определена необходимость проведения комплекса ремонтных работ, в результате которых двигатель можно повторно эксплуатировали в течение длительного времени. Определено наиболее уязвимое место электрической машины во время проведения ремонтных работ.

На основании известных ранее публикаций, в которых отмечается возможности исследования реальных характеристик отремонтированного двигателя, был проведен качественный анализ с указанием существующих недостатков, которые были бы максимально уменьшены с использованием предложенной системы.

В результате, предложено несколько вариантов изменения электромагнитной энергии обмоток двигателя, который даст возможность нагрузить его, исключая возможность механического влияния на вал. Данные обстоятельства наглядно обосновываются приведенными формулами изменения частоты, напряжения питания и момента.

Для представления режимов работы электрической машины в полном цикле нагрузки приведен график искусственной и естественной механических характеристик с указанием всех рабочих точек.

Для доведения реальной работоспособности предложенной системы было проведено ее моделирование с полным циклом нагрузки и представленные результаты в виде осциллограмм фазовых координат произвольно избранного двигателя.

Величина статической нагрузки избиралась согласно условий соблюдения номинального тока и не превышения перегрузочной способности асинхронного двигателя. Поскольку, за цель работы относилось не только создание универсальной модели, но и экономически выгодной - была дополнительно определена мощность, которая выделялась в виде потерь и построена ее осциллограмма.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, частота, форма напряжения, модуляция, нагрузка, мощность, синхронная скорость.

Maximov M.M., Filipp Ju.B., Rybkin R.O. Forming of equivalent current of asynchronous engine with modulation of managing action

On the basis of that asynchronous engines for diverse reasons fall out (through an overload, unfavorable terms of environment, subzero quality of network of feed and other) the necessity of realization of complex of workovers as a result of which engine it is possible repeatedly exploited during great while was certain. The most vulnerable location of electric machine is determined during realization of workovers.

On the basis of the publications in which it is marked to possibility of research of the real descriptions of the repaired engine known before, a high-quality analysis was conducted with pointing of existent defects which would be maximally diminished with the use of the offered system.

As a result, a few variants of change of electromagnetic energy of обмоток of engine which will enable to load him are offered, except possibility of mechanical influence on a billow. These circumstances are evidently grounded the brought formulas over of change of frequency, tensions of feed and moment.

For presentation of the modes of operations of electric machine in the complete loop of loading a chart over is brought by artificial and natural mechanical descriptions with pointing of all q-points.

For leading to of the real capacity of the offered system her design with the complete cycle of loading and presented results was conducted as oscillograms of phase co-ordinates of arbitrarily select engine.

The size of the static loading was elected in obedience to the terms of observance of nominal current and not exceeding of shifting ability of asynchronous engine. As, not only creation of universal model belonged for the purpose of work but also economic advantageous, - power which was distinguished as losses and her oscillogram is built was additionally certain.

Keywords: asynchronous engine, frequency, form of tension, modulation, loading, power, synchronous speed.

УДК 658.3:622.8

Швагер Н.Ю., Заїкіна Д.П. Сертифікація системи управління охороною праці як основа успішної політики в галузі охорони праці на підприємстві

У статті показано значущість розроблення СУОП за вимогами стандарту OHSAS 18001. Відповідальність за ефективну роботу в галузі охорони праці та профілактики професійної патології лежить на керівництві підприємства, за яким закріплені зобов'язання за надання ресурсів, необхідних для впровадження, контролю та удосконалення СУОП. Даний стандарт застосовується відносно будь-яких підприємств, які бажають виключити або звести до мінімуму ризики і небезпеки для своїх співробітників і зацікавлених сторін, які у зв'язку зі своєю професійною діяльністю піддають ризику своє здоров'я і безпеку. Перехід України до ринкової економіки, задекларування курсу на інтеграцію з країнами ЄС, вимагає від підприємств усіх форм власності переходу на європейські стандарти у всіх сферах діяльності, в тому числі охорони праці. Вимоги OHSAS 18001 легко з'єднуються з вимогами інших міжнародних стандартів, такими як ISO 9000 та ISO 14000. Крім того, стандарт OHSAS 18001 є загальнотехнічним стандартом, що дозволяє впроваджувати його в будь-яку сферу виробництва і будь-якому секторі економіки. На підставі цього запропоновано сертифікування СУОП, що дозволить об'єктивно оцінити результативність її функціонування.

Швагер Н.Ю., Заїкіна Д.П. Сертификация систем управления охраны труда как основа успешной политики в области охраны труда на предприятии

В статье показано значение разработки СУОТ по требованиям стандарта OHSAS 18001. Ответственность за эффективную работу в области охраны труда и профилактики профессиональной патологии лежит на руководстве организации, за которым закреплены обязательства за предоставление ресурсов, необходимых для внедрения, контроля и совершенствования системы менеджмента в данной области. Данный стандарт применим в отношении любых организаций, желающих исключить либо свести к минимуму риски и опасности для своих сотрудников и заинтересованных сторон, которые в связи со своей профессиональной деятельностью подвергают риску свое здоровье и безопасность. Переход Украины к рыночной экономике, задекларирована курс на интеграцию с ЕС странами, требования предприятий всех форм собственности переходу на европейские стандарты во всех областях деятельности, в том числе труда. Требования OHSAS 18001 легко соединяются с требованиями других международных стандартов, такими как ISO 9000 и ISO 14000. Кроме того, стандарт OHSAS 18001 является общетехническим стандартом, позволяющим внедрять его в любой сфере производства и любом секторе экономики. Исходя из этого предлагается сертификация системы управления охраной труда, что позволит объективно оценивать эффективность ее функционирования.

Schwager N. Ju., Zaikina D.P. Certification of health, safety and environmental management system as foundation for successful policy in the field of labour protection at enterprise

The importance of the development of HSE MS offer the requirements of OHSAS 18001 standard is shown the article. Responsible for effective work in the field of occupational safety and prevention of occupational pathology [overlay on top floor](#), which are enshrined commitments by resources allocation necessary for the implementation, control and improvement of HSE MS. This standard applies in relation to any businesses that wish to eliminate or minimize the risks and hazards to their employees and stakeholders in connection with their professional activities are subjected to risk their health and safety. The passage of Ukraine to the market economy, declaration of course toward integration with the countries the European Union, require of the enterprises of all forms of the property on to passage to the European standards in all spheres of the activity, including labour safety and health. Requirements of OHSAS 18001 standard can easily connect with the requirements of other international standards, such as ISO 9000 (quality management) and ISO 14000 (environmental management). In addition, the standard OHSAS 18001 is basic standard that allows it is inculcated in any sphere of production and any sectors of economy. On the basis of this it is proposed certification of HSE MS, which will evaluate the effectiveness of its functioning.

УДК 669.054.8

Губін Г.В., Губін Г.Г., Ярош Т.П. До питання про переробку червоних шлаків як комплексної заліззовмісної техногенної сировини

Наведені дані про хімічний і мінеральний склад червоних шламів – відходів глиноземного виробництва. Показано, що найбільш перспективним напрямом утилізації червоних шламів можна вважати чорну металургію. Доцільність використання червоних шламів у металургії обумовлена високим вмістом заліза, відношенням $\text{CaO} : \text{SiO}_2$ більш, ніж 1, та достатньо високим вмістом Al_2O_3 . Однак використанню червоного шламу у складі доменної шихти заважає наявність у ньому до 6% лужних металів у вигляді оксидів натрію, калію і цирконію. Введення червоних шламів в агломераційну шихту до 2-5% можливо, але при цьому потрібно відпрацювання технології доменної плавки, і не вирішується проблема повної їхньої утилізації. При виробництві залізорудних окатишів червоний шлам може бути використаний як зміцнювальна зв'язка замість дефіцитного лужного бентоніту. Але при цьому погіршуються фізико-хімічні й механічні властивості випалених окатишів і ускладнюються умови їх виробництва.

Запропонована безвідходна технологія пірометалургійної переробки червоних шламів методом рідкофазного відновлення. Даний спосіб переробки червоних шламів дозволяє одержати чавун, який направляється на сталеплавильний передел або використовувється в ливарному виробництві, та шлак, який можна використати для додаткового вилучення глинозему або як клінкер для отримання глиноземистого цементу. Продуктивність установки по переробці підсушеного до вмісту вологи 15% шламу може складати 350-380 тис. т на рік. З 1 тони переробленого червоного шламу буде виходити по даній технології приблизно 0,35 т чавуну і до 0,5 т глиноземистого клінкера.

