

ISSN 0536-1028

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ

8
2017



УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ВАЛНЕР Нияз Гадым-оглы

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

ГОРДЕЕВ Виктор Александрович

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

ДОНДОВ Дорж

*д-р техн. наук, проф., Монгольский государственный университет науки и технологий,
г. Улан-Батор, Монголия*

ДРЕБЕНШТЕДТ Карстен

д-р техн. наук, проф., Фрайбергская горная академия, г. Фрайберг, Германия

ДУШИН Алексей Владимирович

д-р экон. наук, доц., Технический университет УГМК, г. Екатеринбург

ИГНАТЬЕВА Маргарита Николаевна

д-р экон. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

КАЛМЫКОВ Вячеслав Николаевич

д-р техн. наук, проф., Магнитогорский государственный технический университет, г. Магнитогорск

КАРТОЗИЯ Борис Арнольдович

д-р техн. наук, проф., Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

КАШНИКОВ Юрий Александрович

д-р техн. наук, проф., Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь

КОЗИН Владимир Зиновьевич

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

КОРНИЛКОВ Михаил Викторович — главный редактор

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

КОСАРЕВ Николай Петрович

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

КОСОЛАПОВ Александр Иннокентьевич

д-р техн. наук, проф., Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

ЛАПИН Эдуард Самуилович

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

ЛАТЫШЕВ Олег Георгиевич — зам. главного редактора

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

ЛИТВИНЕНКО Владимир Стефанович

д-р техн. наук, проф., Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург

МАХНО Дмитрий Евсеевич

д-р техн. наук, проф., Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск

МОЧАЛОВА Людмила Анатольевна

д-р экон. наук, доц., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

ПАНКРАТЕНКО Александр Никитович

д-р техн. наук, проф., Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

ПЕТРОВ Вадим Леонидович

д-р техн. наук, проф., Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

ПИВНЯК Геннадий Григорьевич

д-р техн. наук, акад. НАН, Национальный горный университет, г. Днепрпетровск, Украина

ПУЧКОВ Лев Александрович

д-р техн. наук, член-корр. РАН, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

СЁМИН Александр Николаевич

д-р экон. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

СТРОВСКИЙ Владимир Евгеньевич

д-р экон. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

ТОПАЛОВ Станислав Йорданов

д-р техн. наук, доц., Университет горного дела и геологии Св. Иоанна Рыльского, г. София, Болгария

ТРЫБАЛЬСКИЙ Казимеж

д-р техн. наук, проф., Научно-технический университет им. С. Сташица, г. Краков, Польша

ШЕВЧЕНКО Леонид Андреевич

д-р техн. наук, проф., Кузбасский государственный технический университет, г. Кемерово

ЯКОВЛЕВ Виктор Леонтьевич

д-р техн. наук, член-корр. РАН, Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ

Научно-технический журнал. Издаётся с 1958 года

Выходит 8 раз в год

№ 8, 2017

12+

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

- Голик В. И., Комащенко В. И., Разоренов Ю. И., Валиев Н. Г.* Разработка методов эффективной добычи потерянных руд с использованием перекрытий 4
- Хоменко О. Е., Ляшенко В. И.* Геоэнергетические основы подземной разработки рудных месторождений..... 10
- Беркович В. Х., Дик Ю. А., Шукшина А. Н.* Перспективы вовлечения в добычу и переработку потерянных запасов руд..... 19
- Демченко И. И., Муленкова А. О.* О возможности размещения перерабатывающего оборудования в забое разреза для получения сортового угля 26

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

- Александрин Д. В., Петров С. А., Байкин В. С.* Комплексное решение по сокращению количества отказов колесно-моторных блоков тяговых агрегатов..... 33

ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ. ПРАВОВЫЕ ВОПРОСЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

- Игнатъева М. Н., Кубарев М. С.* Этапность становления системы государственного регулирования природопользования..... 38

БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

- Кубрин С. С., Решетняк С. Н., Иванов Е. С., Дегтерёв В. В.* Анализ аппаратного обеспечения пылевого контроля угольных шахт..... 46

СТРОИТЕЛЬСТВО ШАХТ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

- Латышев О. Г., Прищеп Д. В.* Фрактальный коэффициент формы подземных выработок..... 53

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И ГЕОДЕЗИЯ

- Тайлаков О. В., Коровин Д. С.* Построение цифровой модели рельефа открытого угольного склада по данным аэрофотосъемки..... 58

ЭКОЛОГИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

- Далатказин Т. Ш., Харисов Т. Ф.* Исследования последствий затопления Турьинского медного рудника..... 65

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

- Бабочкин Г. И., Шпрехер Д. М., Колесников Е. Б.* Аппаратура диагностирования технического состояния шахтного электромеханического комплекса..... 74

РУДОПОДГОТОВКА И ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- Марасанов В. М., Дылдин Г. П.* Математическое описание процесса дробления в щековой дробилке..... 82

ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА

Абатурова И. В., Савинцев И. А., Борисихина О. А., Козлов В. С. Закономерности формирования физико-механических свойств пород золоторудных месторождений..... 92

ГОРНОТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА

Каюмова А. Н. Особенности экспертизы промышленной безопасности строительной документации для районов развития опасных природных и техноприродных процессов... 102

ПРОБЛЕМЫ ГОРНЫХ НАУК

Лебедев Ю. В., Кокарев К. В., Арефьев С. А., Крылов В. Г. Ассоциативные связи в сфере недропользования 108

ИНФОРМАЦИЯ. ХРОНИКА. РЕЦЕНЗИИ

Сильных Е. В. Рождение библиотеки Горного (по материалам архивных документов и газетных публикаций начала XX века)..... 116

Перечень статей, опубликованных в 2017 году 121

CONTENTS

DEVELOPMENT OF MINERAL DEPOSITS AND TECHNOGENOUS FORMATIONS

Golik V. I., Komashchenko V. I., Razorenov Iu. I., Valiev N. G. Development of methods for efficient extraction of lost ore using overlappings..... 4

Khomenko O. E., Liashenko V. I. Geoennergetic fundamentals of ore deposits underground mining..... 10

Berkovich V. Kh., Dik Iu. A., Shukshina A. N. The prospects of involving lost ore reserves into mining and processing 19

Demchenko I. I., Mulyenkova A. O. Concerning the possibility of placing the processing equipment in the face of an open pit to obtain sized coal..... 26

REGIONAL PROBLEMS OF MINING

Aleksandrin D. V., Petrov S. A., Baikin V. S. Complex solution on the reduction of the quantity of failures of wheel motor blocks of locomotive units..... 33

ECONOMICS, ORGANIZATION AND MANAGEMENT. LEGAL MATTERS OF SUBSOIL USE

Ignat'eva M. N., Kubarev M. S. Succession of establishing the system of governmental control over the natural resource management..... 38

MINING SAFETY

Kubrin S. S., Reshetniak S. N., Ivanov E. S., Degterev V. V. Hardware analysis of coal mines dust control 46

CONSTRUCTION OF SHAFTS AND UNDERGROUND STRUCTURES

Latyshchev O. G., Prishchepa D. V. The fractal coefficient of underground workings shape 53

MINE SURVEYING AND GEODESY

Tailakov O. V., Korovin D. S. The creation of a digital terrain model of an open coal store based on aerial photography data..... 58

ECOLOGY OF MINING

Dalatkazin T. Sh., Kharisov T. F. Investigations of the consequences of Turyinsky copper mine flooding..... 65

AUTOMATION OF PRODUCTIVE PROCESSES

Babokin G. I., Shprekher D. M., Kolesnikov E. B. Equipment of diagnosing the technical condition of a mine electromechanical complex..... 74

ORE PREPARATION AND MINERAL DRESSING	
<i>Marasanov V. M., Dyldin G. P.</i> Mathematical description of the process of crushing in a jaw crusher	82
APPLIED MINING GEOLOGY, HYDROGEOLOGY AND GEOPHYSICS	
<i>Abaturova I. V., Savintsev I. A., Borisikhina O. A., Kozlov V. S.</i> Regularities in the formation of physical-mechanical properties of rock at gold ore fields	92
MINE ENGINEERING EXPERT EVALUATION	
<i>Kaiumova A. N.</i> Some peculiarities in the examination of industrial safety of documentation for construction in the areas of hazardous natural and techno-natural processes development	102
PROBLEMS OF MINING SCIENCES	
<i>Lebedev Iu. V., Kokarev K. V., Aref'ev S. A., Krylov V. G.</i> Association links in the sphere of subsoil use	108
INFORMATION. CHRONICLES. REVIEWS	
<i>Sil'nykh E. V.</i> The foundation of library of the Ural State Mining University (according to the archival documents and newspaper publications at the beginning of the 20th century).....	116
<i>List of articles published in 2017</i>	121

**ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН В «ПЕРЕЧЕНЬ РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ,
 В КОТОРЫХ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ОПУБЛИКОВАНЫ ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
 ДИССЕРТАЦИЙ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК,
 НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК»**

(письмо Минобрнауки РФ от 1 декабря 2015 года № 13-6518)

В журнале публикуются статьи по следующим отраслям науки
и группам специальностей научных работников:

25.00.00 НАУКИ О ЗЕМЛЕ;

05.00.00 ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: 05.09.00 Электротехника, 05.05.00 Транспортное, горное
и строительное машиностроение, 05.26.00 Безопасность деятельности человека;

08.00.00 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

УДК 504.55.054:622(470.6)

DOI: 10.21440/0536-1028-2017-8-4-9

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОБЫЧИ ПОТЕРЯННЫХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕКРЫТИЙ

ГОЛИК В. И., КОМАЩЕНКО В. И., РАЗОРЕНОВ Ю. И., ВАЛИЕВ Н. Г.

Статья посвящена проблеме уменьшения разубоживания металлических руд налегающими и вмещающими породами в процессе выпуска при подземной разработке месторождений. Дана справка о состоянии изученности процессов управления качеством выпуска при системах разработки с обрушением руд под налегающими породами. Приведены результаты отработки участка месторождения сложной структуры под гибкими дерево-канатным и вантовым перекрытиями. Описана практика применения перекрытий различных конструкций в зависимости от условий разработки при добыче урана. Систематизированы и типизированы методы определения прочности перекрытий. Для условий полиметаллического месторождения выполнено экономико-математическое сравнение альтернативных вариантов с обрушением по базовой технологии и под перекрытием. Сформулированы задачи повышения качественных показателей выпускаемой руды за счет разделения руд и пород перекрытиями: обоснование эффективности разделения; оптимизация конструкций перекрытий дифференцированно для каждого типа; определение эффективности выпуска потерянных руд под перекрытиями; совершенствование конструкций перекрытий. Систематизированы применяемые в горнорудной практике инженерные способы уменьшения величины разубоживания при выпуске ранее потерянных руд, в том числе путем применения несущих и разделяющих перекрытий. Прогнозируется, что перспективы развития направления включают удешевление строительства перемычек за счет освоения новых композитных материалов. Показано, что повышение качества добываемых потерянных руд ранее и извлеченных с помощью перекрытий руд является существенным элементом расширения минерально-сырьевой базы и оздоровления экономики горных предприятий. Результаты исследования представляют интерес для действующих и строящихся горных предприятий.

Ключевые слова: добыча; потерянные руды; перекрытия; рудник; сырьевая база; экономика; предприятие.

Добыча потерянных руд характеризуется повышенным разубоживанием налегающими и вмещающими породами в процессе выпуска [1]. В мировой и отечественной практике величину разубоживания при выпуске обрушенных руд и пород ограничивают. Повышенное разубоживание при выпуске пытаются сни-

Голик Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Геофизического института Владикавказского научного центра РАН; профессор кафедры горного дела. 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, Северо-Кавказский государственный технологический университет. E-mail: v.i.golik@mail.ru

Комашченко Виталий Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры геофизических информационных систем. 119991, г. Москва, Ленинский просп., 65, Российский государственный университет нефти и газа. E-mail: komashchenko@inbox.ru

Разоренов Юрий Иванович – доктор технических наук, профессор, проректор. 346428, г. Новочеркасск Ростовской обл., ул. Просвещения, 132, Южно-Российский государственный политехнический университет. E-mail: yuri1963@mail.ru

Валиев Нияз Гадым-оглы – доктор технических наук, профессор, первый проректор, ведущий кафедрой горного дела. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: science@ursmu.ru

зять за счет минимизации примешивания пород, используя искусственные конструкции – сплошную несущую потолочину или перекрытия: бетонно-анкерное жесткое несущее, дерево-канатное и металло-канатное гибкое разделяющее, вантовое гибкое несущее [2].

Методы управления качеством руд допускают большие расхождения в нормативах потерь и разубоживания. Параметры выпуска руд исследовали С. С. Минаев, Д. Л. Тартаковский, Г. И. Покровский, М. М. Протодьяконов, В. А. Шестаков, Г. М. Малахов.

Процессы управления качеством выпуска систематизированы в табл. 1.

Таблица 1

Типизация технологий повышения качества выпускаемых руд

Тип	Вариант	Условия применения
Инъектирование	По виду закрепителя По времени упрочнения По объему упрочнения По объекту упрочнения	Однородный разрушенный массив с достаточной проницаемостью, без глинистых включений
Перекрытия	По выполняемой функции По материалу По конструкции По мобильности	Однородный разрушенный массив с достаточной мобильностью перемещения
Потолочины	По конструкции По комбинируемым элементам По времени использования По прочности	Комбинированный по дискретности массив скальных пород с включениями прочных пород

Перекрытия обеспечивают ограждение закладки от налегающих пород сверху и с торца массива. Основную нагрузку несут канаты и металлические ленты (рис. 1).

Под гибким дерево-канатным перекрытием обрабатывали участок месторождения Заозерное (Северный Казахстан) [3].

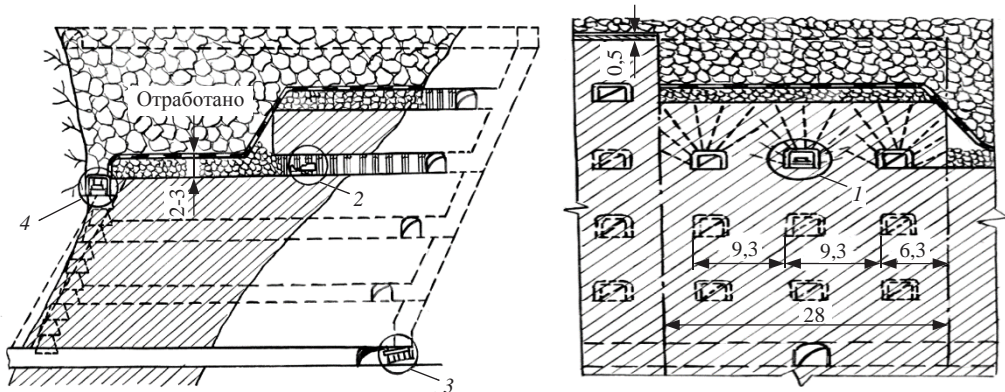


Рис. 1. Система подэтажного обрушения с канатно-металлическим перекрытием:
1 – руда; 2 – погрузочная машина; 3 – вибролок; 4 – машина для монтажа перекрытия

Разубоживание руды под перекрытием оказалось в 3 раза меньше по сравнению с показателем базового варианта и составило 14 %. Основная часть руды (до 80 %) была выпущена с разубоживанием 5–15 %. Базовый вариант без перекрытия характеризуется выходом основной части руды с разубоживанием 30–60 % и лишь около 15 % руды – с разубоживанием до 15 %.

Вантовое перекрытие применяли при обработке потолочин и штрековых целиков. В первом случае его монтировали на штреке скреперования вышележащего блока. Потолочину и подштрековый целик обрушали и выпускали после обработки нижележащего блока. Во втором случае блок, включая потолочину и подштрековый целик, обрабатывали с подэтажным магазинированием. Перекрытие монтировали на каждом подэтаже. Обработку нижележащего подэтажа начинали после обрушения перекрытия вышележащего подэтажа и заполнения пустот.

В выработке на высоте 0,2–0,4 м от почвы бурили шпуров диаметром 45–56 мм, глубиной 1,5–3,0 м, в которые с использованием песчано-цементного раствора заделывали канаты. На канатные растяжки укладывали деревянный настил или сплетенную из канатов сетку с ячейкой 0,5 × 0,5 м.

Вантовое перекрытие монтировали на подэтажном штреке. Для монтажа перекрытия в боках штрека на высоте 0,2 м от почвы были пробурены шпуров глубиной 1,9–2,1 м под углом к горизонту 25°–30°. Шпуров диаметром 56 мм бурили с интервалом 1,5 м. В них заливали цементную смесь марки М-300 и вставляли куски каната диаметром 30,5 мм. На закрепленные в шпурах канаты укладывали лес диаметром 18–20 см, длиной 3 м. Около 37 % закладки вышло с разубоживанием до 15 % при общем разубоживании 27 %. Основную массу разубоживающих пород составили боковые породы.

Наибольший эффект обеспечивают сплошные перекрытия. Прочность бетона сплошной несущей железобетонной потолочины составляет 6–7 МПа при обнажении потолочины 9–12 м. Потолочина сооружается выемкой руд системой горизонтальных слоев с твердеющей закладкой. Для обеспечения совместной работы элементов перекрытия в выработках и искусственной кровле устанавливают железобетонные штанги диаметром 16 мм, длиной 1,5 м с углублением на 0,75 м через 1 м. Длина погашаемой секции 20 м [4–7].