Губин Г.В., Губин Г.Г., Ярош Т.П. К вопросу о переработке красных шламов как комплексного железосодержащего техногенного сырья

Приведены данные о химическом и минеральном составе красных шламов - отходов глиноземного производства. Показано, что наиболее перспективным направлением утилизации красных шламов можно считать черную металлургию. Целесообразность использования красных шламов в металлургии обусловлена высоким содержанием железа, отношением $\text{CaO} : \text{SiO}_2$ большим, чем 1, и достаточно высоким содержанием Al_2O_3 . Однако использованию красных шламов в составе доменной шихты мешает наличие в нем до 6% щелочных металлов в виде оксидов натрия, калия и циркония. Возможна добавка красных шламов в агломерационную шихту до 2-5%, но при этом необходима отработка технологии доменной плавки, и не решается проблема полной их утилизации. При производстве железорудных окатышей красный шлам может быть использован в качестве упрочняющего связующего вместо дефицитного щелочного бентонита. Но при этом снижаются физико-химические и механические свойства обожженных окатышей и усложняются условия их производства.

Предложена безотходная технология пирометаллургической переработки красных шламов методом жидкофазного возобновления. Данный способ переработки красных шламов позволяет получить чугун, который направляется на сталеплавильный передел или используется в литейном производстве, и шлак, который можно использовать для дополнительного извлечения глинозема или как клинкер для получения глиноземистого цемента. Производительность установки по переработке подсушенного до содержания влаги 15% шлама может составлять 350-380 тыс. т в год. Из 1 т переработанного красного шлама по данной технологии можно получить приблизительно 0,35 т чугуна и до 0,5 т глиноземистого клинкера.

Gubin G.V., Gubin G.G., Yarosh T.P. Revisiting red mud processing as complex ferruginous man-made raw material

Chemical and mineral composition data of red mud (alumina industry waste) are presented. The most perspective ways of their recycling were analyzed. The most perspective field for its recycling is ferrous metallurgy. Feasibility of red mud application in metallurgy is substantiated by high iron concentration, by correlation $\text{CaO} : \text{SiO}_2$ more than 1 and by rather high Al_2O_3 concentration. However, red mud contains up to 6% of alkaline metals such as sodium, potassium and zirconium oxides, this makes it unsuitable for blast-furnace burden. 2-5% of red mud can be added to sinter burden but blast-furnace smelting technique should be worked out and the problem of red mud total recycling is not solved. Red mud can be used as bonding instead of scarce alkaline bentonite for pellets production. But physical and chemical and mechanical properties of burnt pellets became worse and the conditions of their production became more complex when red mud was used.

Waste-free technology of red mud pyrometallurgical processing by means of liquid-phase reduction is offered. This method of red mud processing promotes cast iron production, which is delivered to steelmaking stage or used in foundry production, and slag that can be used for additional recovery of alumina or as a clinker for alumina cement obtaining. The efficiency of the plant while processing of red mud dried up to 15% of moisture concentration can reach 350-380 tons per year. According to this technology 0.35 t of cast iron and up to 0.5 t of alumina clinker can be produced from 1 ton of red mud.

УДК 519.237.7:621.771.065

Шенель А.А. Разработка энергосберегающих режимов процесса горячей прокатки широких полос

Разработана математическая модель, реализующая новую методику снижения энергозатрат для процесса горячей прокатки широких полос. Предложенная методика расчета учитывает специфику компоновки технологического оборудования непрерывного широкополосного стана горячей прокатки 1700 Мариупольского металлургического комбината имени Ильича, а также размерный и марочный сортамент сталей. С учетом технологических возможностей оборудования данного широкополосного стана горячей прокатки решены программно задачи расчета энергосиловых параметров обеспечивающих требуемые показатели качества готовой полосы. Исследовано влияние легирующих элементов в наиболее используемых марках стали, что позволило скорректировать их оптимальный химический состав с учетом температурного режима прокатки. Из существующих методик для расчета сопротивления деформации использована методика, которая позволяет определить мгновенное значение сопротивления деформации в широком диапазоне химического состава сталей, охватывающем практически весь сортамент углеродистых марок стали при условиях, характерных для их горячей прокатки, а так же позволяет рассчитать сопротивление деформации в любой точке очага деформации при прокатке в зависимости от температуры, скорости и накопленной деформации в данной точке. При этом обеспечивается возможность расчета давления металла на валки и момента прокатки с использованием дифференциальных уравнений контактных напряжений, не прибегая к их аналитическому преобразованию с достаточно грубыми упрощениями.

Ключевые слова: энергосиловые параметры, широкая полоса, горячая прокатка, энергосбережение, марка стали

Шепель А.О. Розроблення енергозберігаючих режимів процесу гарячого прокатування широких смуг

Розроблено математичну модель, що реалізує нову методику зниження енерговитрат для процесу гарячого прокатування широких смуг. Запропонована методика розрахунку, що враховує специфіку компоновання технологічного устаткування безперервного широкосмугового стану гарячого прокатування 1700 Маріупольського металургійного комбінату імені Ілліча, а також розмірний і марочний сортамент сталей. З урахуванням технологічних можливостей обладнання даного широкосмугового стану гарячого прокатування вирішені програмно задачі розрахунку енергосилових параметрів, що забезпечують необхідні показники якості готової смуги. Досліджено вплив легуючих елементів в найбільш використовуваних марках сталі, що дозволило скорегувати їх оптимальний хімічний склад з урахуванням температурного режиму прокатки. Серед існуючих методик для розрахунку опору деформації використана методика, яка дозволяє визначити миттєве значення опору деформації в широкому діапазоні хімічного складу сталей, що охоплює майже весь сортамент вуглецевих марок сталі за умов, характерних для їх гарячого прокатування, а також дозволяє розрахувати опір деформації в будь-якій точці осередку деформації при прокатуванні в залежності від температури, швидкості і накопиченої деформації в даній точці. При цьому забезпечується можливість розрахунку тиску металу на валки і моменту прокатування з використанням диференціальних рівнянь контактних напружень, не вдаючись до їх аналітичного перетворення з досить грубими спрощеннями

Ключові слова: енергосилові параметри, широка смуга, гаряче прокатування, енергозбереження, марка сталі

Shepel A., Developing power-saving mode during hot rolling wide strips

Developed the mathematical model that implements a new method to reduce energy consumption for the process of rolling wide-strip. The proposed method of calculation takes into account the specifics of the layout of process equipment continuous broadband hot wide-strip mills 1700 of Ilich Iron and Steel Works in of Mariupol, as well as dimensions and Grades of steels. Taking into account the technological possibilities of the equipment of broadband hot rolling mill programmatically solved the problem of calculating energy-power parameters required to ensure long-exponent of the finished strip. The calculation power parameters of rolling. The influence of alloying elements in the most used steels, allowing them to adjust the optimal chemical composition with the rolling temperature. From the existing methods for calculating resistance of the strain used a technique that allows to determine the instantaneous of deformation resistance in a wide range of chemical composition of steel, covering virtually the entire assortment of carbon steel grades with the conditions characteristic of hot rolling, and also allows to calculate the resistance to deformation at any point deformation zone during rolling, depending on the temperature and the accumulated strain rate at this point. This provides the ability to calculate the pressure of metal on the rolls and the rolling moment with differential equations contact stress without resorting to their analytic transformations with enough gross oversimplification.

Keywords: power parameters, wide strip, hot rolling, energy, steel grade

УДК 621.867.2: 004

Драбчук А.М., Калініченко Ю.П. Потенціал залучення інформаційних технологій для підвищення надійності роботи конвеєрних систем

В статті автори торкаються теми необхідності залучення новітніх інформаційних технологій в процесі розроблення систем уловлювання стрічок конвеєрів під час аварійного виходу з ладу останніх. Також, автори аналізують можливі шляхи та підходи до впровадження високоточних математичних моделей моделювання процесів уловлювання стрічок конвеєрів уловлювачами під час аварійного пориву стрічки в процесі роботи конвеєра. Також, значна увага приділяється аналізу факторів, що впливають на тривалість строку служби конвеєрної стрічки, а також виявленню випадкових негативних впливів на стрічку конвеєра.

Автори намагаються означити напрями подальших досліджень та розробляють теоретичну складову моделювання процесу уловлювання стрічки під час її обриву а також теоретично окреслюють межі деяких практичних величин, котрі впливають на процес уловлювання стрічки конвеєрів під час її обриву. Окреслені подальші напрями досліджень дають авторам уявлення про порядок величин, що будуть отримані в процесі натурних досліджень, а також нададуть змогу сконцентруватись на найбільш важливих факторах та тенденціях у процесах уловлювання. В статті автори вносять своє бачення теоретичної частини майбутніх досліджень для дисертаційної роботи

Драбчук А.М., Калініченко Ю.П. Потенциал привлечения информационных технологий для повышения надежности работы конвейерных систем

В статье авторы касаются темы необходимости привлечения новейших информационных технологий в процессы разработки систем улавливания лент конвейеров во время аварийного выхода из строя последних. Также, авторы анализируют возможные пути и подходы к внедрению высокоточных математических моделей моделирования процессов улавливания лент конвейеров ловителями во время аварийного порыва ленты в процессе работы конвейера. Также, значительное внимание уделяется анализу факторов, влияющих на продолжительность срока службы конвейерной ленты, а также выявлению случайных негативных воздействий на ленту конвейера.

Авторы пытаются обозначить направления дальнейших исследований и разрабатывают теоретическую составляющую моделирования процесса улавливания ленты во время ее обрыва, а также теоретически определяют границы некоторых практических величин, которые влияют на процесс улавливания ленты конвейеров при ее обрыве. Обозначенные дальнейшие направления исследований дают авторам представление о порядке величин, которые будут получены в процессе натурных исследований, а также предоставят возможность сконцентрироваться на наиболее важных факторах и тенденциях в процессах улавливания. В статье авторы приводят свое видение теоретической части будущих исследований для диссертационной работы.

Drabchuk A.M., Kalinichenko Ju.P. The potential involvement of information technology to improve the reliability of the conveyor systems"

The authors deal with topics need to bring the latest information technologies in the development of a system for collecting conveyor belts during the emergency failure of the latter. Also, the authors analyze the possible ways and approaches to the implementation of high-accuracy mathematical models of simulation processes capture conveyor belts catchers during

emergency rush belt during operation of the conveyor. Also, considerable attention is paid to the analysis of factors affecting the durability of the conveyor belt, as well as the identification of random negative impacts on the conveyor belt.

The authors try to identify areas for further research and develop theoretical component modeling of capture belt during its break, and theoretically define the areas of some practical values that affect the process of collecting conveyor belts when it is broken. Indicated further areas of research give authors an idea of the order of magnitude that will be obtained during field studies, as well as provide an opportunity to focus on the most important factors and trends in the processes of capture. In this paper the authors present their vision of the future theoretical research for the thesis.

УДК 662.74

Шмельцер Е.О., Лялюк В.П., Соколова В.П., Ляхова И.А., Кассим Д.А., Кормер М.В. О влиянии качества подготовки угольных шихт на прочность и грансостав кокса

В статье для изучения влияния свойств угольной шихты на прочность кокса были рассмотрены качественные показатели кокса коксохимического предприятия «АрселорМиттал Кривой Рог» за 2008-2012 гг. Анализируя причины снижения качества кокса можно выделить такие факторы как большое количество поставщиков угольных концентратов, неточности в выборе оптимальной степени дробления угольной шихты, из-за чего насыпная плотность шихты и доля «отошающего» класса < 0,5 мм в шихте не соответствовали оптимальным значениям при изменяющемся марочном составе шихты; низкая степень смешивания шихты после дробилок; повышенная влажность и зольность шихты, идущей на коксование; высокая колеблемость показателей качества углей и шихт. В условиях ухудшения сырьевой базы коксования и неритмичности поставок угольных концентратов на коксохимические предприятия при решении проблемы качественной подготовки шихты, поступающей на коксование, должны быть учтены следующие ключевые моменты: шихта должна поступать в углеподготовительные цеха с содержанием влаги не выше 6-7 % или необходимо принимать меры к ее сушке на коксохимических предприятиях; непременным условием является постоянное уточнение и использование в углеподготовительных цехах оптимальной степени дробления шихты, что способствует снижению суммы отошающих компонентов шихты и росту содержания витринита в ней, что улучшает спекаемость и коксуемость шихты, а значит, и качество кокса; необходимым является доведение степени смешивания угольной шихты по всем ее показателям до 98-99 %, так как неравномерное их распределение в коксовой камере отрицательно сказывается на качестве кокса.

Шмельцер Е.О., Лялюк В.П., Соколова В.П., Ляхова И.А., Кассим Д.О., Кормер М.В. Про вплив якості підготовки вугільної шихти на міцність та гранулометричний склад коксу

У статті для вивчення впливу властивостей вугільної шихти на міцність коксу були розглянуті якісні показники коксу коксохімічного підприємства «АрселорМіттал Кривий Ріг» за 2008-2012 рр. Анализуючи причини погіршення якості коксу можна виділити такі фактори як велика кількість постачальників вугільних концентратів; неточності вибору ступеню подрібнення вугільної шихти, у зв'язку з чим насипна маса вугільної шихти і доля «опіснюючого» класу < 0,5 мм не відповідали оптимальним значенням при марочному складі, що змінюється; низький ступінь змішування шихти після дробарок; підвищена вологість та зольність шихти, яка іде на коксування; високий ступінь коливань показників якості шихти та коксу. В умовах погіршення сировинної бази та неритмичності поставок вугільних концентратів на коксохімічні підприємства при вирішенні проблеми якісної підготовки вугільної шихти для коксування повинні бути враховані наступні ключові моменти: шихта повинна поступати у вуглепідготовчі цеха з вмістом вологи не більше 6-7 % або необхідно впроваджувати заходи щодо її сушки на коксохімічних підприємствах; обов'язковою умовою являється постійне уточнення та використання у вуглепідготовчих цехах оптимального ступеню подрібнення шихти, що сприяє зниженню суми опіснюючих компонентів та зростанню вмісту вітриніту в ній, що поліпшує спікливість та коксівність шихти, а значить, і якість коксу; необхідним є доведення ступеню змішування вугільної шихти за всіма показниками до 98-99 %, так як нерівномірне їх розподілення в коксовій камері негативно впливає на якість коксу.

Shmeltser E.O., Lyalyuk V. P., Sokolova V.P., Lyahova I.A., Kassim D.A., Kormer M.V. About quality of preparation of the coking batch on the strength and granulometric composition coke

In article to study the influence of properties coal batch on coke strength we consider at Krivoy Rog plant quality of the coke produced between 2008-2012. Analysis of the decline in coke quality has identified factors such as the large number of coal suppliers; imprecise selection of the optimal degree of batch crushing, such that the batch density and content of the lean class (<0.5 mm) fluctuated impermissibly with the varying rank composition; poor blending of the batch after crushing; increased moisture and ash content of the coking batch; and extreme fluctuation in the coal and batch characteristics. It was found that high humidity coal batch and its large fluctuations has most profound effect on the mechanical properties of coke. In the context of a deteriorating resource base is important quality preparation of the coking batch. It consist in the following key aspects: the coking batch must coming at coal preparation shop coke plant enterprises; with a moisture content not exceeding 6-7%, or must be taken to its drying at coke plant properly selecting degree of crushing the batch depending on the content in the mixture of Zh and K coal. It decrease terms of lean components in the batch and increase content of vitrinite in it, which improves the sinterability and coking, and hence the quality of coke; necessary is to bring the degree of mixing of coal batch on all its indices to 98-99% because uneven distribution in the coke chamber affects the quality of coke.

УДК 621.316.1.-047.58

Барановская М.Л., Кузьменко А.С. Анализ математических моделей распределительных сетей при ОЗЗ

Распределительные сети можно рассматривать как сети с сосредоточенными параметрами. В питающих сетях источниками питания являются трансформаторы, а потребителями - трансформаторы или электродвигатели. В распределительных сетях при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) возникают перенапряжения. Известны теории перенапряжения Петерсена, Петерса и Слепяна, Белякова.