Таблица 2

Прочность твердеющей закладки при высоте слоя более 2 м

Показатель	Параметры			
Ширина и высота, м	15 × 6	15 × 9	15 × 12	15 × 15
Длина, м	5,6	7,8	9,4	10,6
Прочность, МПа (28 сут)	3,0	4,2	5,1	5,7

Наиболее востребованы перекрытия при обработке приповерхностных участков месторождений. Для создания искусственной потолочины в боках выработок с шагом 1 м устанавливают железобетонные штанги диаметром 30 мм, длиной 2 м. На почве выработок укладывается арматура. Нормативная прочность твердеющей смеси 6–7 МПа. Шаг образуемой потолочины – от 3–4 до 12 м и более. Рудная масса сверху заливается смесью с повышенным расходом цемента (300 кг/м³) и минимальным количеством воды для образования на поверхности руды цементной «корки», препятствующей проникновению цементного раствора в руду. Затем подается основной объем твердеющей смеси (табл. 2).

Прочность твердеющей смеси $\sigma_{сж}$ из условия устойчивости вертикального обнажения искусственного массива [5]:

$$\sigma_{сж} = \beta \sin^2 \varphi (q_i + 0,5\gamma_3 h) k_3,$$

где β – коэффициент, учитывающий отношение предела прочности образцов закладки на сжатие $\sigma_{сж}$ к пределу их прочности на срез $\sigma_{ср}$; φ – угол наклона пло-

щадки среза, град.; ρ – угол падения искусственного массива, град.; q_i – нагрузка веса пород, МН/м²; γ_3 – объемный вес закладки, т/м³; h – высота камеры, м; k_3 – коэффициент запаса прочности закладки [7–12].

Для условий Садонского месторождения (РСО-Алания) выполнено экономико-математическое сравнение вариантов с обрушением: 1 – по базовой технологии; 2 – под перекрытием. При варианте 1 неизбежны повышенные потери и разубоживание руды при низких эксплуатационных расходах. При варианте 2 обеспечиваются невысокие потери и разубоживание руды, но возрастают расходы на создание перекрытия (табл. 3).

Таблица 3

Моделирование экономических показателей выпуска закладки

Показатель	Варианты	
	1	2
Количество металлсодержащей закладки, тыс. т	50,0	50,0
Содержание металла в закладке, кг/т	200	200
Потери закладки при повторной добыче, доли ед.	0,10	0,01
Разубоживание закладки породами, доли ед.	0,20	0,05
Ценность закладки, р./т	70	70
Затраты на выпуск металлсодержащей закладки, р./т	15	15
Затраты на строительство перекрытия, р./т	–	10
Всего условно-переменные затраты на добычу, р./т	15	25
Ущерб от потерь металлсодержащей закладки, р./т	7,00	0,07
Ущерб от переработки разубоживающих пород, р./т	20	4
Прибыль от добычи закладки, р./т	28,00	40,93
Экономический эффект на 1 т запасов руды, р.	–	12,93
Суммарный экономический эффект, тыс. р.	–	2300

Уменьшение ущерба от разубоживания закладки налегающими и боковыми породами компенсирует увеличение затрат на добычу при использовании перекрытий. При использовании более дешевых дерево-канатных и вантовых перекрытий эффективность возрастает [13–15].

В вариантах с перекрытиями большую часть прибыли обеспечивает уменьшение разубоживания в управляемом режиме. Экономический ущерб от реализации этой опасности может не только достигать стоимости добытых полезных компонентов, но и превышать ее [16–17].

Проблема повышения качественных показателей выпускаемой руды за счет разделения руд и пород перекрытиями включает задачи [18]:

- совершенствование конструкций для защиты выпускаемых руд от пород;
- установление границ и эффективности разделения руд и пород перекрытиями;
- разработка конструкций разделяющих и несущих перекрытий;
- определение эффективности выпуска потерянных руд.

Итак, повышение качества добываемых потерянных руд является существенным элементом оздоровления экономики горных предприятий. Величину разубоживания при выпуске потерянных руд уменьшают инженерными способами, в том числе применением несущих и разделяющих перекрытий. Перспективы развития рассматриваемого направления включают удешевление строительства перемычек за счет освоения новых композитных материалов.

В статье представлены результаты исследований, выполненных по программе Erasmus + 574061-EPP-1-2016-1DE-EPPKA2-CBHE-JP “Modernization of geological education in Russian and Vietnamese universities”.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Проблема использования возобновляемых источников энергии в ходе разработки месторождений твердых полезных ископаемых // ФТПРПИ. 2015. № 1. С. 88–96.
2. Голик В. И., Комащенко В. И., Мorkун В. С. Механохимические процессы извлечения металлов из некондиционных руд: монография. Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 250 с.
3. Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Научно-методические основы проектирования экологически сбалансированного цикла комплексного освоения и сохранения недр Земли // ГИАБ. 2015. № S4-2. С. 5–11.
4. Голик В. И., Комащенко В. И. Природоохранные технологии управления состоянием массива на геомеханической основе: монография. М.: Изд-во КДУ, 2010. 556 с.
5. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation // Metallurgical and Mining Industry. 2015. No. 4. P. 321–324.
6. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures // Metallurgical and Mining Industry. 2015. No. 3. P. 38–41.
7. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use // Metallurgical and Mining Industry. 2015. No. 3. P. 49–52.
8. Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Расширение сырьевой базы горнорудных предприятий на основе комплексного использования минеральных ресурсов месторождений // Горный журнал. 2013. № 12. С. 29–33.
9. Kachurin N., Komashchenko V., Morkun V. Environmental monitoring atmosphere of mining territories // Metallurgical and Mining Industry. 2015. No. 6. P. 595–597.
10. Golik V. I., Komashchenko V. I., Drebenstedt K. Mechanochemical activation of the ore and coal tailings in the desintegrators. Switzerland, Springer International Publishing. 2013. P. 1047–1057. DOI: 10.1007/978-3-319-02678-7_101.
11. Polukhin O. N., Komashchenko V. I., Golik V. I., Drebenstedt K. Substantiating the possibility and expediency of the ore beneficiation tailings usage in solidifying mixtures production. Germany, Freiberg. 2014. P. 219–224.
12. Голик В. И., Комащенко В. И., Леонов И. В. Горное дело и окружающая среда. М.: Академический проект, 2011. 216 с.
13. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Gvozdikova T. The theory and practice of rock massifs control in the ore mining // Metallurgical and Mining Industry. 2016. No 1. P. 209–213.
14. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. The economic efficiency of ore fields development technology combination // Metallurgical and Mining Industry. 2016. No. 4. P. 111–115.
15. Komashchenko V., Morkun V. Influence of minerals development on environment // Metallurgical and Mining Industry. 2016. No. 5. P. 106–109.
16. Голик В. И., Комащенко В. И., Дребенштедт К. Охрана окружающей среды. М.: Высш. школа, 2007. 270 с.
17. Брылов С. А., Грабчак Л. Г., Комащенко В. И. Охрана окружающей среды: учебник для горных и геологических вузов. М.: Высш. школа, 1985. 272 с.
18. Воробьев А. Е., Бальхин Г. А., Комащенко В. И. Национальная минерально-сырьевая безопасность России: современные проблемы и перспективы: учебник для вузов. М.: Высш. школа, 2007. 472 с.

Поступила в редакцию 21 марта 2017 года

DEVELOPMENT OF METHODS FOR EFFICIENT EXTRACTION OF LOST ORE USING OVERLAPPINGS

Golik V. I. – North-Caucasian State Technological University, Vladikavkaz, the Russian Federation. E-mail: v.i.golik@mail.ru

Komashchenko V. I. – Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow, the Russian Federation. E-mail: komashchenko@inbox.ru

Razorenov Iu. I. – Platov South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Rostov region, the Russian Federation. E-mail: yiri1963@mail.ru

Valiev N. G. – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: science@ursmu.ru

The article is devoted to the problem of reducing the dilution of metal ore by overlapping and enclosing rock in the production process in underground mining. Some information is given about the state of knowledge of production quality management processes under the development systems with a collapse of ore under the overlapping rocks. Development results are introduced of a complex field structure under a flexible tree-rope and steel cable overlappings. The practice in the application of overlappings of different structures depending on the conditions of development in the uranium-mining industry is described. Overlappings strength determination methods are systematized and typified. For the conditions of polymetallic deposit, economic-mathematical comparison of alternatives with the collapse of the core technology and under the overlapping is fulfilled. The problem of improving the quality indicators of the produced ore are formulated through the separation of ore and rock by the overlappings, including the substantiation of the separation efficiency,

optimization of overlappings design for each type differentially, the release of lost ore under the overlappings effectiveness determination, and overlappings structure development. The article systematizes the engineering methods of reducing dilution magnitude with the release of the previously lost ore which are applied in ore mining, also by means of load-bearing and separating overlappings application. It is predicted that the prospects of the direction include bridges cost-cutting through the development of new composite materials. It is shown that improving the quality of previously lost produced ore and ore extracted with overlappings is an essential element of expanding raw-mineral base and mining enterprises economic rehabilitation. The results of the study are of interest to some existing mining enterprises and some mining enterprises under construction.

Key words: production; lost ore; overlappings; mine; raw material base; economy; enterprise.

REFERENCES

1. Kaplunov D. R., Ryl'nikova M. V., Radchenko D. N. [The problem in the use of renewable energy sources in the course of the development of solid minerals deposits]. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh – Journal of Mining Science*, 2015, no. 1, pp. 88–96. (In Russ.)
2. Golik V. I., Komashchenko V. I., Morkun V. S. *Mekhanokhimicheskie protsessy izvlecheniia metallov iz nekonditsionnykh rud: monografiia* [Monograph “Mechanochemical processes of metals extraction out of substandard ore”]. Germany, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 250 p.
3. Kaplunov D. R., Ryl'nikova M. V., Radchenko D. N. [Research and methodological fundamentals of designing ecologically balanced cycle of complex subsoil exploitation and maintenance]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2015, no. S4-2, pp. 5–11. (In Russ.)
4. Golik V. I., Komashchenko V. I. *Prirodookhrannye tekhnologii upravleniia sostoianiem massiva na geomekhanicheskoi osnove: monografiia* [Monograph “Environmental technologies of control over the condition of massif at the geomechanical base”]. Moscow, KDU Publ., 2010. 556 p.
5. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, no. 4, pp. 321–324.
6. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, no. 3, pp. 38–41.
7. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, no. 3, pp. 49–52.
8. Kaplunov D. R., Ryl'nikova M. V., Radchenko D. N. [Enlargement of raw material base of ore mining enterprises on the basis of the complex use of deposits mineral resources]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2013, no. 12, pp. 29–33. (In Russ.)
9. Kachurin N., Komashchenko V., Morkun V. Environmental monitoring atmosphere of mining territories. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, no. 6, pp. 595–597.
10. Golik V. I., Komashchenko V. I., Drebenstedt K. Mechanochemical activation of the ore and coal tailings in the desintegrators. Switzerland, Springer International Publishing, 2013, pp. 1047–1057. DOI: 10.1007/978-3-319-02678-7_101.
11. Polukhin O. N., Komashchenko V. I., Golik V. I., Drebenstedt K. Substantiating the possibility and expediency of the ore beneficiation tailings usage in solidifying mixtures production. Germany, Freiberg. 2014, pp. 219–224.
12. Golik V. I., Komashchenko V. I., Leonov I. V. *Gornoe delo i okruzhaiushchaia sreda* [Mining and environment]. Moscow, Akademicheskii proekt Publ., 2011. 216 p.
13. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Gvozdokva T. The theory and practice of rock massifs control in the ore mining. *Metallurgical and Mining Industry*, 2016, no. 1, pp. 209–213.
14. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. The economic efficiency of ore fields development technology combination. *Metallurgical and Mining Industry*, 2016, no. 4, pp. 111–115.
15. Komashchenko V., Morkun V. Influence of minerals development on environment. *Metallurgical and Mining Industry*, 2016, no. 5, pp. 106–109.
16. Golik V. I., Komashchenko V. I., Drebenstedt K. *Okhrana okruzhaiushchei sredy* [Environmental protection]. Moscow, Vyssh. shkola Publ., 2007. 270 p.
17. Brylov S. A., Grabchak L. G., Komashchenko V. I. *Okhrana okruzhaiushchei sredy: uchebnik dlia gornykh i geologicheskikh vuzov* [School book for mining and geological institutions of higher education “Environmental protection”]. Moscow, Vyssh. shkola Publ., 1985. 272 p.
18. Vorob'ev A. E., Balykhin G. A., Komashchenko V. I. *Natsional'naiia mineral'no-syr'evaiia bezopasnost' Rossii: sovremennye problemy i perspektivy: uchebnik dlia vuzov* [School book for institutions of higher education “National raw-mineral security of Russia: modern problems and prospects”]. Moscow, Vyssh. shkola Publ., 2007. 472 p.

ГЕОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ХОМЕНКО О. Е., ЛЯШЕНКО В. И.

Приведены основные научные и практические результаты развития геоэнергетических основ подземной разработки рудных месторождений путем раскрытия физической сущности феномена зонального капсулирования горных выработок. Систематизированы явления, процессы и закономерности капсулирования массивом горных выработок с определением формы, размеров, количества энергетических зон, затухающих синусоидальных колебаний напряжения и кольцевых областей деформации. Разработана энергетическая теория исследования параметров зонального капсулирования горных выработок: формы, размеров, количества и условий образования энергетических зон и границ возможного разрушения массива. Установлены степенные зависимости изменения размеров смежных энергетических зон, соотношение которых является константой от размеров и формы, глубины заложения и физических свойств массива, вмещающего выработку. Усовершенствована термодинамическая теория исследования состояния не нарушенного выработками массива горных пород за счет учета процессов перераспределения потоков геоэнергии и обмена энтропией в ненарушенном массиве, созданный отдельный метод исследования назван энтропийным. Уточнена зависимость затухающих синусоидальных автоволновых колебаний напряжения в нарушенном выработками массиве от градиентов плотности, температуры, газо- и водонасыщенности горных пород. Рекомендованы геоэнергетические подходы к выбору трасс подготовительных выработок, расчету параметров их крепления. Обоснованы параметры выполнения очистных работ в энергетических зонах предохранительных капсул. Дана оценка эффективности геоэнергетических технологий и реализации промышленного внедрения при подземной разработке рудных месторождений.

Ключевые слова: горный массив; напряженно-деформированное состояние; геоэнергия; предохранительная капсула выработки; геоэнергетические зоны.

Глубина разработки рудных месторождений в разных странах мира превысила отметку в 1500 м, что сопровождается значительным ухудшением геодинамических условий добычи. Упругая потенциальная энергия начинает проявляться не только в виде шелушений, сколов, стреляний, горных ударов и землетрясений различной амплитуды, что отмечено в пределах Украинского кристаллического щита. Анализ информации по рудным месторождениям Украины показал, что в упругих прочных породах (граниты, амфиболиты, кварциты) на глубинах свыше 1200 м (Криворожский бассейн) интенсивно формируются зоны с разным напряжением, что сопровождается образованием кольцевидных областей повышенной трещиноватости. В упруго-пластичных породах (маргитовые, гематитовые руды) на глубинах более 900 м кольцевидные зоны пониженных напряжений разделяются интенсивно смятыми рудами. В пластичных породах (марганцевые руды, глины, суглинки) на глубинах до 350 м (Никополь-Марганецкий бассейн) активно развиваются процессы зональной конвергенции и дивергенции. Эти процессы приводят к разрушению горных выработок и потере запасов полезных ископае-

Хоменко Олег Евгеньевич – доктор технических наук, доцент кафедры подземной разработки месторождений. 49600, Украина, г. Днепр, просп. Яворницкого, 19, Национальный горный университет. E-mail: rudana.in.ua@gmail.com

Ляшенко Василий Иванович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник научно-исследовательского отдела. 52204, Украина, г. Желтые Воды, просп. Свободы, 37, ГП «УкрНИПИИпромтехнологии». E-mail: vilyashenko2017@gmail.com

мых, травмированию и гибели людей, повреждению объектов на поверхности и в недрах [1]. Поэтому развитие геозенергетических основ подземной разработки рудных месторождений с учетом использования энергии горного давления путем раскрытия сущности явления зональной дезинтеграции горных пород вокруг выработок, описания процессов и закономерностей структурирования массива, обоснования принципов управления природными факторами и их эффективного использования в геозенергетических технологиях – важная научная, практическая и социальная проблема, требующая безотлагательного решения [2].

Авторами использован системный подход, который включает анализ результатов научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ по видам проявления энергии горного давления, способам повышения устойчивости выработок, теориям горного давления вокруг выработок и энергетическим процессам в горных породах, а также математическое моделирование. Эксперименты выполнены с помощью усовершенствованного термодинамического и разработанного энергетического методов по стандартным и новым методикам.

Разработкой теорий о горном давлении вокруг подземных выработок занимались ученые Украины, России, Германии, Австрии, Франции, Швейцарии, Англии и других развитых горнодобывающих странах мира. В большинстве исследований учитывалось изменение напряженности массива по степени влияния на параметры крепления выработок и систем разработки. Анализ научных результатов показал, что зональное состояние массива вокруг выработок выявлено В. Тромпетером (1899), далее описывались лишь отдельные процессы данного явления. Это привело к тому, что многие теории не согласовывались между собой, а некоторые из них противоречили законам физики (природы). Результаты выполненных исследований не позволили определить количество, форму, размеры зон разгрузки и концентрации напряжений и областей деформации массива. Ни одна из теорий, за исключением термодинамической В. Ф. Лавриненко (1975), не описывала состояние не нарушенного и нарушенного выработками массива и не сформировала какого-либо подхода к его описанию [3].

Усовершенствование классификации методов исследования напряженно-деформированного состояния горных пород путем разработки и введения синергетической группы методов, включающих энтропийные, термодинамические и энергетические подходы, позволило исследовать процессы энергетического обмена в массиве горных пород и закономерные превращения одних видов энергии в другие. Существующие возможности энтропийного метода, как части термодинамической теории, заключались в возможностях описания термодинамического равновесия в горных породах и обратимых деформаций в ненарушенном массиве пород, а также обмена энтропией и перераспределения энергетических потоков в массиве пород. Термодинамический метод позволил определить форму и размеры зон разгрузки напряжений вокруг выработок, потенциальные и реальные напряжения, области разрушения массива в зонах разгрузки. Энергетический метод позволил авторам определить форму и размеры зон термодинамического баланса энергии, условия перехода зон в состояние дисбаланса энергии, количество энергетических зон в предохранительной капсуле и второстепенные факторы напряженности массива, действующие вокруг выработок [4].

С помощью энтропийного метода установлено, что распространение энтропии в ненарушенном массиве горных пород Украинского кристаллического щита происходит во взаимно перпендикулярных направлениях, которые совпадают с вертикальными и горизонтальными направлениями перераспределения геозенергетических факторов. Так, при вертикальном давлении 50 МПа на глубине 1500 м в массиве перераспределяется только часть потенциальной энергии, объем которой

для горизонтальных напряжений составляет 50 %, а для вертикальных – 45 %. Увеличение вертикального давления до 91 МПа на глубинах до 3000 м приводит к перераспределению потенциальной энергии в массиве горных пород Криворожского бассейна, объем которой для горизонтальных напряжений составляет уже 95 %, а для вертикальных – 57 % [5]. Определение формы и размеров энергетических зон в предохранительной капсуле производили по отношению вертикального $\Delta\sigma_{z(y)}$ и горизонтального $\Delta\sigma_{x(y)}$ потенциальных напряжений, которые определяют коэффициент формы зон λ , который уменьшается от 1 до 0 при снижении прочности горных пород от 200 до 40 МПа и увеличении глубины разработки до 3000 м по экспоненциальной зависимости, причем

$$\lambda = \Delta\sigma_{z(y)} / \Delta\sigma_{x(y)}.$$

Массив горных пород, который формирует вокруг подготовительной выработки предохранительную капсулу, представляет собой эллиптический цилиндр, а для очистной камеры – эллипсоид вращения. С использованием коэффициента λ определяются размеры вертикальных a и горизонтальных b , c полуосей энергетических зон, формирующихся во вмещающем выработку массиве. Точность выполненных расчетов подтверждается сравнением данных, полученных методом разгрузки, и рассчитанных значений упругих деформаций горных пород на глубинах до 1200 м в полях шахт «Октябрьская» и «Терновская» ПАО «Криворожский ЖРК» – 3–5 %. Рассчитанная и экспериментально установленная плотности пород под давлением до $1,5 \cdot 10^3$ МПа различаются между собой в среднем на 1,32 %, а плотность минералов – на 2,15 %. Значения относительной объемной деформации минералов при давлении до $4 \cdot 10^3$ МПа были сопоставлены с экспериментальными данными для условий высокого давления, расхождение не превысило 7,9–10,6 %, а измеренная и рассчитанная скорости распространения продольных упругих волн в породном массиве, не нарушенном горными работами, различались на 6–8 % [6].

Параметры формирования капсул исследовались при помощи энергетического метода с использованием категорий *конвергенция* и *дивергенция*, которые являются фазами центростремительной самоорганизации открытых систем в соответствии с базовыми принципами синергетики и термодинамики применительно для упруго-пластичной среды (рис. 1).

В процессе конвергенции массив, вмещающий подземную выработку, делится на подзоны интеграции (рис. 1, a , выделено цветом), а при дивергенции – подзоны дезинтеграции. За счет конвергенции и дивергенции массив противодействует формированию в нем горной выработки и стремится к восстановлению своей целостности путем ее капсулирования системой кольцевых энергетических зон. Сама выработка является эпицентром нарушения энергетического равновесия в массиве горных пород [7].

Размеры вертикальной и горизонтальной полуосей энергетических зон, м:

$$a_n = 0,5((n-1)b\lambda^{-1} + (n-1)a); \quad b_{n-1} = (n-1)a\lambda; \quad c_n = b_{n-1},$$

где a , b , c – полуоси энергетических зон, м.

Начальные потенциальные напряжения сжатия от границ приконтурной и последующих энергетических зон к поверхности обнажения массива выработкой действуют вдоль расчетных площадок и составляют с напряжением $\Delta\sigma_{x(y)}$ углы $0 < \alpha < 360^\circ$. В результате высвобождения потенциальной энергии массива возрастают радиальные σ_r и тангенциальные τ_p напряжения, действующие в нена-

рушенном массиве на всех расчетных площадках, которые составляют с направлениями напряжений $\Delta\sigma_{z(y)}$ углы α , МПа:

$$\sigma_{an} = \Delta\sigma_{x(y)} \cos^2 \alpha + \Delta\sigma_{z(y)} \sin^2 \alpha; \quad \tau_{an} = 0,5(\Delta\sigma_{x(y)} - \Delta\sigma_{z(y)}) \sin 2\alpha.$$

Остаточные потенциальные напряжения в окружающем выработку массиве, сохранившиеся после преобразования части потенциальной энергии, МПа:

$$\sigma_{a\beta n} = (\sigma_\alpha \sin^2 \beta + \tau_\alpha \cos^2 \beta) \exp(-v x_n); \quad \tau_{a\beta n} = (\sigma_\alpha \cos^2 \beta + \tau_\alpha \sin^2 \beta) \exp(-v x_n),$$

где β – угол между направлением действия напряжений (σ_α и τ_α , $\sigma_{a\beta}$ и $\tau_{a\beta}$) и касательной в точке пересечения расчетной площадки с контуром выработки или границей энергетической зоны, град.; x – текущая координата положения расчетной точки на площадке под углом α ($0 \leq x \leq A_x$), которая возрастает от границы приконтурной зоны к поверхности обнажения массива выработкой, а в остальных энергетических зонах – от границ к их центрам. Приращение x принимается произвольным, но одинаковым для всех расчетных площадок в каждой зоне; v – коэффициент поглощения упругих колебаний, для горных пород $v = 0,1-0,26$.

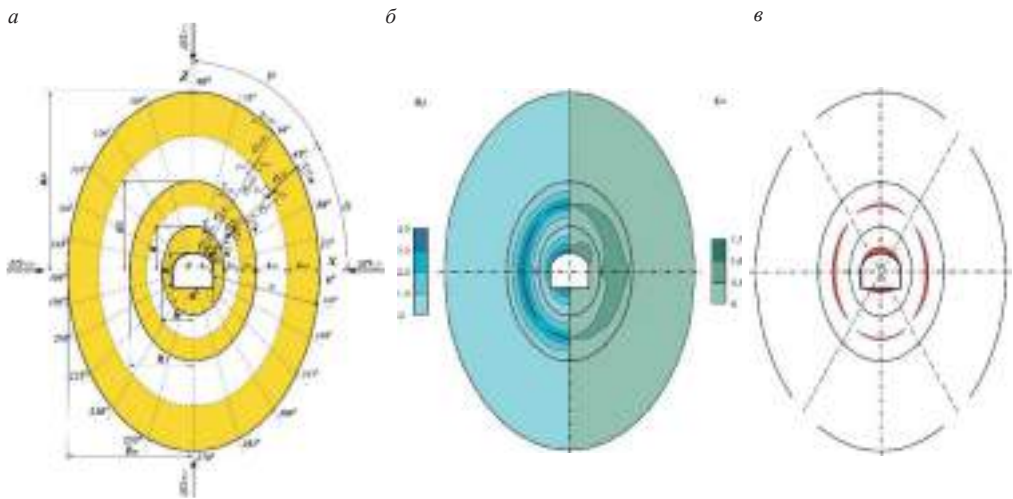


Рис. 1. Параметрическая схема предохранительной капсулы, сформированной вокруг подготовительной выработки – а; поля радиальных σ_{rn} и тангенциальных τ_{rn} суммарных напряжений, МПа, в массиве зон баланса энергии – б; формирование областей деформации массива (выделено цветом) в зонах дисбаланса энергии – в

С помощью средств компьютерной графики строятся поперечное сечение выработки, контуры энергетических зон с полуосьями a_n и b_n , согласно расчетной схеме (см. рис. 1, а). Из центра выработки проводят лучи плоскостей, которые соответствуют углам $a \leq \alpha \leq 2\pi$, с направлением напряжения $\Delta\sigma_{x(y)}$ через 15° . Вдоль каждой из них от границы последней энергетической зоны до контура выработки и последующей зоны измеряют расстояния A_α и определяют значения углов β , которые откладывают в точках пересечения касательных линий и контура выработки или границы энергетической зоны. По результатам расчетов строят поля остаточных потенциальных радиальных $\sigma_{a\beta}$ и тангенциальных $\tau_{a\beta}$ напряжений, сохранившихся после преобразования части потенциальной энергии в пределах энергетических зон (рис. 1, б).

В результате моделирования установлено, что размеры всех последующих энергетических зон относительно предыдущих, включая приконтурную, имеют фиксированное значение, которое является константой для любой горной выработки независимо от ее формы, глубины заложения и физических свойств массива. Для проверки выявленной функции выполнен расчет условий заложения подготовительных и очистных выработок на глубинах от 0 до 3000 м при изменении моделируемой прочности руд и пород от 40 до 200 МПа. Результаты моделирования подтвердили степенную зависимость экспоненциального вида, м:

$$a_i = 0,5e^{0,7n}.$$

Взаимное развитие процессов конвергенции и дивергенции приводит к уравновешиванию упругой энергии во всех зонах и достижению термодинамического баланса энергии. Значения реальных радиальных σ_p и тангенциальных τ_p напряжений, которые действуют в массиве вокруг горных выработок в результате

Таблица 1

Результаты замеров энергетических зон при физическом моделировании

Метод	Вид выработки	Полуось энергетической зоны, $a_n / 0,5h$, $b_n / 0,5b$					
		1		2		1	
		Первая		Вторая		Третья	
Эквивалентные материалы	Подготовительная	1,71	1,88	γH	γH	γH	γH
	Очистная	1,71	1,51	γH	γH	γH	γH
Оптико-поляризационные материалы	Подготовительная	1,43	1,56	3,28	4,71	γH	γH
	Очистная	1,33	1,71	3,12	4,57	γH	γH
Электропроводные материалы	Подготовительная	1,69	3,25	γH	γH	γH	γH
	Очистная	1,66	13,00	γH	γH	γH	γH

a_n, b_n – длина и ширина полуосей энергетической зоны, м; b, h – ширина и высота энергетической зоны, м; 1, 2 – вертикальная и горизонтальная полуоси энергетической зоны, м; γ – плотность горных пород, кг/м³.

преобразования потенциальной энергии, определяются как разница между потенциальными напряжениями, характерными для ненарушенного массива, и остаточными потенциальными напряжениями в точках с координатой x_i вдоль каждой расчетной площадки, МПа:

$$\sigma_{pn} = \sigma_{an} - \sigma_{a\beta n}; \quad \tau_{pn} = \tau_{an} - \tau_{a\beta n}.$$

По значениям σ_p и τ_p устанавливают величины упругих радиальных ϵ_σ и тангенциальных ϵ_τ деформаций породы в пределах зон баланса энергии, м:

$$\epsilon_{\sigma n} = \sigma_{pn} / E_0; \quad \epsilon_{\tau n} = \tau_{pn} / E_0,$$

где $\epsilon_{\sigma n}$ – деформация растяжения; $\epsilon_{\tau n}$ – деформация сжатия; E_0 – модуль Юнга.

Суммарные значения механических (σ_p и τ_p) и температурных (σ_t и τ_t) напряжений, а также при необходимости других факторов энергетической интенсивности массива – плотности, газо- и водонасыщенности (σ_i и τ_i) определяются на всех расчетных площадках и заданных точках x_p , МПа

$$\sigma_{pm} = \sigma_{pn} + \sigma_{tm} + \sigma_{im}; \quad \tau_{pm} = \tau_{pn} + \sigma_{tm} + \sigma_{im}.$$

По результатам расчетов описанной методики отстраиваются поля напряжений σ_{pt} и τ_{pt} в пределах зон баланса энергии (рис. 1, б). Результаты моделирования показали, что для условий Криворожского бассейна распределение факторов различной интенсивности на контуре моделируемой подготовительной выработки по отношению к суммарным напряжениям $\sigma_{pt} = 3,36$ МПа (100 %), которые на 23,7 % превышают предел прочности руды на сжатие (2,6 МПа), ранжируется в следующем порядке: механические напряжения $\sigma_p = 2,68$ МПа составляют около 80 % от общих; температурные напряжения $\sigma_t = 0,45$ МПа – около 15 %; гидрогазовые напряжения $\sigma_n = 0,22$ МПа – менее 5 % (для исследуемого интервала прочности горных пород и глубины горных работ).

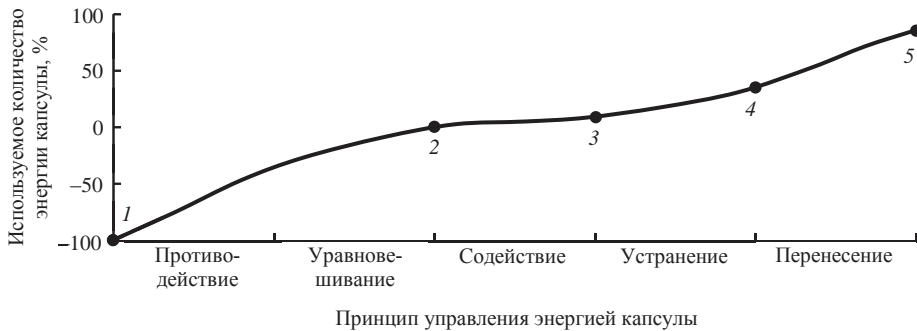


Рис. 2. Графическая интерпретация принципов управления энергией предохранительной капсулы:

1–5 – ключевые точки взаимодействия энергии предохранительной капсулы с энергией отжима крепи выработки

При достижении в массиве предела прочности пород на сжатие или растяжение зона баланса энергии перестает воспринимать полную нагрузку от сжатия пород и переходит в состояние дисбаланса энергии. Упругое деформирование массива происходит там, где реальные напряжения, действующие в массиве зоны дисбаланса энергии, превышают предельно допустимые значения на растяжение или сжатие. Разницу между действующими и предельными напряжениями отражает коэффициент запаса прочности n . Для определения областей упругих деформаций необходимо на всех расчетных площадках установить местоположение точек, в которых коэффициенты запаса прочности на растяжение n_{pn} и сдвиг n_{tn} будут равняться единице. Полученные точки разделяют области массива, в которых действуют пластические и упругие деформации внутри всех зон дисбаланса энергии (рис. 1, в). Развитие упругих деформаций в очередной зоне дисбаланса энергии приводит к формированию и перенесению нагрузки на новую зону баланса [8]. Таким образом, для определения количества энергетических зон необходим мониторинг всех точек на расчетных площадках зон термодинамического баланса и дисбаланса по условию растяжения и сдвига массива, что при выполнении условий $n_{pn} \leq 1$, $n_{tn} \leq 1$ способствует формированию новых зон

$$n_{pn} = \sigma_{pgn} / \sigma_{pin} \leq 1; \quad n_{tn} = \tau_{gn} / \tau_{pin} \leq 1,$$

здесь пределы прочности породы на растяжение σ_{pgn} и сдвиг τ_{gn} , МПа, определяются по зависимостям

$$\sigma_{pgn} = 0,13K_{c.o} \sigma_{сж}; \quad \tau_{gn} = 0,15K_{c.o} \sigma_{сж},$$

где $K_{c.o} = 0,20-0,33$ – коэффициент структурного ослабления массива, зависящий от степени трещиноватости горных пород; $\sigma_{сж}$ – прочность горных пород на одноосное сжатие, МПа.

Перераспределение напряжений вокруг выработки прекращается при достижении энергетического равновесия, при котором прочность замыкающей капсулы зоны будет достаточна для изоляции всех зон дисбаланса энергии, самой выработки и предохранения от разрушения значительных объемов массива. Процесс перераспределения энергии останавливается, и образуется устойчивая, изолированная система, которая называется предохранительной (изолирующей, защитной) капсулой, состоящей из зон дисбаланса и баланса энергии. При моделировании снижения прочности горных пород $\sigma_{сж} = 200\text{--}40$ МПа и увеличении глубины разработки $H = 0\text{--}5000$ м по полиномиальной зависимости четвертого порядка происходит увеличение количества энергетических зон в предохранительной капсуле $N = 1\text{--}5$ шт.:

$$N = a_y \sigma_{сж} H^4 - b_y \sigma_{сж}^{1,05} H^3 + c_y \sigma_{сж}^{1,094} H^2 - d_y \sigma_{сж}^{1,16} H,$$

где a_y, b_y, c_y, d_y – значения коэффициентов, которые учитывают изменение прочности горных пород для условий Украинского кристаллического щита: $a_y = 0,0018$; $b_y = 0,0116$; $c_y = 0,0246$; $d_y = 0,0107$ [9].

Таблица 2

Параметры управления предохранительной капсулой выработки

Используемая зона капсулы	Принцип управления энергией капсулы	Коэффициент формы зон λ	Давление на контуре выработки P_m , МПа	Баланс использования энергии капсулы, %	Управляющее воздействие на капсулу
Приконтурная	Противодействие	0,5–0,1	> 1,75	> –100,0	Арочное крепление выработок
	Уравновешивание	1,0–0,9	0	0	Устойчивые размеры и форма выработок
	Содействие	0,9–0,8	0–0,5	0...+10,0	Разрушение неустойчивых областей массива
Границы зон	Устранение	0,8–0,6	0,5–1,75	+10,0...+35,0	Новые траектории заложения выработок
Приконтурная первая	Перенесение	0,6–0,5	> 1,75	+35,0...+86,0	Саморегулируемое анкерное крепление выработок

Исследования параметров энергетических зон выполнялись на физических моделях с помощью метода эквивалентных материалов, который позволил визуализировать первичные зоны, но с некоторым нарушением размеров и формы по вертикали. Подбор эквивалентного материала производили путем определения предела прочности на сжатие (0,60–0,70 МПа), модуля упругости ($0,421 \cdot 10^5$ МПа), объемной массы (0,16–0,20 МПа) и коэффициента Пуассона (0,33) по цилиндрическим образцам с помощью цифрового прессы КС-200/EUR компании Tecnotest (Италия). Состав эквивалентного материала подбирался по основным физическим свойствам с целью воспроизводства свойств горных пород рудных месторождений Украины. Как показал анализ явления зональной дезинтеграции горных пород, водоразделом зон является значение напряженности массива, соответствующее величине γH (табл. 1) [7].