Определяющее значение на развитие процессов при ОЗЗ кроме индуктивности L , емкости фаз относительно земли C и других параметров оказывает активное сопротивление цепи тока замыкания на землю R . Выполнив эквивалентные

преобразования составили рациональную схему замещения распределительной карьерной сети при ОЗЗ. В математических моделях сопротивления продольных ветвей и проводимости изоляции неповрежденных фаз можно не учитывать, поскольку уровень перенапряжений в цепи при их учете уменьшается не более 1 %.

Сопротивление изоляции не восстанавливается до первоначального уровня. Для анализа перенапряжений при ОЗЗ в распределительных сетях 6-10 кВ с изолированной нейтралью предлагается использовать простейшую трехфазную схему замещения с учетом сопротивления цепи замыкания на землю.

Барановська М.Л., Кузьменко А.С. Аналіз математичних моделей розподільних мереж при ОЗЗ

Розподільні мережі можна розглядати як мережі із зосередженими параметрами. У живлячих мережах джерелами живлення є трансформатори, а споживачами - трансформатори або електродвигуни. У розподільних мережах при однофазних замиканнях на землю (ОЗЗ) виникають перенапруження. Відомі теорії перенапруження Петерсена, Петерса і Слепяна, Белякова.

Визначальне значення на розвиток процесів при ОЗЗ окрім індуктивності L , місткості фаз відносно землі C і інших параметрів чинить активний опір ланцюга струму замикання на землю R . Виконавши еквівалентні перетворення склали раціональну схему заміщення розподільної кар'єрної мережі при ОЗЗ. У математичних моделях опору подовжніх гілок і провідності ізоляції неушкоджених фаз можна не враховувати, оскільки рівень перенапружень в ланцюзі при їх обліку зменшується не більше 1 %.

Опір ізоляції не відновлюється до первинного рівня. Для аналізу перенапружень при ОЗЗ в розподільних мережах 6-10 кВ з ізолюваною нейтраллю пропонується використовувати просту трифазну схему заміщення з урахуванням опору ланцюга замикання на землю.

Baranovskaja M.L., Kuzmenko A.S. Analysis of mathematical models of distributive networks at O33

Distributive networks can be examined as networks with the concentrated parameters. In feed-in networks the sources of feed are transformers, and by consumers are transformers or electric motors. In distributive networks there are overstrains at monophas earth-faults (O33). The theories of overstrain of Petersena, Petersa and Slepjana, Beljakova, are known.

Qualificatory value on development of processes at O33 except for inductance of L , capacities of phases in relation to earth C and other parameters renders pure resistance of chain of current of earth-fault R . Executing equivalent transformations made the rational chart of substituting for a distributive quarry network at O33. It is possible not to take into account in the mathematical models of resistance of longitudinal branches and leakage of uncrippled phases, as a level of overstrains in a chain at their account diminishes no more than 1 %.

Resistance of isolation is not restored to the primary level. For the analysis of overstrains at O33 in distributive networks 6-10 kV with the insulated neutral it is suggested to use the simplest three-phase chart of substitution taking into account resistance of chain of earth-fault.

УДК 621.926.5

Нечаев В.П., Рязанцев А.А. Анализ и оценка износа зубчатых передач рудоразмольных мельниц и разработка технологии повышения их срока службы

В промышленности широкое распространение находят крупногабаритные и крупномодульные зубчатые передачи. Например, шаровые мельницы, предназначенные для измельчения различных руд, угля и другого сырья, оборудуются открытыми зубчатыми передачами. Они также как и все открытые передачи работают в условиях ударно-циклических контактных нагрузок. Характерные причины снижения несущей способности определяется не только разупрочнением зуба у его основания, но и усталостным выкрашиванием контактной поверхности и износ профиля зуба. Ключевыми вопросами при проектировании зубчатых передач является выбор материала зубчатой передачи и способа его упрочнения. В статье проведен анализ видов изнашивания и поврежденности зубьев открытых пар рудоразмольных мельниц. Выполнены экспериментальные исследования изнашивания зубьев открытых зубчатых передач рудоразмольных мельниц. Сопоставлением экспериментальных скоростей изнашивания с расчетными величинами, характеризующими геометрию и кинематику зацепления, получен параметр, учитывавший абразивное воздействие среды и физико-механические свойства материалов зубьев для данных условий эксперимента. Произведен критический анализ подходов для решения проблемы повышения надежности и долговечности открытых крупномодульных передач шаровых рудоразмольных мельниц. Определено влияния физико-механических свойств материалов зубчатых колес на интенсивность изнашивания в период приработки и установившегося равномерного износа контактных поверхностей зубьев, а также обоснованы возможности их производительной поверхностной плазменной закалки. Разработан способ плазменной поверхностной закалки зубьев шестерен большого модуля, при котором нагреву подвергают не только боковые поверхности зубьев, но и поверхностные слои материала, расположенные у впадин между зубьями.

Ключевые слова: открытые зубчатые передачи, абразивный износ, поверхностная плазменная закалка.

Нечаев В.П., Рязанцев А.О. Аналіз і оцінка зносу зубчатих передач рудорозмольних млинів та розробка технології підвищення їх терміну служби

У промисловості широке розповсюдження знаходять великогабаритні та крупномодульних зубчасті передачі. Наприклад, шарові млини, призначені для подрібнення різних руд, вугілля та іншої сировини, оборудуються відкритими зубчастими передачами. Вони також як і всі відкриті передачі працюють в умовах ударно-циклічних контактних навантажень. Характерні причини зниження несучої здатності визначається не тільки розміщення зуба у його основі, а й втомним викришуванням контактною поверхні та знос профілю зуба. Ключовими питаннями при проектуванні зубчастіх передач є вибір матеріалу зубчатої передачі і способу його зміцнення. У статті проведено аналіз видів зношування і пошкодження зубів відкритих пар рудорозмольних млинів. Виконано експериментальні дослідження зношування зубів відкритих зубчастих передач рудорозмольних млинів. Зіставленням експериментальних швидкостей зношування з розрахунковими величинами, що характеризують геометрію і кінематику зачеплення, отримано параметр, який врахував абразивний вплив середовища та фізико-механічні властивості матеріалів зубів для даних умов експерименту. Проведено критичний аналіз підходів для вирішення проблеми підвищення надійнос-

ті та довговічності відкритих крупномодульних зубчатих передач шарових рудорозмольних млинів. Визначено вплив фізико-механічних властивостей матеріалів зубчатих коліс на інтенсивність зношення в період припрацювання та встановленого рівномірного зносу контактних поверхонь зубів, а також обґрунтовані можливості їх продуктивного поверхневого плазмового зміцнення. Розроблено спосіб плазмового поверхневого зміцнення зубів шестерень великого модуля, при якому нагріванню піддають не тільки бічні поверхні зубів, але і поверхневі шари матеріалу, розташовані у западин між зубами.

Ключові слова: відкриті зубчаті передачі, абразивний знос, поверхнєве плазмове зміцнення.

Nechaev V.P., Ryazancev A.A. Analysis and evaluation of ore-pulverizing mills gears wear and development of their service life enhancing technology

Large-sized and coarse-grained tooth gears are of widespread occurrence in industry. For example, ball mills, suitable for crushing of various ores, coal, and other raw materials, are built up with open tooth gear. They, similar to all exposed drives, work in conditions of impact-cyclical bearing pressures. Characteristic reasons of reduction of holding capacity are determined not only by weakening of a tooth at its bottom, fatigue spalling of contact surface and wear of tooth form. Key aspects during designing of gear wheels are the choice of material or the way of its hardening. The article analysis of wear types and damage of teeth of open pairs of ore-pulverizing mills is fulfilled. Experimental researches concerning teeth wear of open gears of ore-pulverizing mills are fulfilled. With the help of comparison of experimental wear rates with computed values characterizing geometry and cinematics of gearing, the parameter considering abrasive affect of medium and physical and mechanical properties of teeth material for experimental conditions is obtained. Critical analysis of approaches for solution of the problem of increase of reliability and service life of open coarse-grained gears of spherical ore-pulverizing mills was carried out. The influence of physical mechanical properties of gear wheels material on the wear rate during running and set uniform wear of teeth contact point was determined. The abilities of their yielding surface plasma quenching were proved. Method of plasma case-hardening for gear teeth of large module is developed. Here not only flank surfaces of teeth are subjected to heating, but also material surface coating, placed near tooth spaces.

Keywords: open gear drive, abrasive wear, surface plasma quenching.

УДК 69.057.693:624

Паршин А.В., Харченко С.А., Астахов В.И., Гирин И.В., Жуков С.А. Исследование сопротивляемости элементов болтовых соединений хрупким разрушениям

Представлены результаты исследования сопротивляемости фундаментных болтов хрупким разрушениям для элементов болтовых соединений фундаментов, которые были выполнены из разных марок стали и имели различную конфигурацию. На основании анализа низкотемпературных диаграмм, полученных в результате исследований, было установлено, что разрушающие напряжения для фундаментных болтов, соответствующие температуре вязко-хрупкого перехода, во всех случаях - на 10-20% выше, чем при температуре +20°C. Этот результат был предопределен ограничением нижней границы эксплуатационной пригодности фундаментных болтов температурой вязко-хрупкого перехода. Установлено, что в качестве материала для фундаментных болтов диаметром до 48 мм, эксплуатируемых в климатических районах с расчетной температурой до -65°C, можно использовать сталь марки 09Г2С-6, а в климатических районах с расчетной температурой до -50°C – сталь марки ВСт3 или ВСт3Г с дополнительным требованием по ударной вязкости при температуре -20°C не менее 30 Дж/см². Результаты экспериментальных исследований позволили разработать предложения по повышению расчетных сопротивлений фундаментных болтов растяжению.

Ключевые слова: фундамент, фундаментный болт, хрупкое разрушение, сопротивляемость, болтовое соединение.

О.В. Паршин, С.О. Харченко, В.И. Астахов, И.В. Гирин, С.О. Жуков Дослідження опірності елементів болтових з'єднань крихким руйнуванням

Представлено результати дослідження опірності фундаментних болтів крихким руйнуванням для елементів болтових з'єднань фундаментів, які були виконані з різних марок сталі та мали різну конфігурацію. На підставі аналізу низькотемпературних діаграм, отриманих в результаті досліджень, було встановлено, що руйнуючі напруження для фундаментних болтів, відповідні температурі в'язко-крихкого переходу, в усіх випадках – на 10-20% вищі, ніж за температури +20°C. Цей результат зумовлюється обмеженням нижньої межі експлуатаційної придатності фундаментних болтів температурою в'язко-крихкого переходу. Встановлено, що в якості матеріалу для фундаментних болтів діаметром до 48 мм, що експлуатуються в кліматичних районах з розрахунковою температурою до -65°C, можна використовувати сталь марки 09Г2С-6, а в кліматичних районах з розрахунковою температурою до -50°C – сталь марки ВСт3 або ВСт3Г з додатковою вимогою по ударній в'язкості при температурі -20°C не менше 30 Дж/см². Результати експериментальних досліджень дозволили розробити пропозиції щодо підвищення розрахункових опорів фундаментних болтів розтягуванню.

Ключові слова: фундамент, фундаментний болт, крихке руйнування, опірність, болтове з'єднання.

A.V. Parshyn, S.A. Khartchenko, V.I. Astakhov, I.V. Girin, S.A. Zhukov Research brittle fractures resistance of bolting elements

The results of the research anchor bolts resistance to the brittle fractures bolting elements that have been made of different grades of steel and have a different configuration. Based on the analysis of low-temperature diagram obtained from studies, it was found that the breaking stress of anchor bolts appropriate temperature ductile-brittle transition in all cases - by 10-20 % higher than at 20 °C. This result was predetermined by limiting the lower limit of serviceability anchor bolts temperature ductile-brittle transition. It is found that as the material for the anchor bolts with a diameter of 48 mm maintained in climatic areas with the calculated temperature to -65°C, can be used 09Г2С-6, and in the climatic zones with the calculated temperature to -50°C – Steel grade ВСт3 or ВСт3Г with the additional requirement of impact strength at -20°C for at least 30 J/cm². The experimental results have allowed to develop proposals for improving the rated tension resistances anchor foundation bolts.

Keywords: foundation, anchor bolt, brittle fractures, tension resistances, bolting.

УДК 622.7: 658.562

Тимошенко М.А. Методи контролю якості руди в умовах гірничо-збагачувального комбінату

Розглянуто актуальні питання ефективності процесу збагачення залізної руди. Обґрунтовано питання важливості класифікації руди на мінералого-технологічні різновиди. Аргументовано важливість усереднення характеристик руди з метою мінімізації втрат корисного компоненту та збільшення ступеню його розкриття. Розглянуто методи контролю якості руди на різних етапах збагачення. У тому числі приділено увагу фізичному стану заліза на конкретних стадіях подрібнення та збагачення та відповідній специфіці фізичних показників, що враховуються у різних методах. Розглянуто фізичну природу показників розподілення залізної руди на технологічні різновиди та обґрунтований негативний вплив недоподрібненої та переподрібної руди на знос гірничо-збагачувального обладнання та втрати корисного компоненту. На основі розглянутої інформації сформульовано їх переваги та недоліки. Виявлено, що методи контролю руди недостатньо розвинуті та знаходяться на стадії дослідження. Таким чином, вказано напрямки подальших досліджень – розвиток методів контролю розкриття корисного компоненту у твердій фазі пульпи.

Тимошенко М.А. Методы контроля качества руды в условиях горнообогатительного комбината

Рассмотрено актуальные вопросы эффективности процесса обогащения железной руды. Обоснован вопрос важности классификации руды по минералого-технологическим разновидностям. Аргументирована важность усреднения характеристик руды с целью минимизации потерь полезного компонента и увеличения степени его раскрытия. Рассмотрены методы контроля качества руды на разных этапах обогащения. В том числе оказано внимание физическому состоянию железа на конкретных стадиях измельчения и обогащения и соответствующей специфике физических показателей, учитываемых в разных методах. Рассмотрена физическая природа показателей распределения железной руды на технологические разновидности и обосновано негативное влияние недоизмельченной и переизмельченной руды на износ горнообогатительного оборудования и потери полезного компонента. На основе рассмотренной информации сформулированы их преимущества и недостатки. Обнаружено, что методы контроля руды в пульпе недостаточно развиты, не имеют четкой классификации и находятся на стадии исследований. Таким образом, указано направление дальнейших

Тymoshenko M. A. Methods of control of quality of ore in the conditions of mountain concentrating combine

Considers current issues of the efficiency of iron ore beneficiation. Grounded the importance of the issue of classification of ore on the mineralogical and technological species. Argued the importance of the average characteristics of the ore in order to minimize the loss of useful component and increase the extent of its disclosure. The methods of quality control at various stages of ore enrichment are considered. Including their attention to the physical state of iron in specific stages of grinding and dressing and relevant to the specific physical characteristics taken into account in different methods. The physical nature of the indicators of the distribution of iron ore on the technological variety and justified negative impact undergrinding and overgrinding ore and ore processing equipment for wear and loss of useful component. Based on the information reviewed, formulated their advantages and disadvantages. Found that the methods of control of ore in the pulp underdeveloped, do not have a clear classification and are under investigation. Thus, indicated the direction for future research is the development of control methods of the disclosure of useful component in the solid phase of the pulp.

УДК 004.891.2

Котов І.А. Інтелектуалізація програмних систем для формування ефективних груп розробників програмного забезпечення

Розглянуто сучасні принципи та методи відбору кандидатів для великих програмних проєктів, а також їх практичне застосування в умовах сучасних програмних проєктів. Проаналізовано наукові принципи формування та управління виробничими колективами, основні професійні, індивідуальні, психофізіологічні вимоги до розробників програмного проєкту, розроблені структурні й функціональні моделі програмного експертного комплексу формування груп розробників. Також запропоновані алгоритми функціонування програмних модулів інтелектуальної системи. Приведено підходи до розробки структури бази даних і бази знань інтелектуальної системи. Сформульовано вимоги до програмного проєкту зі сторони промислового середовища. Розглянуто заходи по впровадженню програмного проєкту у експлуатаційне середовище. Удосконалено методи та алгоритми формування груп розробників для створення ефективних програмних продуктів. Оптимізовано існуючі функціональні схеми із відбору кадрів, приведені рекомендації до оптимізації роботи відділу кадрів та менеджерів із відбору персоналу. Розроблено критерії відбору, мотиваційні заходи, які збільшують ефективність командної розробки та якість програмного продукту у межах промислового середовища. Розроблено автоматизовану інтелектуальну систему відбору кандидатів розробників для створення сучасного ефективного програмного забезпечення. Практичне значення одержаних результатів полягає у використанні розробленої інтелектуальної комп'ютерної системи для формування ефективних колективів розробників великих програмних проєктів.