Энергия предохранительной капсулы, сформированной вокруг горной выработки, используется на основе парабола-гиперболической зависимости (рис. 2), значения на которой соответствуют принципам противодействия, уравновешивания, содействия, устранения и переноса сконцентрированной энергии массива.

Эффективный выбор и использование разработанного геоэнергетического крепления и управления нарушенным массивом обеспечивается их систематизацией по принципам управления энергией предохранительной капсулы (противодействие, уравнивание, содействие, устранение и перенесение), количеством используемой в технологиях энергии массива (от -100 до $+86\%$), видом горных работ (подготовительных, очистных), глубиной горных работ (100–3000 м) на горнодобывающих предприятиях (ПАО «Криворожский ЖРК», ЧАО «Запорожский ЖРК», ГП «ВостГОК», ПАО «Марганецкий ГОК»), (табл. 2, рис. 3) [10, 11].

Итак, установлена эллипсоидная форма областей деформации массива, а также степенные зависимости возрастания части влияния энтропии до 95 % от общего энергетического баланса внешних напряжений на примере горных массивов Криворожского железорудного бассейна (Украина).

Показано, что форма областей зонального деформирования массива для подготовительных и очистных выработок стремится к эллипсоидной. При этом изменения глубины разрушения контуров очистных камер описываются степенными зависимостями, а в примыкающих к ним подготовительных и нарезных выработках – экспоненциальными зависимостями при достоверности результатов не менее 84 %.

Сформулированы принципы управления энергией предохранительной капсулы, включающие противодействие, уравнивание, содействие, устранение и перенесение. Применение этих принципов в технологических решениях позволяет добиться экономии ресурсов до 37 % за счет использования до 86 % энергии горного давления на поддержание горных выработок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ляшенко В. И., Голик В. И., Хоменко О. Е. Повышение геодинамической безопасности подземной разработки сложноструктурных рудных месторождений // Черная металлургия. 2017. № 3. С. 24–32.
2. Ляшенко В. И., Голик В. И. Научное и конструкторско-технологическое сопровождение развития уранового производства. Достижения и задачи // ГИАБ. 2017. № 7. С. 137–152.
3. Лавриненко В. Ф., Лысак В. И. Метод определения начального напряженного состояния массивов скальных горных пород // Разработка рудных месторождений. 1977. № 24. С. 16–20.
4. Хоменко О. Е. Управление энергией горных пород при подземной разработке руд // Горный журнал. 2010. Спецвыпуск. С. 41–43.
5. Khomenko O. Ye. Implementation of energy method in study of zonal disintegration of rocks // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2012. № 4. P. 44–54.
6. Лавриненко В. Ф., Лысак В. И. Физические процессы в массиве пород при нарушении равновесия // Изв. вузов. Горный журнал. 1993. № 1. С. 1–6.
7. Khomenko O. Ye., Sudakov A. K., Malanchuk Z. R., Malanchuk Ye. Z. Principles of rock pressure energy usage during underground mining of deposits // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2017. № 2. С. 35–43.
8. Sdvyzhkova O., Babets D., Kravchenko K., Smirnov A. Determination of the displacements of rock mass nearby the dismantling chamber under effect of plow longwall // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2016. № 2. С. 34–42.
9. Хоменко О. Е. Геоэнергетика подземной разработки рудных месторождений: монография. Днепр: НГУ, 2016. 242 с.

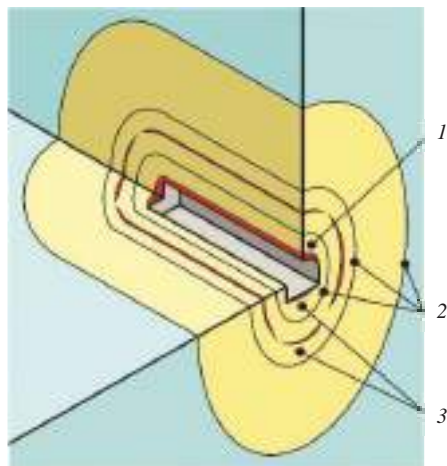


Рис. 3. 3D-версия предохранительной капсулы, сформированной вокруг подготовительной выработки с используемыми зонами капсулы:

1 – приконтурная; 2 – границы зон; 3 – приконтурная первая

10. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Ляшенко В. И., Шевченко Е. В. Повышение безопасности труда при подземной добыче оптимизацией размеров целиков и пролетов выработок // Безопасность труда в промышленности. 2016. № 3. С. 35–39.

11. Ляшенко В. И. Повышение безопасности при подземной разработке сложноструктурных месторождений // Безопасность труда в промышленности. 2014. № 9. С. 54–59.

Поступила в редакцию 16 июня 2017 года

GEOENERGETIC FUNDAMENTALS OF ORE DEPOSITS UNDERGROUND MINING

Khomenko O. E. – National Mining University, Dnepr, Ukraine. E-mail: rudana.in.ua@gmail.com

Liashenko V. I. – SE Ukr R&D Institute for IndTech, Zhovti Vody, Ukraine. E-mail: vilyashenko2017@gmail.com

The article introduces the main scientific and practical results of the development of geoennergetic fundamentals for the underground mining of ore deposits by means of disclosing physical essence of the phenomenon of zonal encapsulation of mine workings. The phenomena, processes and regularities of mine workings encapsulation by an array with the definition of shape, size, number of energy zones, sinusoidal-damped stresses, and annular deformation areas are systematized. An energy theory of the study of the parameters of zonal encapsulation of mine workings has been developed: the shape, size, quantity and conditions for the formation of energy zones and the boundaries of possible destruction of the massif. Power-law dependences of the change in the dimensions of adjacent energy bands are established, the ratio of which is constant from the size and shape, the depth of deposition and the physical properties of the array enclosing the working. The thermodynamic theory of studying the state of the rock massif undisturbed by the excavations has been improved by taking into account the processes of redistribution of geoenergy flows and entropy exchange in an undisturbed massif with the isolation into a separate research method – entropy. The sinusoidal-damped dependence of the autowave oscillations of stresses in the massif disturbed by the workings on the gradients of density, temperature, gas and water saturation of rocks has been specified. Geoennergetic approaches to the selection of traces of preparatory workings, calculation of the parameters of their fastening are recommended. The parameters of performing stoping in energy zones of safety capsules are justified. The estimation of efficiency of geoennergetic technologies and realization of industrial introduction at underground development of ore deposits is introduced.

Key words: rock massif; stress-strain state; geoenergy; safety capsule of working; geoennergetic zones.

REFERENCES

1. Liashenko V. I., Golik V. I., Khomenko O. E. [The improvement of geodynamic safety of underground development of complex structured ore deposits] *Chernaya metallurgiya – Ferrous Metallurgy*, 2017, no. 3, pp. 24–32. (In Russ.)
2. Liashenko V. I., Golik V. I. [Scientific and design-engineering support of uranium industry development. Achievements and aims]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2017, no. 7, pp. 137–152. (In Russ.)
3. Lavrinenko V. F., Lysak V. I. [The method of determining initial stress state of hard rock massifs]. *Razrabotka rudnykh mestorozhdenii – Ore Mining*, 1977, no. 24, pp. 16–20. (In Russ.)
4. Khomenko O. E. [Rock energy control under the underground ore mining]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2010, special issue, pp. 41–43. (In Russ.)
5. Khomenko O. Ye. Implementation of energy method in study of zonal disintegration of rocks. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2012, no. 4, pp. 44–54.
6. Lavrinenko V. F., Lysak V. I. [Physical processes in rock massif under disequilibrium]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 1993, no. 1, pp. 1–6. (In Russ.)
7. Khomenko O. Ye., Sudakov A. K., Malanchuk Z. R., Malanchuk Ye. Z. Principles of rock pressure energy usage during underground mining of deposits. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2017, no. 2, pp. 35–43.
8. Sdvizhkova O., Babets D., Kravchenko K., Smirnov A. Determination of the displacements of rock mass nearby the dismantling chamber under effect of plow longwall. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2016, no. 2, pp. 34–42.
9. Khomenko O. E. *Geoenergetika podzemnoi razrabotki rudnykh mestorozhdenii: monografiia* [Monograph “Geoenergy of underground development of ore deposits”]. Donetsk, NSU Publ., 2016. 242 p.
10. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Liashenko V. I., Shevchenko E. V. [The improvement of the workplace safety under the underground mining by means of pillars and spans dimensions optimization]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti – Industrial Workplace Safety*, 2016, no. 3, pp. 35–39. (In Russ.)
11. Liashenko V. I. [The improvement of the workplace safety under the underground mining of complex structured deposits]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti – Industrial Workplace Safety*, 2014, no. 9, pp. 54–59. (In Russ.)

ПЕРСПЕКТИВЫ ВОВЛЕЧЕНИЯ В ДОБЫЧУ И ПЕРЕРАБОТКУ ПОТЕРЯННЫХ ЗАПАСОВ РУД

БЕРКОВИЧ В. Х., ДИК Ю. А., ШУКШИНА А. Н.

В работе рассмотрены вопросы повторной добычи потерянных запасов руд. Повторная отработка месторождений способствует повышению полноты использования недр. Первичная отработка базируется на способе поддержания налегающих пород и очистного пространства. При повторной выемке обычно приходится встречаться со значительными нарушениями целостности рудного массива и вмещающих пород, поэтому добыча потерянных запасов руд традиционными методами практически невозможна. При выборе способа подземной повторной разработки необходимо учитывать факторы, определяющие целесообразность этих работ: при извлечении руды с низким содержанием металла фактор себестоимости добычи приобретает решающее значение; если работы ведут в нарушенном массиве, особенно важен фактор безопасности работ; ведение работ в нарушенных зонах требует значительных средств на проведение и поддержание выработок, значит, способ разработки должен обеспечить значительные объемы добычи. В качестве примера добычи потерянных запасов предлагается принципиально новая технология, сущность которой заключается в дополнительном выпуске обрушенной горной массы из очистного пространства в тяжелых суспензиях.

Ключевые слова: повторная отработка; целостность пород; потерянные запасы; дополнительный выпуск; тяжелые суспензии.

Рациональное использование и охрана недр предопределяют не только интенсивное и полное извлечение полезных ископаемых, но и вовлечение в хозяйственный оборот по мере совершенствования технологии участков месторождения, до недавнего времени считавшихся нерентабельными. Вовлечение в эксплуатацию некондиционных и ранее потерянных руд и получение за счет этого дополнительного металла оказывается экономически более выгодным с народнохозяйственной точки зрения, чем выпуск такого же металла в результате разведки и освоения нового месторождения.

В настоящее время разведанные запасы позволяют обеспечить производство цветных металлов в необходимом количестве на длительную перспективу, однако для освоения новых месторождений необходимы большие объемы капитальных вложений. Поэтому большая часть капитальных вложений будет направляться не на освоение новых, а на реконструкцию и перевооружение действующих предприятий с целью поддержания и увеличения мощностей по добыче и переработке руд.

Специфика повторной разработки заключается в том, что по сравнению с первичной разработкой месторождения обычно происходит снижение себестоимости руды. Важно отметить, что снижение себестоимости добычи при повторной разработке обусловлено не столько дополнительными капиталовложениями на ее осуществление, сколько факторами, присущими исключительно повторному вовлечению в эксплуатацию ранее потерянной руды. К их числу относятся: резкое

Беркович Вячеслав Хаимович – кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: vyacheslav.berkovich@m.ursmu.ru

Дик Юрий Абрамович – кандидат технических наук, начальник отдела горной науки. 620014, г. Екатеринбург, ул. Хохрякова, 87, ОАО «Уралмеханобр – УГМК».

Шукшина Анна Николаевна – студентка кафедры горного дела. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: shukshinaann@mail.ru

снижение величины амортизационных отчислений; значительное уменьшение затрат на буровзрывные работы; снижение величины погашения горноподготовительных работ; исключение из себестоимости статьи расходов «Погашение затрат на геологоразведочные работы» и пр.

Повторная обработка месторождений не только способствует повышению полноты использования недр, но и имеет большое социальное значение, так как позволяет продлить срок существования горнодобывающих предприятий, которые дорабатывают свои балансовые запасы, а также более полно использовать производственные мощности действующих обогатительных фабрик и медеплавильных заводов. Отечественный и зарубежный опыт показывает, что возможно и целесообразно наиболее полное извлечение бедных и окисленных руд, потолочин, целиков, карманов, апофиз, законтурных руд и даже закладки, отвалов и т. д. Решение этой проблемы связано не только с переоценкой, но и с изысканием, возможно, особых методов и приемов вскрытия и отработки запасов руд, которые могут находиться в выработанном или примыкающем к нему пространстве, в зоне непогашенных пустот и не полностью обрушенного массива пород. Решение этой проблемы потребует разработки новой техники и технологии добычи потерянных запасов [1].

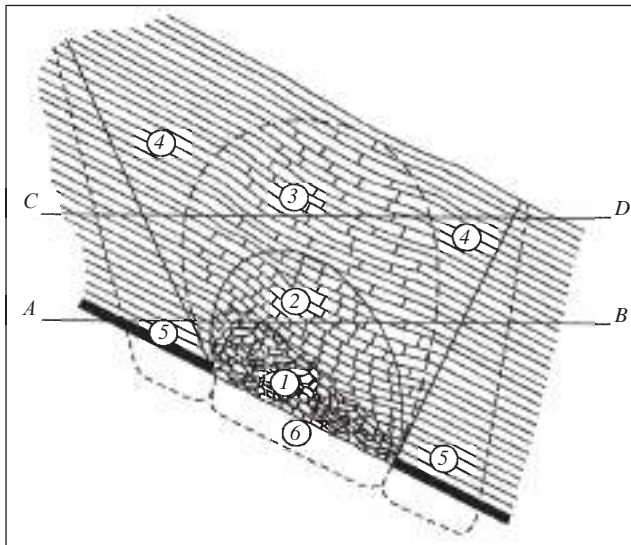


Рис. 1. Схема движения горных пород:
1 – выработанное пространство; 2 – зона крупных трещин; 3 – зона мелких трещин; 4 – зона плавных сдвижений; 5 – зона опорного давления; 6 – зона разгрузки

С геомеханической точки зрения, выработанное пространство, остающееся в массиве горных пород после выемки полезного ископаемого, является основным источником (причиной) сдвижения вышележащих горных пород. Для качественной оценки сложного физического явления, к которому относится процесс сдвижения и деформации горных пород, включая и земную поверхность, в настоящее время выделяется шесть зон: зона беспорядочного обрушения; зона крупных трещин и разломов; зона водопроницаемых трещин; зона мелких трещин и плавных сдвижений; зона опорного давления; зона разгрузки (рис. 1).

На рис. 1 переместившийся в зонах A и B массив лишает распора окружающие породы в зонах C и D. Прочность их падает, и под давлением вышележащих пород и собственного веса породы зоны C и D выдавливаются в сторону A и B.

Вследствие этого общая граница зон A и B обусловлена лишь их собственным весом, а вертикальное давление на горизонте выпуска будет определяться высотой зоны A и B и объемной массой обрушенных пород в этой зоне [2].

Этот механизм давления обрушенных пород на зону возможного фронта работ при повторной разработке месторождения отражает точку зрения, принятую при разработке ограниченных по простиранию и слепых рудных тел месторождений Среднего Урала типа Ломовского, Левихинского, Турьинского, Гумешевского и др.

Полнота извлечения полезных ископаемых из недр является одним из основных требований при выборе методов подземной разработки. Уровень потерь руды при разработке месторождений подземным способом зависит от многих факторов, которые были сведены в единую известную классификацию, построенную на основе разделения по процессам и местам, где эти потери происходят. Классификация эта дана для всех способов разработки и всех твердых полезных ископаемых. Принимая ее за основу, рассмотрим виды потерь применительно к условиям подземной повторной разработки. Анализ показывает, что технология выемки потерянных руд в большей мере определяется состоянием и условиями залегания запасов, а также состоянием прилегающего к ним выработанного пространства.



Рис. 2. Структура запасов, пригодных для повторной обработки

Если классификация систем разработки рудных месторождений при первичной обработке базируется на способе поддержания налегающих пород и очистного пространства, то при повторной разработке обычно приходится встречаться со значительными нарушениями целостности рудного массива и вмещающих пород. Поэтому поддержание очистного пространства традиционными методами практически невозможно.

При выборе способа подземной повторной разработки необходимо учитывать факторы, определяющие целесообразность этих работ: при извлечении руды с низким содержанием металла фактор себестоимости добычи приобретает решающее значение; если работы ведут в нарушенном массиве, особенно важен фактор безопасности работ; ведение работ в нарушенных зонах требует значительных средств на проведение и поддержание выработок, значит, способ разработки должен обеспечить значительные объемы добычи. В качестве примера добычи потерянных запасов с помощью новой технологии приведем из видов, пригодных для повторной обработки, отбитую рудную массу в обрушениях (рис. 2).

Добычу потерянных запасов в выработанном пространстве над выпускными дучками и в гребнях между выпускными дучками предлагается вести дополнительным выпуском в тяжелых суспензиях [3]. Сущность предложенного способа заключается в следующем. Отработке подлежат руды, находящиеся в кусковом или сыпучем состоянии и разубоженные вмещающими породами, например, оставшиеся при массовом выпуске.