Котов И.А. Интеллектуализация программных систем для формирования эффективных групп разработчиков программного обеспечения

Рассмотрены современные принципы и методы отбора кандидатов для крупных программных проектов, а также их практическое применение в условиях современных программных проектов. Проанализированы научные принципы формирования и управления производственными коллективами, основные профессиональные, индивидуальные, психофизиологические требования к разработчикам программного проекта, разработаны структурные и функциональные модели программного экспертного комплекса формирования групп разработчиков. Также предложены алгоритмы функционирования программных модулей интеллектуальной системы. Приведены подходы к разработке структуры базы данных и базы знаний интеллектуальной системы. Сформулированы требования к программному проекту со стороны промышленной среды. Рассмотрены меры по внедрению программного проекта в эксплуатационную среду. Усовершенствованы методы и алгоритмы формирования групп разработчиков для создания эффективных программных продуктов. Оптимизированы существующие функциональные схемы по подбору кадров, приве-

дены рекомендации по оптимизации работы отдела кадров и менеджеров по отбору персонала. Разработаны критерии отбора, мотивационные мероприятия, которые увеличивают эффективность командной разработки и качество программного продукта в рамках промышленной среды. Разработана автоматизированная интеллектуальная система отбора кандидатов разработчиков для создания современного эффективного программного обеспечения. Практическое значение полученных результатов заключается в использовании разработанной интеллектуальной компьютерной системы для формирования эффективных коллективов разработчиков крупных программных проектов.

Котов І.А. Intellectualization software systems for efficient software development team

The modern principles and methods of selection of candidates for large software projects, as well as their practical application in a modern software projects. We examine the scientific principles of management and production teams, basic professional, individual, physiological requirements for software developers of the project, designed the structural and functional model of the complex formation of expert software development teams. Also proposed algorithms of intelligent system software modules. Presents approaches to the development of the database structure and knowledge of the intellectual system. The requirements for the software project by the industrial environment. Considered measures to implement a software project in the operational environment. Improved methods and algorithms of formation of groups of developers to create effective software products. Optimize existing functional schemes of recruitment, are recommendations for optimization of the HR managers and recruitment. The criteria of selection, motivational activities that increase the efficiency of team development and the quality of the software package within the industrial environment. The automated intelligent system for selecting candidates-developers to create modern, efficient software. The practical significance of the results is to use the IP developed a computer system to form effective teams of developers of large software projects.

УДК 519.6:371.214

Моркун В.С., Бурнасое П.В. Розробка системи управління ресурсами вишу при складанні розкладу занять

Розроблено структурну схему та алгоритм функціонування системи оперативного управління ресурсами вишу, особливостями якої є динамічне поєднання автоматичного режиму складання розкладу з ручним. При неможливості подальшого автоматичного формування розкладу через жорсткі обмеження, виконується їх автоматичне пом'якшення. За неможливістю автоматичного пом'якшення обмежень, або за інших потреб їх можливо пом'якшити вручну у процесі складання розкладу. В узагальненій критерій врахування інтересів студентів входять чотири часткових критеріїв оптимальності: число "вікон" у розкладі навчальних груп, баланс навантаження в розкладі навчальних груп, виконання правил угруповання занять по дням тижню, виконання правил угруповання занять по порядку занять в один день. До складу критерію врахування інтересів викладачів входять наступні частинні критерії: число "вікон" у розкладі викладачів, виконання обмеження на максимальне число зайнятих днів у тиждень для викладачів, виконання обмеження на мінімальне число занять у довільний день тижня для викладачів, особисті побажання викладачів. Узагальнений критерій оптимальності розкладу викладачів враховує ступінь оптимальності індивідуального розкладу кожного викладача. Для кількісного порівняння та ранжування часткових критеріїв оптимальності вводиться числовий еквівалент ступеня важливості кожного часткового критерію оптимальності.

Моркун В.С., Бурнасое П. В. Разработка системы управления ресурсами вишу при составлении расписания занятий

Разработана структурная схема и алгоритм функционирования системы оперативного управления ресурсами вишу, особенностями которой является динамическое сочетание автоматического режима складывания расписания с ручным. При невозможности дальнейшего автоматического формирования расписания через жесткие ограничения, выполняется их автоматическое смягчение. За невозможностью автоматического смягчения ограничений, или при других потребностях их возможно смягчить вручную в процессе складывания расписания. В обобщенный критерий учета интересов студентов входят четыре частных критериев оптимальности : число "окон" в расписании учебных групп, баланс нагрузки в расписании учебных групп, выполнения правил группировки занятий по дням неделе, выполнение правил группировки занятий по порядку занятий в один день. В состав критерия учета интересов преподавателей входят следующие критерии частей : число "окон" в расписании преподавателей, выполнения ограничения на максимальное число занятых дней в неделю для преподавателей, выполнения ограничения на минимальное число занятий в произвольный день недели для преподавателей, личные пожелания преподавателей. Обобщенный критерий оптимальности расписания преподавателей учитывает степень оптимальности индивидуального расписания каждого преподавателя. Для количественного сравнения и ранжировки частных критериев оптимальности вводятся числовой эквивалент степени важности каждого частичного критерия оптимальности.

Morkun V.S., Burnasov P.V. Development of control system by resources hang at the stowage of curriculum of employments

A flow diagram and algorithm of functioning of the system of operative management resources is worked out hang, the features of which is dynamic combination of the automatic mode of stowage of time-table with hand one. At impossibility of the further automatic forming of time-table through hard limitations, their automatic softening is executed. After impossibility of the automatic softening of limitations, or at other necessities them it is possible to soften by hand in the process of stowage of time-table. In the generalized criterion of account of interests of students enter four partial criteria of optimality : number of "windows" in the curriculum of educational groups, balance of loading in the curriculum of educational groups, implementations of rules of groupment of employments on days to the week, implementation of rules of groupment of employments in order of employments in one day. In the complement of criterion of account of interests of teachers the next criteria of parts enter: number of "windows" in the curriculum of teachers, implementations of limit on the maximal number of busy days in a week for teachers, implementation of limit on the minimum number of employments in the arbitrary day of week for teachers, personal wishes of teachers. The generalized criterion of optimality of curriculum of teachers takes into account the degree of optimality of individual curriculum of every teacher. For quantitative comparison and ранжировки of partial criteria of optimality the numerical equivalent of degree of importance of every partial criterion of optimality is entered.

УДК 535.434

Рудь Ю.С., Радченко И.С., Малиновская С.И., Белоножко В.Ю. О влиянии формы и структуры наночастиц магния на спектры поглощения света

В настоящее время особое внимание уделяется вопросу получения и изучения свойств коллоидных частиц металлов наноразмерного диапазона. Наночастицы имеют большую поверхностную площадь, а, следовательно, большое число атомов, расположенных на этой поверхности. Наличие большого числа приповерхностных атомов в наночастицах приводит к тому, что частицы проявляют совершенно уникальные физико-химические свойства, в том числе высокую каталитическую, бактерицидную, антикоррозионную активность.

Наночастицы магния, как и наночастицы других металлов, обладают свойствами, которые отличаются от свойств массивного магния. Свойства наночастиц металлов зависят от формы, размера и методов их получения.

В массивном состоянии магний является прочным и легким материалом. Поэтому он может быть использован во многих производствах, в том числе и в аэрокосмической, автомобильной промышленности. Магний относится к внутриклеточным биометаллам. Он влияет на углеводный, белковый и липидный обмен. Кроме того, магний играет важную роль в процессах синтеза и транспорта энергии. Данный биометалл воздействует на нервную, сердечнососудистую системы, желудочно-кишечный тракт.

В настоящей работе вычислены спектральные зависимости коэффициентов ослабления света сфероидальными частицами магния в кристалле MgF_2 и бензине. При вычислениях использовались следующие величины: для магния плазменная частота $\omega_p^2 = 137,0903c^{-2}$; частота релаксации электронов проводимости $\sum \frac{1}{\tau_i} = 0,05455 \cdot 10^{15} c^{-1}$; скорость Ферми $U_F = 1,2554 \cdot 10^{15}$ нм/с. Для сферических частиц магния в MgF_2 $\lambda_m = 250$ нм, а для системы бензин-Mg $\lambda_m = 275$ нм. Для учета размерных эффектов для эллипсоидальных частиц эффективный радиус сферы $R_3 = \sqrt[3]{AB^2}$. Для системы «бензин-Mg» вычисленные спектры сравниваются с экспериментальными.