Подготовка блока состоит из проходки вертикальной и горизонтальной выработок, оборудования скважин для подачи раствора для изоляции очистного блока методом зонной инъекции. В рудный массив подают раствор, плотность которого доводят до плотности вмещающей породы, но не менее плотности руды. За счет разности плотности пустые породы всплывают, а рудная масса концентрируется в нижней части отрабатываемого пространства. Транспортировку выпущенной горной массы осуществляют также в потоке тяжелой жидкости по доставочной выработке.

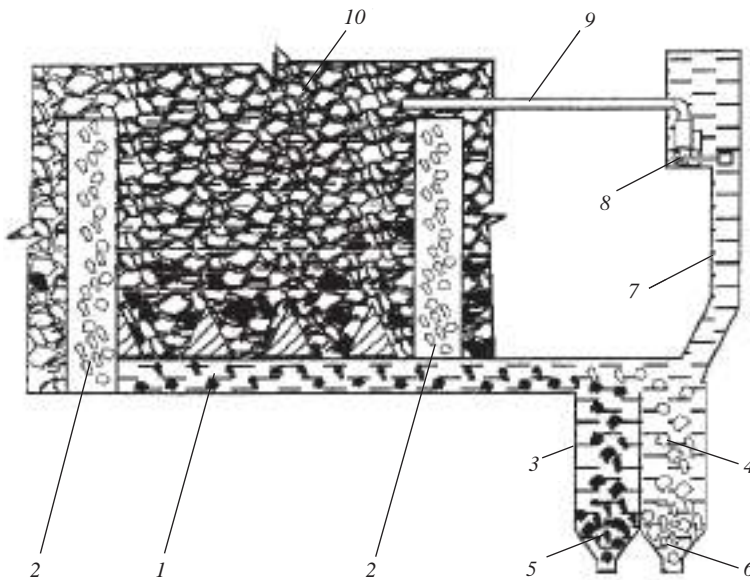


Рис. 3. Способ выпуска отбитой горной массы в тяжелых суспензиях:
1 – транспортная выработка; 2 – изоляционная завеса; 3, 4 – промежуточные бункеры; 5 – кондиционная руда; 6 – пустая порода; 7 – восстающий; 8 – насосная станция; 9 – скважины для подачи раствора; 10 – выработанное пространство

Скорость потока в выработке должна быть минимальной (критической) для обеспечения энергоемкости процесса, но достаточной для взвешивания частиц (кусков) руды. Расход рабочей жидкости, м³/с, может быть определен из соотношения:

$$Q = S_{\text{выр}} \left[v_0 - \sqrt{f \left(v_{\Gamma}^2 - v_{\text{н}}^2 \right)} \right],$$

где $S_{\text{выр}}$ – сечение выработки в свету, м²; v_0 – средняя скорость течения жидкости в слое с высотой, равной диаметру частицы, м/с; f – коэффициент трения частиц о поверхность; v_{Γ} – гидравлическая крупность частиц руды, м/с; $v_{\text{н}}$ – составляющая скорости жидкости по нормали к поверхности, м/с.

При достижении места складирования и снижения скорости потока, за счет увеличения сечения транспортной выработки горная масса выпадает в промежу-

точные бункеры для руды и для породы. Раствор из вертикальной выработки перекачивают в обрабатываемое пространство и цикл повторяют. Последовательность операций при реализации предложенного способа осуществляется в следующем порядке (рис. 3).

Выемочный блок, заполненный некондиционной рудной массой, подготавливается к очистным работам восстановлением транспортной выработки 1, сооружением из нее изоляционных завес 2, оборудованием промежуточных бункеров 3 и 4 для приема кондиционной руды 5 и пустой породы 6, проходки восстающего 7, оборудования насосной станции 8 и бурения скважины 9 для подачи раствора тяжелой жидкости в выработанное пространство 10.

При изготовлении тяжелых растворов в качестве утяжелителя используют следующие вещества: пирит (5 г/см^3), магнетит ($5,2 \text{ г/см}^3$), ферросилиций ($6,8 \text{ г/см}^3$) и галенит ($7,5 \text{ г/см}^3$). Взвешенные твердые частицы увеличивают плотность жидкости пропорционально их весу. Для расчета количества утяжелителя, кг, необходимого для получения жидкости заданной плотности, пользуются формулой:

$$P = V\gamma(\gamma_c - 1)/(\gamma - 1),$$

где V – объем жидкости, г/см^3 ; γ – плотность утяжелителя, г/см^3 ; γ_c – плотность тяжелой жидкости, г/см^3 .

Значение E при разных утяжелителях

Утяжелитель	Плотность тяжелой жидкости, г/см^3	Содержание твердого, г/л	Содержание твердого по объему, %	E
Пирит, магнетит	1,5	680	12,5	1,01
	1,8	1000	20,0	1,14
	2,0	1250	25,0	1,22
Галенит	2,0	1200	19,0	1,16
	2,8	2100	33,0	1,15
	3,0	2380	38,0	1,19
Ферросилиций	2,5	1760	26,0	1,44
	2,8	2100	31,0	1,46

Для тяжелой жидкости существует показатель, характеризующий ее транспортные способности – условная кинематическая вязкость ν . В лаборатории опытным путем определяют скорость вытекания определенного объема воды (из капилляра) t_b и тяжелой суспензии t_c и находят их отношение $E = t_c/t_b$, а затем вычисляют условную кинематическую вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$, по формуле:

$$\nu = 7,6 E(1 - 1/E^3),$$

значение показателя E берут из таблицы.

Для получения достаточно устойчивой и, по возможности, маловязкой тяжелой жидкости на практике применяют утяжелитель с определенной крупностью зерен. Кроме того, известно, что чем меньше угол внутреннего трения массива отбитой горной массы, тем больше зоны выпуска, а определяющей характеристикой величины угла внутреннего трения массива является показатель влажности этого массива. При нагнетании жидкости увеличивается абсолютная влажность массива, а значит, уменьшается угол внутреннего трения массива, что приводит

к увеличению ширины зоны выпуска отбитой горной массы. В этом случае в зону выпуска попадают гребни между дучками, что и приводит к снижению потерь руды в транспортной выработке. Скорость потока в выработке должна быть минимальной (критической) для обеспечения наименьшей энергоемкости процесса, но достаточной для взвешивания частиц (кусков) руды.

С использованием известных формул из практики обогащения руд в тяжелых средах расход жидкости, перекачиваемой насосом, определяется по формуле:

$$Q = S_{\text{выр}} \left[v_0 - \sqrt{S \left(v_{\text{г}}^2 - v_{\text{н}}^2 \right)} \right],$$

где S – сечение скважины для подачи раствора, м^2 .

Технология изоляции выемочного блока методом зонной инъекции потребовала разработки специального иньектора для раздельного бетонирования и нагнетания вяжущего раствора [4]. Иньектор (рис. 4) состоит из отдельных метровых секций, которые представляют собой концентрично расположенные трубы (наружные и внутренние). Он снабжен наконечником и съемной крышкой. В днище крышки вставлен поворотный патрубок, снабженный рукояткой, взаимодействующей с внутренней перфорированной трубой. Патрубок на крышке зафиксирован пальцем, закрепленным на рукоятке тросиком. Посредством хомута иньектор соединен с телескопным пневматическим перфоратором, осуществляющим погружение иньектора в закладочный массив и его извлечение. Секции наружной трубы и крышка иньектора маркированы порядковыми номерами и стыкуются строго по контрольным рискам. При правильной сборке риски на всех секциях наружной трубы и крышке должны лежать на одной прямой.

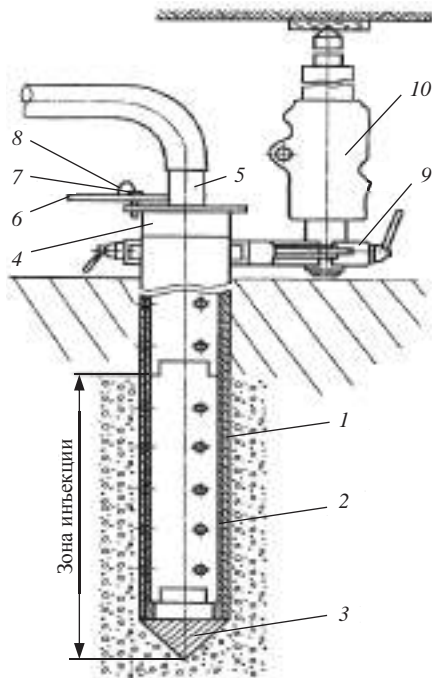


Рис. 4. Иньектор для раздельного бетонирования и нагнетания вяжущего:

1 – наружная труба; 2 – внутренняя труба; 3 – наконечник; 4 – съемная крышка; 5 – поворотный патрубок; 6 – рукоятка; 7 – палец; 8 – тросик; 9 – хомут; 10 – телескопный перфоратор

Отверстия перфорации в секциях наружной трубы выполнены смещенными по секционно в горизонтальной плоскости на некоторый угол α . Отверстия первой секции смещены относительно отверстий третьей секции на угол 2α и т. д. Отверстия перфорации в секциях внутренней трубы выполнены не смещенными относительно наружной. Это позволяет совмещать отверстия в той или иной секции иньектора или перекрывать их полностью. Открытие от-

верстий в секциях иньектора производится поворотом рукоятки до совпадения пальца с контрольным отверстием в крышке. Каждое контрольное отверстие на крышке маркировано порядковым номером соответствующей секции. Контрольное отверстие, обозначенное буквой Т, соответствует транспортному положению иньектора, т. е. когда все отверстия перекрыты. Погружение иньектора в массив производится по секционно с последовательным наращиванием секций и соблю-

дением совпадения рисков. При погружении иньектора в рудный массив рукоятка должна быть зафиксирована стопорным пальцем в положении Т с целью предохранения отверстий перфорации от засорения. По окончании погружения иньектора патрубков соединяется с нагнетательной магистралью. Поворотом рукоятки и ее фиксации последовательно в рабочих положениях 1, 2, 3 и т. д. вязущий раствор нагнетается в породу слоями–зонами снизу вверх. По окончании нагнетания раствора и промывки иньектора водой его извлекают из массива.

Экспериментальные исследования показали, что качество иньекционных работ зависит от качества приготовленных растворов. Были разработаны и испытаны в промышленных условиях многокомпонентные составы иньекционных растворов, которые можно приготовить только на специальных рабочих узлах. Составы растворов в каждом конкретном случае выбирались в зависимости от прочностных и деформационных свойств монолитного массива, фильтрационных характеристик сыпучей среды и их минимальной себестоимости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беркович В. Х., Дик Ю. А., Крушати́н Р. Ф. Перспективы вовлечения в добычу и переработку ранее потерянных запасов руд в условиях доработки месторождений Среднего Урала // Уральская горная школа – регионам: матер. науч.-практ. конф. (24–25 апреля 2017 г.). Екатеринбург: Унипро-медь, 2001. 104 с.
2. Беркович В. Х., Болкисев Вл. С. Вопросы сдвижения горных пород при повторной добыче полезного ископаемого геотехнологическими методами // Геомеханика в горном деле: сб. докл. междунар. конф. Екатеринбург, 1996. С. 65–68.
3. Способ повторной разработки рудных месторождений: а. с. 1492825. Заяв. № 4317638/23-03, 1987. Публикация в открытой печати запрещена.
4. Иньектор: а. с. 397658. Опу́бл. в БИ, № 37, 1973.

Поступила в редакцию 30 июня 2017 года

THE PROSPECTS OF INVOLVING LOST ORE RESERVES INTO MINING AND PROCESSING

Berkovich V. Kh. – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: vyacheslav.berkovich@m.ursmu.ru

Dik Yu. A. – JSC Uralmexhanobr, Ekaterinburg, the Russian Federation.

Shukshina A. N. – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: shukshinaann@mail.ru

The work considers the problems of recurring mining of lost ore reserves. Recurring development of deposits contributes to the improvement of the subsoil use completeness. Primary development is based on the method of maintaining overlying rock and stoping zone, whereas under the recurring excavation it is usually necessary to meet significant integrity damage of ore massif and enclosing rock. For this reason the production of the lost ore reserves with traditional methods is near-impossible. When selecting the method of underground recurring development it is necessary to take into account the factors which determine the practicability of these works: when excavating ore with low content of metal the factor of production cost acquires crucial importance; in case of works in the disturbed massif, the factor of safety is especially important; works in disturbed zones requires significant resources to develop and maintain the workings, thus, the method of development has to provide significant production output. By way of example of lost ore production, brand new technology is suggested, the essence of which consists in the additional output of caved rock mass out of the stopping zone in heavy suspensions.

Key words: recurring development; rock integrity; lost reserves; additional output; heavy suspensions.

REFERENCES

1. Berkovich V. Kh., Dik Yu. A., Krushatin R. F. [The prospects of involving lost ore reserves into mining and processing in the conditions of the Middle Urals deposits reworking]. *Ural'skaia gornatai shkola – regionam: mater. nauch.-prakt. konf. (24–25 april 2017 g.)* [Proc. of the Int. Research-to-Pract. Conf. “From the Urals mining school – to the regions” (24th–25th April, 2017)]. Ekaterinburg, Unipromed' Publ., 2001. 104 p. (In Russ.)
2. Berkovich V. Kh., Bolkisev V. S. [The problems of rock shift under recurring production of minerals with geotechnological methods]. *Geomekhanika v gornom dele: sb. dokl. mezhdunar. konf.* [Proc. Int. Conf. “Geomechanics in mining”]. Ekaterinburg, 1996, pp. 65–68. (In Russ.)
3. Berkovich V. Kh., Bulatov V. F., Tarchevskii E. V. *Sposob povtornoï razrabotki rudnykh mestorozhdenii* [The method of recurring development of ore deposits]. Certificate of authorship, no. 1492825. 1987.
4. Berkovich V. Kh., Tarchevskii E. V., Iliushin A. P. *In'ektor* [Injector]. Certificate of authorship, no. 397658. 1973.

О ВОЗМОЖНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЗАБОЕ РАЗРЕЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СОРТОВОГО УГЛЯ

ДЕМЧЕНКО И. И., МУЛЕНКОВА А. О.

Получение сортового угля непосредственно в забое разреза при циклической технологии добычи предполагает введение перерабатывающего звена и дополнение транспортного звена технологическим автотранспортным средством с установленными на нем специализированными контейнерами. Перерабатывающее звено, на выходе из которого получается сортовой уголь, включает в себя дробильную и сортировочную установки, аккумуляторный бункер и конвейерные линии. Технологическое автотранспортное средство предназначено для транспортировки специализированных контейнеров с полученным сортовым углем из забоя на дневную поверхность. Использование контейнеров для доставки сортового угля обеспечит сохранность его качественных и количественных характеристик. Структура и параметры вводимого горно-транспортного комплекса зависят от конкретных горнотехнических условий разработки и возможности использования в этих условиях предлагаемого промышленностью оборудования. В работе рассмотрены различные варианты технологических схем размещения комплекса горнотранспортного оборудования в забое разреза. Определены возможность размещения и области использования комплекса перерабатывающего оборудования в горнотехнических условиях разработки забоя экскаватором ЭКГ-5А.

Ключевые слова: сортовой уголь; горнотранспортный комплекс; горнотехнические условия; технологический транспорт; технологическое автотранспортное средство; звено переработки.

Получение сортового угля в забое разреза позволяет минимизировать затраты, связанные с доставкой топлива потребителю. При этом сортовой уголь непосредственно в забое загружается в специализированные контейнеры и доставляется в них потребителю, а при необходимости и хранится в них до полного использования. На разных этапах транспортирования применяются различные, наиболее эффективные виды транспорта, при этом перегрузка топлива с одного транспортного средства на другое не будет оказывать негативного воздействия на окружающую среду, а также качественные и количественные характеристики угля, так как специализированный контейнер в данном случае является цельной грузовой единицей. Таким образом решается проблема сохранения качественных и количественных характеристик сортового угля. Решение данной задачи потребует изменения структуры комплекса горнотранспортного оборудования, состоящего при циклической технологии добычи из экскаватора и автосамосвала.

Для получения сортового угля в комплекс горнотранспортного оборудования необходимо ввести звено переработки, включающее дробильную и сортировочную установки, конвейерные линии и, при необходимости, аккумуляторные бункеры. Звено транспортировки дополняется технологическим автотранспортным средством (ТАТС), предназначенным для вывозки сортового угля в специализированных контейнерах на дневную поверхность (рис. 1).

Демченко Игорь Иванович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры горных машин и комплексов Института горного дела, геологии и геотехнологий. 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79, Сибирский федеральный университет. E-mail: demtchenkoii@yandex.ru

Муленкова Анастасия Олеговна – ассистент кафедры горных машин и комплексов Института горного дела, геологии и геотехнологий. 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79, Сибирский федеральный университет. E-mail: 15anastasiya@mail.ru

Уголь загружается в приемный бункер 1 мобильной дробильной установки, расположенной в зоне разгрузки 2, ковшем экскаватора. Далее уголь питателем подается в дробилку 3. После дробильной установки измельченный уголь по ленточно-ленточному передаточному конвейеру 4 поступает в бункер сортировочной установки 5, а затем на вибрационное поле грохота 6, состоящее из сит с отверстиями разного размера. На ситах уголь разделяется по фракциям, которые затем попадают в соответствующие определенному сорту аккумулялирующие бункеры 7, расположенные под ситами. Количество бункеров соответствует максимальному количеству типов сорта, которые можно получить на данной сортировочной установке. Далее с аккумулялирующего бункера уголь требуемой фракции посредством открытия шиберного затвора поступает в дозатор 8 погрузочного конвейера 9 для загрузки в специализированный контейнер 10, расположенный на ТАТС 11.

Синхронная и бесперебойная работа комплекса для получения сортового угля обеспечивается корреляцией основных параметров перерабатывающего оборудования и ТАТС. Перерабатывающее оборудование комплекса должно быть мобильным. Основным требованием расположения перерабатывающего оборудования в забойных условиях являются минимальные габаритные размеры оборудования при заданной производительности.

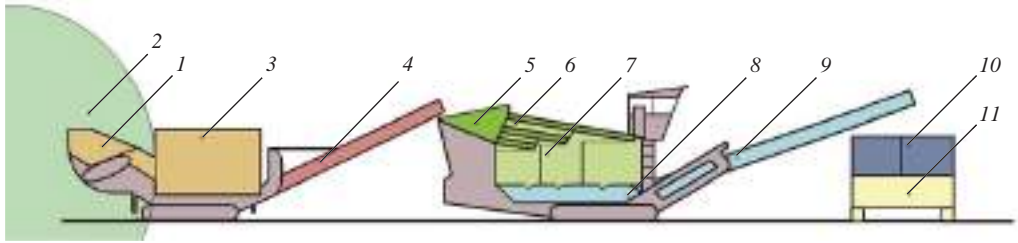


Рис. 1. Вводимые элементы комплекса горнотранспортного оборудования

Дробильная установка является начальным звеном в технологическом процессе получения сортового угля в забое. Высота расположения приемного бункера относительно земной поверхности не превышает максимальной высоты разгрузки экскаватора. Численные значения параметров дробильной установки зависят от степени измельчения материала, типа дробильного агрегата и производительности комплекса.

С учетом критерия минимальных габаритных размеров оборудования при его высокой производительности в качестве дробильного агрегата рационально использовать шнеко-зубчатые дробилки, обладающие относительно малыми габаритными размерами и общей массой, предназначенные для дробления кусков угля размером от 200 до 1500 мм при производительности от 50 до 8000 м³/ч.

Сортировочные установки, предоставляемые промышленностью, потребуют адаптации под предлагаемую технологию получения сортового угля в забое: количество требуемых классов сортового угля на выходе определяет количество используемых для рассортировки сит; структура спроса – возможность оперативной смены сит разной размерности.

Наличие аккумулялирующего бункера определяется вариантом компоновки перерабатывающего звена в зависимости от способа отгрузки отсева и сортового угля (рис. 2).

Вариант 1 компоновки перерабатывающего оборудования предполагает наличие аккумулялирующего бункера вместимостью, позволяющей одновременно накапливать сортовой и рядовой уголь для дальнейшей поочередной загрузки в контейнеры, расположенные на ТАТС грузоподъемностью $q_{т.с}$, в автосамосвал грузоподъемностью $q_{сам}$, т, соответственно.

Расчет вместимости аккумулирующего бункера, m^3 , имеющего форму геометрической фигуры, верхняя часть которой представляет собой параллелепипед, а нижняя – усеченную пирамиду, в рассматриваемой технологической схеме имеет вид:

$$V = a_c b_c h_2 + 1/3 \cdot h_1 \left(a_c b_c + \sqrt{a_c b_c (a - 2h_1 \operatorname{tg}(90 - \gamma))} b_{\text{пит}} + (a_c - 2h_1 \operatorname{tg}(90 - \gamma)) b_{\text{пит}} \right),$$

где a_c – длина грохота, м; b_c , $b_{\text{пит}}$ – ширина грохота и питателя соответственно, м, численно определяется параметрами предлагаемых промышленностью грохотов и питателей, обеспечивающих заданную производительность перерабатываемого комплекса; h_1 и h_2 – составляющие высоты аккумулирующего бункера, м, параметры высоты не могут быть определены параметрами конкретных предлагаемых технических исполнений сортировочных установок, они зависят от параметров предлагаемого комплекса в целом, в частности от высоты сброса угля с передаточного конвейера дробильной установки.

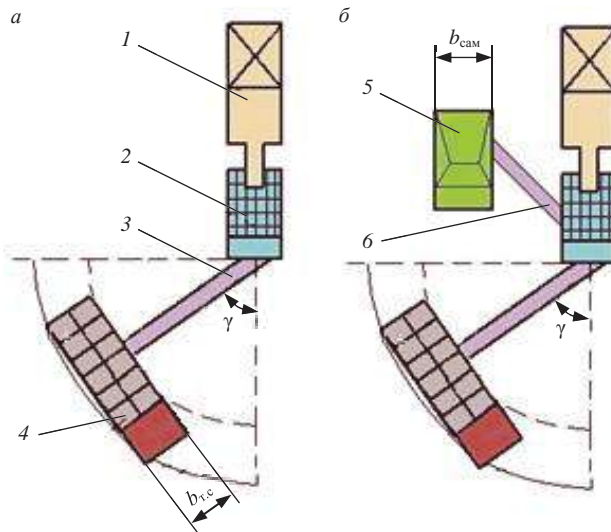


Рис. 2. Варианты отгрузки отсева и сортового угля звена переработки:

a – последовательная отгрузка отсева в автосамосвал и сортового угля в ТАТС по одному погрузочному конвейеру (вариант 1); *б* – одновременная отгрузка сортового угля в ТАТС и отсева в автосамосвал по разным погрузочным конвейерам (вариант 2); 1 – дробильная установка; 2 – сортировочная установка; 3 – погрузочный конвейер; 4 – ТАТС со специализированными контейнерами; 5 – автосамосвал; 6 – погрузочный конвейер для отсева; γ – угол поворота погрузочного конвейера; $b_{\text{сам}}$, b_{TC} – ширина самосвала и ТАТС соответственно, м

Таким образом, вместимость аккумулирующего бункера ограничена конструктивными параметрами элементов оборудования предлагаемого комплекса и задает грузоподъемность используемых транспортных средств для транспортировки угля.

Дробильную установку с сортировочной установкой связывает передаточный конвейер, параметры которого рассчитываются по известной методике [1]. Максимальный угол наклона ленточного передаточного конвейера достигает 20° – 22° . При регулировании положения става конвейера важно, чтобы значение высоты сброса раздробленного угля коррелировало со значением высоты расположения приемного бункера. Погрузка сортового угля в специализированный контейнер,

находящийся на ТАТС, происходит по погрузочному конвейеру. Он расположен под углом ω , град., к горизонту и поворачивается в горизонтальной плоскости на угол γ , град.

Согласно техническим характеристикам технологических элементов звена переработки выделено три группы оборудования по признаку обеспечиваемой ими максимальной часовой производительности. Группы оборудования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Варианты совместного использования перерабатывающего оборудования

Элемент оборудования	Производительность оборудования Q , м ³ /ч		
	До 250	До 700	До 1000
Дробилка	ДШЗ-500	ДШЗ-625	ДШЗ-1400
Грехот	ГИЛ-63	ГИЛ-63 (3 ед.)	ГИЛ-63 (4 ед.)

Удобство перемещения элементов перерабатывающего звена за фронтом работ обеспечивается размещением цепочки оборудования вдоль забоя. Определяющим параметром в этом случае является габаритная ширина звена переработки b , определяющая возможность размещения комплекса в забое с ограниченной шириной рабочей площадки.

Габаритная ширина перерабатывающего звена различной производительности и компоновки по вариантам выгрузки отсева и сортового угля (рис. 2) представлена в табл. 2.

Таблица 2

Ширина звена переработки в зависимости от его компоновочной схемы и производительности

Показатель	Вариант 1			Вариант 2		
	250	700	1000	250	700	1000
Производительность Q , т/ч	250	700	1000	250	700	1000
Ширина b^* , м	2,0–7,7	7,0–12,6	9,5–15,5	5,7–8,7	13,1–16,1	17,3–20,3

*Ширина звена переработки определенной производительности меняется от минимального значения до максимального в зависимости от угла γ поворота погрузочного конвейера.

Производительность перерабатывающего звена является определяющей не только для собственной габаритной ширины, но и для грузоподъемности ТАТС, т:

$$q_{т.с} = W_{об} \eta t_{п} / \phi,$$

где $W_{об}$ – производительность комплекса перерабатывающего оборудования, м³/т; η – коэффициент неравномерного поступления автомобилей на погрузку; $t_{п}$ – время погрузки сортового угля, ч; ϕ – коэффициент использования грузоподъемности.

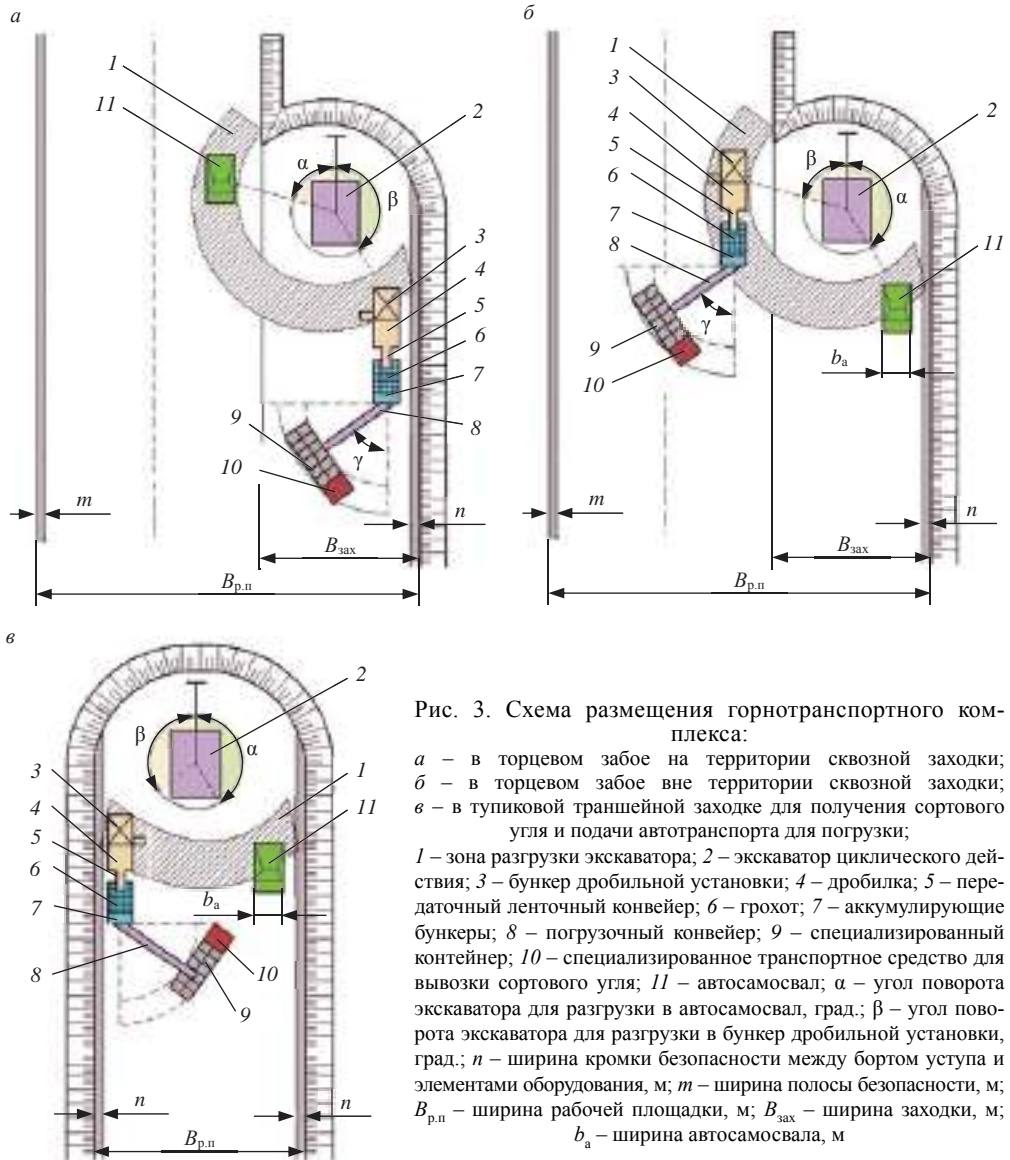
В качестве базы ТАТС возможно использование карьерных и шоссейных автосамосвалов, шахтных подземных вагонов, конструктивно исполненных в виде одиночного транспортного средства или автопоезда соответствующей грузоподъемности.

В связи с различием горнотехнических условий (виды и размеры заходов, забоев, характер движения транспортных средств на добычном уступе, соотношение направлений движения машин и экскаваторов, маневренность автотранспорта) существует множество вариантов схем размещения горнотранспортного оборудования. Возможные схемы размещения добывающего оборудования и средств

транспорта были рассмотрены профессором В. В. Ржевским [2]. Однако не все они применимы для размещения комплекса, включающего перерабатывающее оборудование и ТАТС.

На рис. 3 представлены варианты транспортно-технологических схем размещения вводимого комплекса горнотранспортного оборудования в забое разреза.

Размеры элементов забоя определяются используемым выемочным оборудованием [3]. Вводимые перерабатывающее звено и ТАТС, в свою очередь, должны



соответствовать конкретным параметрам забоя: коррелировать по производительности и иметь параметры, обеспечивающие пространственное расположение на территории забоя перерабатывающего оборудования и маневрирование ТАТС. Соответственно, для ТАТС определяющими возможностями маневрирования являются либо минимальный радиус поворота при необходимости петлевого разворота, либо ширина транспортного средства при сквозном движении.

При расположении комплекса перерабатывающего оборудования на территории заходки торцевого забоя при условии петлевого разворота транспортных средств определено предельное значение диаметра разворотной площадки, м:

$$D = B_{p.p} - b - a,$$

где $B_{p.p}$ – ширина рабочей площадки; b – ширина звена переработки, a – ширина кромки безопасности, м.

Таким образом, в забое с разворотной площадкой диаметром D возможно использование ТАТС с минимальным радиусом поворота $R_{\min} \leq D/2$, м.

В условиях торцевого забоя при сквозном движении автомобилей используются ТАТС шириной $b_{т.с} < (B_{p.p} - b - a)$ при расположении звена переработки на территории заходки. В случае расположения звена переработки за территорией заходки в рассматриваемых горно-технических условиях при необходимости петлевого разворота возможно использование ТАТС с $R_{\min} \leq (B_{p.p} - a)/2$. При сквозном движении используются ТАТС шириной $b_{т.с} < (B_{p.p} - B_{зак} - b)$.

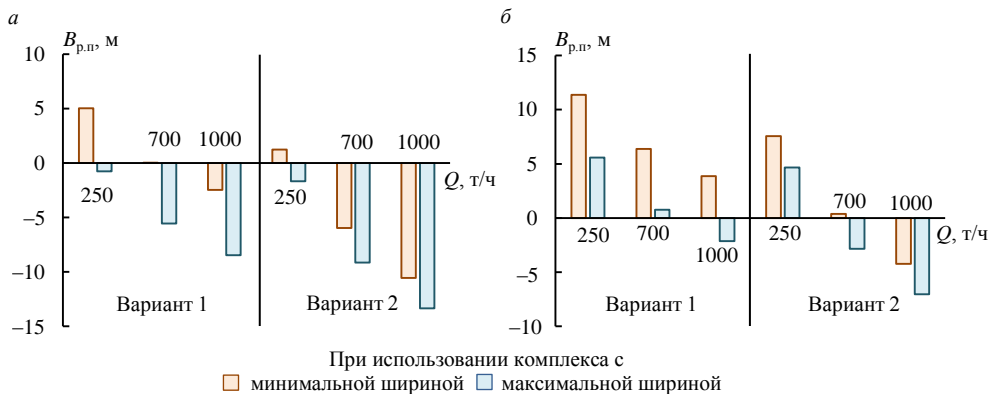


Рис. 4. Возможность размещения звена переработки в траншейном забое, разрабатываемом ЭКГ-5:

a – для узкой заходки; b – для нормальной заходки

Расположение горнотранспортного комплекса в траншейных заходках представляет большую сложность: пространство для расположения перерабатывающего оборудования и маневрирования ТАТС ограничено. В траншейном забое возможно использование ТАТС с $R_{\min} \leq (B_{зак} - 2a)/2$.

На рис. 4 показана возможность размещения звена переработки в траншейном забое. Столбцы в красной области указывают на невозможность использования звена переработки определенной производительности в траншейном забое, разрабатываемом экскаватором ЭКГ-5А.

Итак, параметры вводимых элементов комплекса горнотранспортного оборудования, обеспечивающего получение сортового угля в условиях забоя и его транспортировку на дневную поверхность, обусловлены, с одной стороны, техническими предложениями промышленности, с другой стороны – горнотехническими условиями добычи угля. Критериями возможности использования перерабатывающего оборудования являются обеспечение требуемой производительности и пространственное размещение оборудования в забое. Вводимое в технологическую схему добычи ТАТС должно иметь возможность маневрирования. Таким образом, область использования горнотранспортного комплекса ограничивается значениями ширины перерабатывающего оборудования и минимального радиуса поворота ТАТС.

Определены области использования горнотранспортного комплекса по добыче и переработке угля в горнотехнических условиях разработки экскаватором ЭКГ-5А посредством нахождения предельных значений ширины ТАТС в случае сквозного движения и минимального радиуса поворота при необходимости петлевого разворота.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий: учеб. пособие / В. И. Галкин [и др.]. М.: Горная книга, 2011. 527 с.
2. Ржевский В. В. Открытые горные работы. Ч. 2. Технология и комплексная механизация: учебник для вузов. М.: Недра, 1985. 549 с.
3. Открытые горные работы: справочник / К. Н. Трубецкой [и др.]. М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2014. 624 с.