Ключевые слова: наночастицы магния, форма, структура, спектры поглощения, окружающая среда.
Рудь Ю.С., Радченко І.С., Малиновська С. І., Белоножка В. Ю. Про вплив форми і структури наночастинок магнію на спектри поглинання світла

У даний час особлива увага приділяється питанню отримання та вивчення властивостей колоїдних частинок металів нанорозмірного діапазону. Наночастки мають велику поверхневу площу, а, отже, велике число атомів, розташованих на цій поверхні. Наявність великої кількості приповерхневих атомів в наночастицях призводить до того, що частинки проявляють абсолютно унікальні фізико-хімічні властивості, в тому числі високу каталітичну, бактерицидну, антикорозійну активність.

Наночастки магнію, як і наночастинки інших металів, володіють властивостями, які відрізняються від властивостей масивного магнію. Властивості наночастинок металів залежать від форми, розміру і методів їх отримання. У масивному стані магній є міцним і легким матеріалом. Тому він може бути використаний у багатьох виробництвах, у тому числі і в аерокосмічній, автомобільній промисловості. Магній відноситься до внутрішньоклітинним біометалів. Він впливає на вуглецевий, білковий і ліпідний обмін. Крім того, магній відіграє важливу роль у процесах синтезу і транспорту енергії. Даний біометал впливає на нервову, серцево-судинну системи, шлунково-кишковий тракт.

У цій роботі обчислені спектральні залежності коефіцієнтів ослаблення світла сфероїдальних частками магнію в кристалі MgF_2 і бензині. При обчисленнях використовувалися такі величини: для магнію плазмова частота $\omega_p^2 = 137,0903c^{-2}$; частота релаксації електронів провідності $\sum \frac{1}{\tau_i} = 0,05455 \cdot 10^{15} c^{-1}$; швидкість Фермі $U_F = 1,2554 \cdot 10^{15}$ нм/с. Для сферичних частинок магнію в MgF_2 $\lambda_m = 250$ нм, а для системи бензин-Mg $\lambda_m = 275$ нм. Для обліку розмірних ефектів для еліпсоїдальних частинок ефективний радіус сфери. Для системи «бензин-Mg» обчислені спектри порівнюються з експериментальними.

Ключові слова: наночастинки магнію, форма, структура, спектри поглинання, навколишнє середовище.
Rud Ju.S., Radchenko I.S., Malinovskaja S.I., Belonozko V.Ju. About influence of form and structure of nanoparticles of magnesium on the spectrums of absorption of light

Currently, special attention is paid to the preparation and study of the properties of the colloidal nano-sized metal particles range. The nanoparticles have a large surface area, and therefore, a large number of atoms located at the surface. The large number of surface atoms in nanoparticles leads to the fact that the particles exhibit a very unique physical and chemical properties, including high catalytic, bactericidal, anti-corrosion activity.

Magnesium nanoparticles as the nanoparticles of other metals have properties that differ from the bulk properties of magnesium. The properties of metal nanoparticles depends on the shape, size and methods for their preparation.

In the massive state of magnesium is strong and light material. Therefore, it can be used in many industries, including the aerospace, automotive industry. Magnesium belongs to the intracellular biometals. It affects the carbon, protein and lipid metabolism. In addition, magnesium plays an important role in the synthesis and transport of energy. This biometals affects the nervous, cardiovascular system, gastrointestinal tract.

In this paper we calculate the spectral dependences of the light attenuation spheroids magnesium MgF_2 crystal and gasoline.

In the calculations, the following quantities: for magnesium plasma frequency; the frequency $\omega_p^2 = 137,0903c^{-2}$; of relaxation of conduction electrons $\sum \frac{1}{\tau_i} = 0,05455 \cdot 10^{15} c^{-1}$; Fermi velocity $U_F = 1,2554 \cdot 10^{15}$. For spherical particles of magnesium MgF_2 $\lambda_m = 250$ nm, and a system for gasoline-Mg $\lambda_m = 275$ nm. To take into account the size effects for ellipsoidal particles the effective radius of the sphere $R_3 = \sqrt[3]{AB^2}$. For a system of "gasoline-Mg" calculated spectra are compared with experimental.

Keywords: magnesium nanoparticles, the shape, the structure, the absorption spectra, the environment.

Моркун В.С., Тронь В.В., Паранюк Д.И. Интерпретация косвенной информации для построения модели геологической структуры при автоматизации процесса управления бурением разведочных скважин

Рассмотрен метод интерпретации косвенной информации для построения модели геологической структуры в процессе бурения с целью повышения качества автоматического управления данным процессом. Для формирования модели геологической структуры рудной породы предложено при обработке и анализе текущей информации об оперативных характеристиках процесса бурения использовать алгоритмы кластеризации таких характеристик процесса, как крутящий момент и скорость бурения, что позволит распознать разновидность буримой в данный момент породы. Оперативное распознавание технологических разновидностей рудной породы на основе кластеризации косвенных признаков, полученных в результате мониторинга процесса бурения, позволит повысить точность автоматизированного управления бурением за счет использования расширенной геологической информации об определенных разновидностях. При обработке и анализе текущей информации об оперативных характеристиках процесса бурения целесообразно с целью формирования модели геологической структуры рудной породы использовать результаты кластеризации таких характеристик процесса, как крутящий момент и скорость бурения, что позволит распознать разновидность породы в ходе технологического процесса.

Ключевые слова: автоматизация бурения, геологическая структура, кластеризация данных.

Моркун В.С., Тронь В.В., Паранюк Д.И. Інтерпретація непрямой інформації для побудови моделі геологічної структури при автоматизації процесу управління бурінням розвідувальних свердловин

Розглянуто метод інтерпретації непрямой інформації для побудови моделі геологічної структури в процесі буріння з метою підвищення якості автоматичного управління цим процесом. Для формування моделі геологічної структури рудної породи запропоновано при обробці і аналізі поточної інформації про оперативні характеристики процесу буріння використовувати алгоритми кластеризації таких характеристик процесу, як момент, що крутить, і швидкість буріння, що дозволить розпізнати різновид буримой в даний момент породи.

Оперативне розпізнавання технологічних різновидів рудної породи на основі кластеризації непрямих ознак, отриманих в результаті моніторингу процесу буріння, дозволить підвищити точність автоматизованого управління бурінням за рахунок використання розширеної геологічної інформації про певні різновиди.

При обробці і аналізі поточної інформації про оперативні характеристики процесу буріння доцільно з метою формування моделі геологічної структури рудної породи використовувати результати кластеризації таких характеристик процесу, як момент, що крутить, і швидкість буріння, що дозволить розпізнати різновид породи в ході технологічного процесу.

Ключові слова: автоматизація буріння, геологічна структура, кластеризація даних.

Morkun V.S., Tron V.V., Paranjuk D.I. Interpretation of indirect information for the construction of model of geological structure during automation of process of management the boring drilling of reconnaissance mining holes

The method of interpretation of indirect information is considered for the construction of model of geological structure in the process of the boring drilling with the purpose of upgrading of automatic control this process. For forming of model of geological structure of gangue it is suggested at treatment and analysis of current information about operative descriptions of process of the boring drilling to use the algorithms of clusterization of such descriptions of process, as twisting moment and speed of the boring drilling, that will allow to recognize the variety of drillable presently breed.

Operative recognition of technological varieties of gangue on the basis of clusterization of indirect signs, got as a result of monitoring of process of the boring drilling, will allow to promote exactness of the automated management the boring drilling due to the use of the extended geological information about certain varieties.

At treatment and analysis of current information about operative descriptions of process of the boring drilling expediently with the purpose of forming of model of geological structure of gangue to draw on the results of clusterization of such descriptions of process, as twisting moment and speed of the boring drilling, that will allow to recognize the variety of breed during a technological process.

Keywords: automation of the boring drilling, geological structure, clusterization of data.