Поступила в редакцию 13 сентября 2017 года

CONCERNING THE POSSIBILITY OF PLACING THE PROCESSING EQUIPMENT IN THE FACE OF AN OPEN PIT TO OBTAIN SIZED COAL

Demchenko I. I., Mulenkova A. O. – Siberian Federal University, Krasnoyarsk, the Russian Federation.
E-mail: demtchenkoi@yandex.ru

The production of sized coal directly at the face of an open pit in the cyclical mining technology involves the introduction of a processing unit and the addition of a transport unit with a technological vehicle with specialized containers installed on it. The processing unit, at the outlet from which the sized coal is produced, includes crushing and sorting plants, a storage bunker, and conveyor lines. Technological vehicle is designed for transportation of specialized containers with the produced sized coal from the face to the daylight surface. The use of containers for the delivery of sized coal will ensure the safety of its qualitative and quantitative characteristics. The structure and the parameters of the introduced mining and transport complex depend on the specific mining-engineering conditions of the development and the possibility of using the equipment offered by the industry in these conditions. In the paper, various variants of technological schemes for placing the complex of mining and transport equipment in the face of an open pit are considered. The possibility of allocation and the field of application of the complex of processing equipment in mining-engineering conditions of face development with an excavator ECG-5A has been determined.

Key words: sized coal; mining and transport complex; mining-engineering conditions; technological transport; technological vehicle; processing unit.

REFERENCES

1. Galkin V. I., and others. *Sovremennaiia teoriia lentochnykh konveierov gornykh predpriatii: ucheb. posobie* [School book “Modern theory of belt conveyors at mining enterprises”]. Moscow, Gornaia kniga Publ., 2011. 527 p.
2. Rzhetskii V. V. *Otkrytye gornye raboty. Ch. 2. Tekhnologiia i kompleksnaia mekhanizatsiia: uchebnik dlia vuzov* [School book for the institutions of higher education “Opencast mining. Pt. 2. Technology and complex mechanization”]. Moscow, Nedra Publ., 1985. 549 p.
3. Trubetskoi K. N., and others. *Otkrytye gornye raboty: spravochnik* [Reference book “Opencast mining”]. Moscow, “Gornoe delo” ООО “Kimmeriiskii tsentr” Publ., 2014. 624 p.

КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ПО СОКРАЩЕНИЮ КОЛИЧЕСТВА ОТКАЗОВ КОЛЕСНО-МОТОРНЫХ БЛОКОВ ТЯГОВЫХ АГРЕГАТОВ

АЛЕКСАНДРИН Д. В., ПЕТРОВ С. А., БАЙКИН В. С.

Наличие процесса непрерывного снижения себестоимости производства – это одно из ключевых условий обеспечения жизнеспособности предприятия в условиях рыночной экономики. В Управлении железнодорожного транспорта ОАО «Ураласбест» снижение себестоимости производства является одной из основных функций инженерно-технических работников. В рамках выполнения данной функции инженерно-техническими работниками разрабатываются и внедряются мероприятия по улучшению ключевых показателей системы производственной эксплуатации горного оборудования. В статье представлен практический результат, полученный работниками Управления железнодорожного транспорта при решении задачи комплексного сокращения количества отказов колесно-моторных блоков тяговых агрегатов. Комплексность решения заключается в одновременном снижении негативного влияния факторов двух основных подсистем производственной эксплуатации горного оборудования – системы технического использования и системы ремонтного обслуживания.

Ключевые слова: комплексное решение; Управление железнодорожного транспорта; отказ; ремонт; колесно-моторный блок; тяговый агрегат; поломка зубчатых передач; короткое замыкание.

Для ОАО «Ураласбест» актуальность сокращения количества отказов колесно-моторных блоков (КМБ) обусловлена значительным увеличением их выходов из строя в период 2009–I квартал 2010 г., что привело к вынужденному уменьшению полносоставных поездов и, как следствие, к значительному снижению производительности локомотиво-составов.

В связи с этим в качестве первоочередной меры организован круглосуточный ремонт КМБ в депо подвижного состава (по ремонту тяговых агрегатов). Также проведено расследование выходов из строя КМБ, в ходе которого сделаны выводы о том, что основными причинами отказов являются:

– поломки зубчатых передач из-за низкого качества производимых Асбестовским ремонтно-машиностроительным заводом (ООО «АРМЗ») для тяговых электродвигателей ведущих шестерен z17m10, а также из-за неэффективного способа самостоятельного ремонта моторно-осевых подшипников (МОП) и ухудшения качества приобретаемого трансмиссионного масла «Нигрол»;

Александрин Дмитрий Викторович – аспирант кафедры логистики и управления транспортными системами Магнитогорского государственного технического университета; директор Управления железнодорожного транспорта. 624260, г. Асбест Свердловской обл., ул. Промышленная, 57, ОАО «Ураласбест». E-mail: aledv800@gmail.com

Петров Сергей Алексеевич – главный механик Управления железнодорожного транспорта. 624260, г. Асбест Свердловской обл., ул. Промышленная, 57, ОАО «Ураласбест». E-mail: mech@gtr.uralasbest.ru

Байкин Валентин Станиславович – аспирант кафедры логистики и управления транспортными системами Магнитогорского государственного технического университета; лаборант лаборатории эффективной эксплуатации оборудования. 454000, г. Челябинск, ул. Энтузиастов, 30, ООО «НИИОГР». E-mail: valentin_baikin@mail.ru

– короткие замыкания, обусловленные неудовлетворительными режимами и условиями эксплуатации этих машин, а также недостаточным качеством ремонта высоковольтного электрооборудования в депо подвижного состава (по ремонту тяговых агрегатов).

Реализация комплекса мероприятий, направленных на снижение количества отказов КМБ, осуществляется по двум направлениям:

- улучшение качества и организации ремонтного обслуживания КМБ;
- улучшение условий и режимов эксплуатации тяговых агрегатов [1, 2].

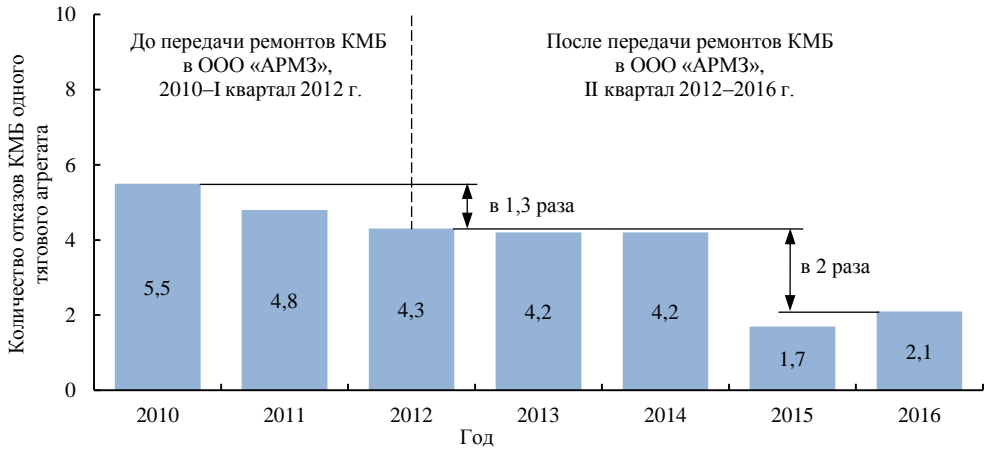


Рис. 1. Динамика среднего количества отказов КМБ тяговых агрегатов в период 2010–2016 гг.

Одним из первых шагов к улучшению качества и организации ремонтного обслуживания КМБ стало проведение лабораторного анализа прочности ведущих шестерен, изготавливаемых в ООО «АРМЗ». В результате было установлено, что в составе стали шестерен содержится недостаточное количество углерода для достижения требуемой твердости 58–60 HRC, что приводит к преждевременному

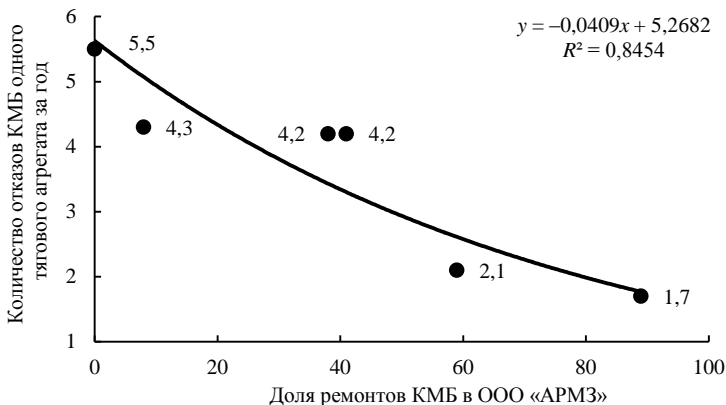


Рис. 2. Связь между средним количеством отказов КМБ и долей ремонтов КМБ в ООО «АРМЗ»

выходу этих шестерен из эксплуатации в течение 1–2 мес. Анализ послужил основанием для изменения технологии цементации, нормализации и закалки стали ведущих шестерен в ООО «АРМЗ», что увеличило срок их эксплуатации более чем на 12 мес. На данный момент срок эксплуатации ведущих шестерен достигает 24 мес.

Далее была произведена оценка эффективности самостоятельного ремонта МОП работниками Управления железнодорожного транспорта (УЖДТ). Установлено, что самостоятельные ремонты МОП сопровождались большим потреблением электроэнергии для плавки баббита, а также потерями баббита в процессе ремонта. В целях экономии финансовых, материальных, трудовых и энергетических ресурсов было принято решение о закупке новых моторно-осевых подшипников и отказе от их самостоятельного ремонта.

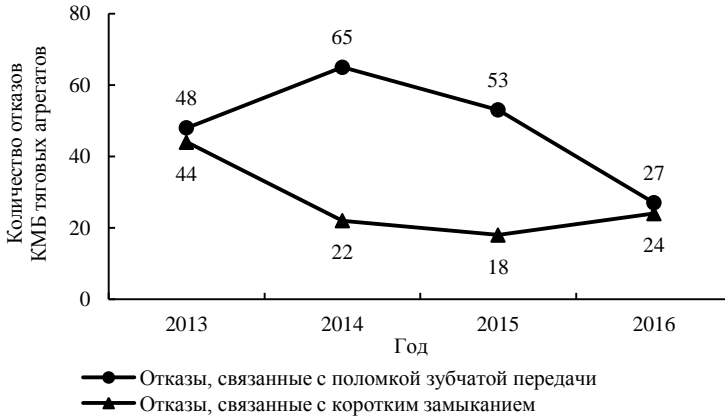


Рис. 3. Динамика количества отказов КМБ

Затем в поисках замены масла «Нигрол» было проведено тестирование разных типов трансмиссионных масел на тяговых агрегатах в рабочих условиях. Проблема в использовании масла «Нигрол» заключалась в том, что при повреждении кожухов КМБ масло в кратчайшие сроки вытекало, что в свою очередь приводило к критическому износу зубьев ведущей шестерни и зубчатого колеса. В конечном итоге было принято решение использовать масло СТП-3, вязкостные свойства которого позволяли ему оставаться в пятне контакта ведущей шестерни и зубчатого колеса до прибытия тягового агрегата в ремонтную зону.

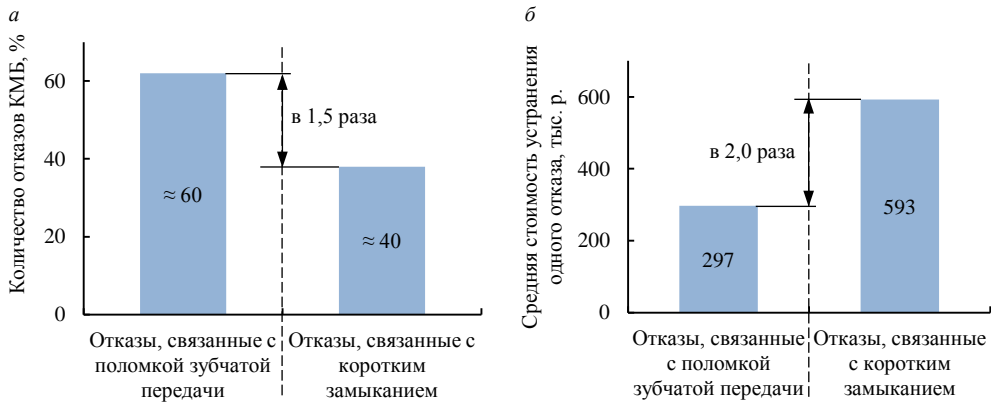


Рис. 4. Распределение отказов КМБ по основным причинам – а и сравнение их средней стоимости – б

В результате реализованных мероприятий за период 2010–2012 гг. произошло сокращение среднего количества отказов КМБ, приходящихся на один тяговый агрегат, в 1,3 раза (рис. 1).

В марте 2012 г. было принято решение включить в план производства ООО «АРМЗ» проведение ремонтов КМБ на II–IV квартал 2012 г. в объеме 20 шт., что на тот период составило 8 % от всего объема ремонтов КМБ.

Техническое оснащение, уровень профессионализма работников и производственные площади ООО «АРМЗ» позволили обеспечить высокий уровень ремонта КМБ по сравнению с качеством ремонта в депо подвижного состава УЖДТ, а также уменьшить количество отказов, вызванных поломками зубчатой передачи и короткими замыканиями. В связи с этим долю ремонтов КМБ в условиях ООО «АРМЗ» значительно увеличивали, что обеспечило снижение среднего количества ремонтов КМБ на один тяговый агрегат еще в 2 раза (рис. 1, 2).

Оценка динамики количества отказов КМБ за период 2013–2016 гг. показала их значительное снижение как из-за поломок зубчатых передач, так и из-за коротких замыканий (рис. 3). Снижение количества отказов КМБ из-за короткого замыкания обусловлено высоким качеством проводимых в ООО «АРМЗ» ремонтов и усиленным контролем состояния оборудования тяговых агрегатов.

Экономический эффект в результате реализации комплексного решения по сокращению количества отказов КМБ за период 2013–2016 гг. составил около 28 млн р.

Дальнейшая работа в этом направлении позволила установить, что в общем количестве отказов КМБ доля отказов из-за поломки зубчатой передачи составляет около 60 %, а доля отказов из-за коротких замыканий – около 40 % (рис. 4, а). При этом на устранение одного отказа, вызванного коротким замыканием, затрачивается в среднем в 2 раза больше финансовых ресурсов, чем на устранение отказа, вызванного поломкой зубчатой передачи (рис. 4, б).

В связи с этим дальнейшая работа в первую очередь направлена на сокращение количества отказов КМБ, вызванных коротким замыканием. Поскольку основной причиной таких отказов является низкий уровень профессионализма машинистов тяговых агрегатов, руководством УЖДТ в 2017 г. были разработаны мероприятия, обязывающие машинистов-инструкторов проводить оперативную оценку режимов и условий эксплуатации тяговых агрегатов на линии. Для увеличения уровня ответственности машинистов тяговых агрегатов и вовлечения их в процесс улучшения режимов и условий эксплуатации машин прорабатывается вопрос увязки части их заработной платы с уровнем профессионализма, обуславливающего отказы оборудования. Также осуществляется разработка и освоение системы мониторинга режимов и условий эксплуатации тяговых агрегатов для предупреждения отказов этих машин до стадии зарождения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов Д. В., Беклемешев В. А., Хажиев В. А. Совершенствование контроля энерго-механической службы за условиями и режимами эксплуатации экскаваторов в ООО «Восточно-Бейский разрез» // ГИАБ. 2015. № 45-2. С. 276–287.
2. Садыков С. И., Фомин В. В., Ершов Р. В., Хажиев А. В. Функционал работников системы обеспечения работоспособности горного оборудования // Уголь. 2016. № 1. С. 40–41.

Поступила в редакцию 20 сентября 2017 года

COMPLEX SOLUTION ON THE REDUCTION OF THE QUANTITY OF FAILURES OF WHEEL MOTOR BLOCKS OF LOCOMOTIVE UNITS

Aleksandr D. V., Petrov S. A. – JSC Uralasbest, Asbest, the Russian Federation. E-mail: aledv800@gmail.com
Baikin V. S. – NIIOGR, Chelyabinsk, the Russian Federation. E-mail: valentin_baikin@mail.ru

The presence of a process of continuous reduction in the cost of production is one of the key conditions for ensuring the viability of an enterprise in a market economy. In the Railway Transport Department of JSC Uralasbest the reduction in the cost of production is one of the main functions of engineering and technical workers. As part of the given function, engineering and technical workers develop and implement the activities on the improvement of the key indices of mining equipment industrial exploitation system. The article presents the result, obtained by the workers of the Railway Transport Department on the solution of the problem of complex reduction of the quantity of failures of wheel-motor blocks of

locomotive units. The complexity of the solution consists in the simultaneous reduction of negative influence of the factors of the two main subsystems of mining equipment industrial exploitation – the systems of engineering application and the systems of repair service.

Key words: complex solution, Railway Transport Department; failure; repairs; wheel-motor block; locomotive unit; breakage of gears; short circuits.

REFERENCES

1. Popov D. V., Beklemeshev V. A., Khazhiev V. A. [Improvement of the control of the power and mechanical service over the conditions and operating conditions of excavators in LLC Vostochno-Beiskii razrez]. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2015, no. 45-2, pp. 276–278. (In Russ.)
 2. Sadykov S. I., Fomin V. V., Ershov R. V., Khazhiev A. V. [The functional of the workers of the system for ensuring the working capacity of mining equipment]. *Ugol' – Coal*, 2016, no. 1, pp. 40–41. (In Russ.)
-

**ЭТАПНОСТЬ СТАНОВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

ИГНАТЬЕВА М. Н., КУБАРЕВ М. С.