УДК 622.73: 622.74

Олійник Т.А., Хмель І.В., Коржан І. А., Олійник М.О. Особливості процесу рудопідготовки на ПАТ «ПівніГЗК»

Розглянуто проблему надлишкових енерговитрат при рудопідготовці магнетитових кварцитів публічному акціонерному товаристві «Північний гірничо-збагачувальний комбінат». Для детального вивчення цього питання на публічному акціонерному товаристві «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» було проведено генеральне опробування технологічної схеми та виконано детальне дослідження всіх продуктів на предмет розкриття мінеральних зерен. За результатами дослідження були встановлені коефіцієнти розкриття рудних та нерудних мінералів за всією технологічною схемою збагачення магнетитових кварцитів на гірничо-збагачувальному комбінаті, зроблено аналіз та синтез отриманої інформації для розробки рекомендацій з вдосконалення процесу подрібнення та класифікації руди на комбінаті. Виявлено те, що розкриття є одним з головних факторів, що впливає на процесу рудопідготовки магнетитових кварцитів на публічному акціонерному товаристві «Північний гірничо-збагачувальний комбінат». Доведено, що при збагаченні корисних копалин основна роль подрібнення полягає в повному розкритті мінеральних зростків з утворенням вільних зерен компонентів для подальшого їх поділу за фізико-хімічними характеристиками.

Олейник Т.А., Хмель И.В., Коржан И. А., Олейник М.О. Особенности процесса рудоподготовки на ПАО «Сев-ГОК»

Рассмотрена проблема избыточных энергозатрат при рудоподготовке магнетитовых кварцитов на публичном акционерном обществе «Северный горно-обогатительный комбинат». Для детального изучения этого вопроса на публичном акционерном обществе «Северный горно-обогатительный комбинат» было проведено генеральное опробование технологической схемы и выполнено детальное исследование всех продуктов на предмет раскрытия минеральных зерен. По результатам исследования были установлены коэффициенты раскрытия рудных и нерудных минералов по всей технологической схеме обогащения магнетитовых кварцитов на горно-обогатительном комбинате, сделан анализ и синтез полученной информации для разработки рекомендаций по совершенствованию процесса измельчения и

классификации руды на комбинате. Выявлено, что раскрытие является одним из главных факторов, влияющих на процесс рудоподготовки магнетитовых кварцитов на публичном акционерном обществе «Северный горно-обогатительный комбинат». Доказано, что при обогащении полезных ископаемых основная роль измельчения заключается в полном раскрытии минеральных сростков с образованием свободных зерен компонентов для последующего их разделения по физико-химическим характеристикам.

Oliinyk T.A., Khmel I.V., Korzhan I.A., Oliinyk M.O. Features of ore pretreatment at OJSC "Northern MPC"

The problem of excess energy consumption in ore pretreatment of magnetite quartzite at the open joint-stock company "Northern Mining and Processing Complex" has been considered. For detailed investigation of the issue at the open joint-stock company "Northern Mining and Processing Complex" the general sampling process of technical flowsheet has been held and a detailed investigation of all the products in terms of mineral flake disclosure has been made. According to the investigation results disclosure rates of ore and nonmetal minerals in the whole process scheme for processing of magnetite quartzites at Mining and Processing Complex have been established, the analysis and synthesis of received information for the recommendation development to improve the process of ore crushing and classification at the Complex have been made. It has been revealed that the disclosure is one of the main factors affecting the magnetite quartzites pretreatment process at an open joint-stock company "Northern Mining and Processing Complex". It has been proved that during mineral processing the primary role of milling lies in full disclosure of mineral aggregates with free flake components formation for the further separation according to the physical and chemical characteristics.

УДК 622.026:622.271.33

Шолох М.В., Капуста В.В., Сергеева А.А. Геофізичні спостереження за стійкістю гірських порід на кар'єрі № 1 ПАТ «ЦГЗК»

Розглянуто питання пов'язані зі стійкістю гірських порід при комбінованій розробці родовищ, покладів, рудних тіл або дільниці корисних копалин та вибір натурних спостережень. Умовами застосування комбінованих способів розробки є забезпечення безпеки ведення відкритих гірничих робіт в зоні впливу підземних розробок. Використання для цих цілей геофізичних методів спостереження дозволяє оперативно, при менших затратах часу і коштів, з досить великою повнотою охарактеризувати процес зсуву порід в гірському масиві, а також попередити раптовість виникнення воронки на земній поверхні. Вимірювальні системи для просторового визначення стійкості гірського масиву, місцезнаходження і спостереження при підземному способі видобування корисних копалин з родовища, покладу, рудного тіла або дільниці корисних копалин та маркшейдерського забезпечення визначення і зйомки доступних і недоступних гірничих пустот. Виконання методик спостережень значним чином зменшує вплив інструментальних похибок на точність результатів повторного нівелювання. Одним із основних джерел похибок, що впливають на результати спостережень, є стійкість геодезичних знаків та екзогенних процесів. Виходячи з поставлених завдань було проведено резонансно акустичне профілювання на кар'єрі № 1 ПАТ «ЦГЗК». Вимірювання виконувалися по серії профілів, з кроком між точками спостережень 25 м дозволило вивчити різні фізико-механічні властивості гірських порід, проаналізувати мінливість напружено-деформованого стану гірського масиву.

Шолох Н.В., Капуста В.В., Сергеева А.А. Геофизические наблюдения за устойчивостью горных пород на карьере № 1 ОАО «ЦГОК»

Рассмотрены вопросы, связанные с устойчивостью горных пород при комбинированной разработке месторождений, залежей, рудных тел или участки полезных ископаемых и выбор натурных наблюдений. Условиями применения комбинированных способов разработки является обеспечение безопасности ведения открытых горных работ в зоне влияния подземных разработок. Использование для этих целей геофизических методов наблюдения позволяет оперативно, при меньших затратах времени и средств, с достаточно большой полнотой охарактеризовать процесс смещения пород в горном массиве, а также предупредить внезапность возникновения воронки на земной поверхности. Измерительные системы для пространственного определения устойчивости горного массива, местонахождение и наблюдения при подземном способе добычи полезных ископаемых с месторождения, залежи, рудного тела или участка полезных ископаемых и маркшейдерского обеспечения определения и съемки доступных и недоступных горных пустот. Выполнение методик наблюдений в значительной степени уменьшает влияние инструментальных погрешностей на точность результатов повторного нивелирования. Одним из основных источников погрешностей, влияющих на результаты наблюдений, является устойчивость геодезических знаков и экзогенных процессов. Исходя из поставленных задач было проведено резонансно акустическое профилирование на карьере № 1 ОАО «ЦГОК». Измерение выполнялись по серии профилей, с шагом между точками наблюдений 25 м позволило изучить различные физико-механические свойства горных пород, проанализировать изменчивость напряженно-деформированного состояния горного массива.

Sholokh M. V., Kapusta V.V., Sergeeva A.A. Geophysical observations on rock stability in of open pit № 1 ОАО "CGOK"

The problems associated with the stability of rocks at the combined mining deposits, deposits of ore bodies or station minerals and choice of field observations. Terms of use combined methods of development is the security of open mining operations in the affected area of underground development. The use for this purpose geophysical methods of observation can quickly, with less expenses of time and money, with a fairly large shift fullness process described species in mountain ranges, and to prevent surprise appearance of craters on the Earth's surface. Measuring systems for spatial definition of stability mountain, location and observations from underground mining of deposits, deposit, ore body or station minerals and surveying software identification and recording accessible and inaccessible mine voids. Execution methods of observation significantly reduces the impact of instrumental errors in accuracy of re-leveling. One of the main sources of errors that affect the results of observations, is the stability of geodetic marks and exogenous processes. Based on the tasks conducted resonant acoustic profiling the career number 1 ОАО "CGOK". Measurements were performed on a series of profiles of the step between points of observation allowed 25 m explore various physical and mechanical properties of rocks, to analyze the variability of the stress-strain state of rock massif.

Гірничий вісник

Науково-технічний збірник

Випуск 99

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. 27,0 Тираж 100 прим.
Замовл. № 4. Укр., рос.*

Надруковано:
ФОП Бурова Оксана Анатоліївна
Свідоцтво ДП № 159-р від 26.03.13.
50084 м. Кривий Ріг, мкр. Ювілейний, 10/104
Тел. 401-04-29

Адреса видавництва та виготівника: 50002, Кривий Ріг, вул. Пушкіна, 44
ДВНЗ «Криворізький національний університет», науково-дослідна частина