Обоснована этапность становления системы государственного регулирования природопользования. Первый этап связан с фрагментарной защитой отдельных видов растений и животных. Для второго этапа характерно заложение основ государственного управления природопользованием, что связывается с указами Петра I. Всплеск интереса к естествознанию привел в конце XIX–начале XX в. к появлению общественных природоохранных организаций, созданию частных заповедников. Третий этап (после октябрьских событий 1917 г.) – это очередная попытка урегулирования процесса природопользования на государственном уровне. С 1917 по 1925 г. было опубликовано более 230 законодательных документов природоохранного содержания. Появились первые специализированные органы государственной экологической направленности. Четвертый этап – 1950–1960-е гг. – постановочный в отношении проблемы охраны и оздоровления окружающей человека среды. На законодательном уровне решаются в основном природоресурсные задачи. Пятый этап (1960–1970-е гг.) определяется как этап осознания важности экологических проблем и формирования самостоятельной сферы управления природопользованием. Шестой этап – 1970–1990-е гг. – формирование специфического инструментария управления, создание самостоятельной государственной структуры и самостоятельной законодательной базы. Седьмой этап (1990-е гг.–начало XXI в.) связан с активизацией экологической деятельности и укреплением системы государственного регулирования природопользования. Однако постепенно влияние государства снижается и статус природоохранного органа страны понижается. В настоящее время речь идет о восьмом этапе и необходимости государственного регулирования с позиции основных положений биосферной концепции.

Ключевые слова: государственное регулирование; этапность; природопользование; инструментарий; институциональное обеспечение.

Становление системы государственного управления природопользованием как механизма экологического регулирования происходило поэтапно и достаточно однотипно для разных стран мира, но со сдвигом во времени. Первый этап – фрагментарной защиты отдельных видов растений и животных – достаточно долгий, его начало относится ко временам Древнего Китая и Индии. В Польше законы о запрещении охоты на зубров появились в XII в. [1]. В XIII в. королем Эдуардом был издан первый эдикт, отражающий комплексный подход к управлению охраной окружающей среды и природными ресурсами, касающийся запрета использования каменного угля для отопления жилищ. Первые сведения относительно охраны природы в нашей стране датируются XI–XII вв. Это создание княжеских охотничьих заповедников, регламентация охоты на бобра и охрана лесов. В XV в. князем Федором Федоровичем монастырю была выдана охранная грамота,

Игнатъева Маргарита Николаевна – доктор экономических наук, профессор кафедры экономики и менеджмента. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: rinis@mail.ru

Кубарев Михаил Сергеевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и менеджмента. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: kubarev.mc@mail.ru

которая регламентировала пользование окрестными лесами, а в XIV–XVII вв. по южной границе русского княжества были учреждены «засеки» (заповедные леса военного назначения). В качестве примеров отношения к природе могут быть приведены правила, определяемые «Домостроем» (XV–XVI вв.), запрет Ивана III на рубку лесов вокруг монастырей (XV в.), целенаправленное регулирование рек в Италии в целях защиты от наводнений, регламентированное использование лесов в Германии (XIV в.), охрана растительности на песчаных дюнах в Дании (XVI в.) и др.

Второй этап связан с заложением основ государственного управления природопользованием. Как считают исследователи, ими послужили указы Петра I в отношении охраны животного мира, охраны лесов, указы «О нерублении доброго леса на дрова», «О нерубке на дрова лесу толще пяди» (XVIII в.). К 1740 г. относится и издание указа о запрете охоты на лося [2], ряд указов, ограничивающих охотный промысел крестьян в центральных губерниях, и др., что свидетельствует о наличии практики контроля охоты и состояния охотничьих угодий. Постепенно издаваемые законы становятся более серьезными, в их числе: Закон об охоте (Япония, 1885 г.), Закон о лесах (Япония, 1887 г.), Закон о мусоре (США, 1894 г.), Законы о дыме (Бенгалия, 1905 г. и Бомбей, 1907 г.), Закон «Об управлении лесами» (США, 1897 г.) и «О сохранности лесов» (США, 1891 г.), Закон «Об освоении целинных земель» (США, 1902 г.) и др. Особое значение имеет Закон Лейси (1900 г.), это первый федеральный закон об охране живой природы [3].

Всплеск интереса к естествознанию привел к появлению в конце XIX–начале XX в. общественных природоохранных организаций. В США в 1886 г. были учреждены первое общество по изучению и охране птиц и первое самостоятельное подразделение по управлению природопользованием (Управление лесами, выделенное в 1881 г. из состава Министерства сельского хозяйства США). В России в 1910 г. появились Российское общество покровителей животных, общество «Охранитель природы», Русское географическое общество, при котором с 1912 г. стала функционировать постоянная природоохранная комиссия. В 1916 г. было образовано Общество изучения и упорядочения охотничьего дела в России. Создание первого национального парка относится к 1872 г. (США), в России первые частные заповедники появились в 1895 г. В науке того периода были известны имена таких ученых, как Ч. Дарвин, Г. Марш, А. И. Воейков, В. В. Докучаев, В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, Л. С. Берг, В. Н. Сукачев и др.

Для России третий этап связан с октябрьскими событиями 1917 г., когда была предпринята очередная попытка урегулирования процесса природопользования на государственном уровне. Уже в 1917 г. был издан первый декрет «О земле», в 1918 г. – «О лесах», в 1920 г. – «О недрах земли», а также кодексы – Земельный кодекс РСФСР (1922 г.), Лесной (1923 г.). В 1919 г. был создан первый крупный советский заповедник – Астраханский, далее последовала целая серия указов о создании заповедников. С 1917 по 1925 г. было опубликовано более 230 законодательных документов природоохранного содержания. Особенности этого периода для России следует считать командно-административный стиль управления, государственную собственность на все виды природных ресурсов, жесточайшую централизацию власти.

С конца 1930-х гг. в СССР начинает создаваться система экологической безопасности, базирующаяся на использовании санитарно-гигиенических нормативов. Для этого периода характерно участие России в международных природоохранных акциях, конференциях, организациях. На территории СССР реализуются первые общенациональные экологические программы. Примером может служить Сталинский план преобразования природы, в котором нашли отражение передо-

вые идеи В. В. Докучаева и других ученых-естественников дореволюционной России, т. е. были учтены рекомендации естественнонаучного направления природопользования. Появляются и первые специализированные органы государственного управления, занимающиеся вопросами экологии. Так, в 1925 г. при Главнауке Наркомпроса был создан Государственный комитет охраны природы, преобразованный в июне 1930 г. в Междудементальный комитет содействия развитию и охране природных богатств. Впечатляющей была деятельность по развитию заповедного дела, и все же в целом для данного этапа характерна тенденция покорения природы человеком, отношение к природе как к несметному богатству, использование которого не ограничивается какими-либо пределами.

Четвертый этап для России может рассматриваться как постановочный в отношении проблемы охраны и оздоровления окружающей человека среды (1950–1960-е гг.), когда первоочередное значение приобретает защита жизни человека, его здоровья, генетического будущего. Данный этап характеризует переходный период от политики сохранения и сбережения природных богатств к политике комплексной охраны (ресурсосбережение в совокупности с решением проблемы охраны окружающей среды). Вплоть до 1970-х гг. государство решало в основном природоресурсные задачи, в связи с чем законодательные акты также относятся к числу природоресурсных, что объясняется «...отсутствием особой остроты проблемы загрязнения окружающей среды. Отсюда данная проблема не была достаточно осознана высшими органами государственной власти...и к тому же не имела достаточной научной разработки» [4, с. 69]. Вопрос о создании специального контролирующего органа в области охраны окружающей среды, который обсуждался в начале XX в., так и остался нерешенным.

Пятый этап (1960–1970-е гг.) определяется как этап осознания важности экологических проблем и формирования самостоятельной сферы управления природопользованием. Его начало ознаменовано принятием первого комплексного закона РСФСР «Об охране природы в РСФСР» (1960 г.). По словам В. В. Петрова, «мир от постановки вопроса об оздоровлении окружающей среды переходит к разработке программ по спасению человечества, построению моделей экологического переустройства мира» [5, с. 14]. В связи с ростом загрязнения возникает необходимость введения экологического мониторинга. Данная обязанность в 1972 г. возлагается на государственный комитет по гидрометеорологии. Специфика этапа проявляется в появлении новых подразделений, связанных с решением вновь возникающих проблем экологического характера при отсутствии целостной государственной экологической политики и целостной государственной структуры. В бывшем СССР вопросами природопользования занимались подразделения 18 различных министерств и ведомств, при этом функции контроля чаще всего совмещались с функциями хозяйствования. Результативность такого управления была очень низкой.

В то же время именно к рассматриваемому этапу относится разработка концептуальных основ экологической политики, базой которой послужили основополагающие положения концепции рационального природопользования (правильного природопользования Д. Л. Арманда), а также научных основ экономического механизма управления природопользованием (пересмотр отношения к природному богатству как к «даровым благам» со стороны ученых). Поворотным моментом в управлении природопользованием стала Стокгольмская конференция (1972 г.), которая рекомендовала правительствам всех стран изменить отношение к природе, ограничить экономический рост экологическими пределами, заботиться не только о нынешнем, но и о будущих поколениях. Ответной реакцией было создание практически во всех странах органов государ-

Основные законодательные акты

Год	Природно-ресурсные законы	Природоохранные законы
1991	«Земельный кодекс РСФСР» «О плате за землю»	«Об охране окружающей природной среды»
1992	«О недрах»	–
1993	«Основы лесного законодательства РФ» «Положение о Государственном внебюджетном фонде воспроизводства минерально-сырьевой базы РФ»	–
1994	–	«О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера» «О ратификации Базельской Конвенции ООН о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалении» «О ратификации рамочной Конвенции ООР об изменении климата»
1995	«Об особо охраняемых природных территориях» «Водный кодекс» «О животном мире» «О континентальном шельфе РФ» «О ратификации конвенции о биологическом разнообразии» «О соглашениях о разделе продукции» «О природных лечебных ресурсах, лечебно-оздоровительных местностях и курортах»	«Об экологической экспертизе» «Об использовании атомной энергии»
1996	«О мелиорации земель»	«О радиационной безопасности населения»
1997	«Лесной кодекс»	«О безопасном обращении с пестицидами и агро-химикатами» «О промышленной безопасности опасных промышленных объектов» «О безопасности гидро-технических сооружений» «Об уничтожении химического оружия»
1998	«О плате за пользование водными объектами» «Об исключительной экономической зоне РФ» «О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне РФ»	«Об отходах производства и потребления»
1999	–	«Об охране атмосферного воздуха» «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» «Об охране озера Байкал»
2000	«О государственном земельном кадастре»	«О качестве и безопасности пищевых продуктов» «О карантине растений»
2001	«О землеустройстве» «Земельный кодекс РФ»	«О лицензировании отдельных видов деятельности»
2002	«Об обороте земель сельскохозяйственного назначения»	«Об охране окружающей среды»

ственного управления природопользованием и усиление внимания к экологическим аспектам.

Шестой этап (1970–1990-е гг.) для российской действительности – это этап формирования сферы природопользования, а также специфического инструментария управления и создания самостоятельной государственной структуры. Основой управления стали инструменты административного управления: стандарты, нормы, нормативы и разрешения, а природопользование становится одной из составляющих системы централизованного государственного планирования. Появилось целевое финансирование природопользования, были приняты решения по совершенствованию экологической политики, в государственных планах появились разделы «Природные ресурсы и охрана окружающей среды». В 1988 г. была создана государственная структура – Государственный комитет по охране природы, вскоре преобразованный в Минприроды СССР, для решения проблем, связанных с использованием природных ресурсов, охраной окружающей среды и экологической безопасностью. Подобная структура – Госкомприроды РСФСР – была создана в 1989 г.

Постепенно формируется и соответствующая законодательная база. Несомненной вехой данного этапа является постановление «О коренной перестройке дела охраны природы в стране» (1988 г.), в котором декларировалась необходимость перехода к экономическим методам в управлении природопользованием. К этому времени экономические меры регулирования природопользования уже находили достаточно широкое распространение в развитых странах. Получают распространение и институты экологической экспертизы и экологического риска [6–9].

Седьмой этап (1990-е гг.–начало XXI в.) в России связан с переходом к рыночным отношениям в экономике и определенным ослаблением внимания к экологическому фактору. Для начальной фазы рассматриваемого этапа характерна активная законодотворческая деятельность (таблица).

В 1992 г. в Рио-де-Жанейро состоялась Международная конференция, потребовавшая от мирового сообщества перехода на модель устойчивого развития. В повестке дня на XXI в. были сформулированы основные задачи требуемой трансформации экономики с учетом экологического фактора. В России выполнение рекомендаций этой конференции нашло отражение в указах Президента «О государственной стратегии РФ по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития» (1994 г.) и «О концепции перехода РФ к устойчивому развитию» (1996 г.). Были разработаны планы действий по охране окружающей среды на 1994–1995 гг. и на 1996–1997 гг., предусматривающие разработку дополнительных правовых актов. Казалось бы, имела место активизация экологической деятельности и укрепление системы государственного экологического регулирования. Однако исполнение законов не подкреплялось ресурсным обеспечением, а также необходимым перечнем нормативно-правовых актов, позволяющих перейти законам в разряд «работающих». Опыт управления природопользованием, накопленный в советское время, был отвергнут, в том числе и планирование этой сферы деятельности. Экологическая политика перестраивалась на экономическое (косвенное) регулирование, перестроилась и структура управления. Государство фактически существенно снизило силу своего влияния и передало бразды правления рыночному регулированию. В свою очередь наличие «провалов» рынка, образовавшийся вакуум власти привели к ослаблению внимания к экологическому фактору.

Данная тенденция нашла отражение и в реорганизации природоохранных управленческих структур: это и понижение статуса природоохранного органа страны, и последующее устранение его в качестве самостоятельной структуры,

о чем свидетельствуют и преобразования, которые происходили почти ежегодно (1991 г. – Министерство экологии и природных ресурсов; 1992 г. – Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов; 1996 г. – Государственный комитет по охране окружающей среды; 2000 г. – Министерство природных ресурсов (в настоящее время – Министерство природных ресурсов и экологии)), и ослабление позиций неправительственных организаций, занимающихся вопросами охраны окружающей среды, и остаточный принцип финансирования природоохранной деятельности, и снижение внимания к воспроизводству возобновимых природных ресурсов, и неэффективность рентного налогообложения, и утрата должных контролирующих функций со стороны государства. Результатом явилось ухудшение экологического состояния в стране, рост заболеваемости, смертности населения (в первую очередь детского), снижение продолжительности жизни, усугубление глобальных экологических проблем.

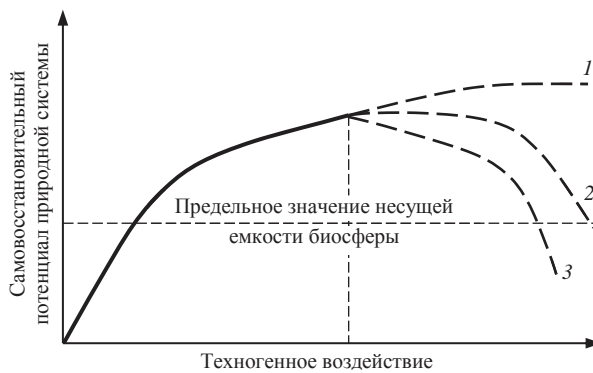


Рис. 1. Сценарии развития человечества:
1 – гибель цивилизации; 2, 3 – реализация сценариев по снижению антропогенного воздействия и вписыванию в биосферный коридор

В настоящее время речь должна идти о восьмом этапе (начало XXI в. – наше время), характеризующем приближение цивилизации к точке бифуркации (рис. 1), когда продолжение взаимодействия общества и природы по прежнему сценарию может привести к гибели человечества [10–13].

Наличие биосферной концепции позволяет прогнозировать возможность дальнейшего экономического роста в границах научно обоснованного биосферного коридора, что отвечает условию оптимизации взаимодействия природы и общества в современных условиях. В свою очередь от государственного регулирования природопользования, с одной стороны, требуется учет концептуальных положений школы рационального природопользования, связанных с комплексным географическим анализом природопользования (учет естественнонаучных аспектов природопользования), с другой стороны, особое внимание при экологическом регулировании должно быть обращено на необходимость изменения отношения руководства, принимающего решения, и в целом населения к экологическим проблемам за счет формирования экологической культуры, предполагающей наличие экологического образования, которые рассматриваются сегодня в качестве важнейшего условия перехода к устойчивому развитию и предотвращению экологического кризиса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Миланова Е. В., Рябчиков А. М. Использование природных ресурсов и охрана природы. М.: Высш. школа, 1986. 280 с.
2. Основы природопользования / А. Е. Воробьев [и др.] / под ред. В. В. Дьяченко. Ростов н/Д: Феникс, 2006. 544 с.

3. Брославский Л. И. Экология и охрана окружающей среды. М.: Инфра-М, 2013. 317 с.
4. Бринчук М. М. Экологическое право. М.: ЭКСМО, 2010. 688 с.
5. Петров В. В. Экологическое право России. М.: БЕК, 1995. 557 с.
6. Экология: опыт государственного регулирования в США: науч.-аналит. обзор. М.: ИНИОН РАН, 1995. 36 с.
7. Березовский П. В. Управление природопользованием и природоохранной деятельностью (зарубежный опыт). СПб.: СПбГГИ, 2008. 50 с.
8. Соколов В. И. Природопользование в США и Канаде: экономические аспекты. М.: Наука, 2002. 128 с.
9. Робинсон Н. А. Правовое регулирование природопользования и охраны окружающей среды в США / пер. с англ. М.: Космосинформ, 1990. 410 с.
10. Аллен Р. Как спасти Землю: Всемирная стратегия охраны природы / пер. с англ. М.: Мысль, 1983. 172 с.
11. Окружающая среда между прошлым и будущим: мир и Россия / В. И. Данилов-Данильян [и др.]. М.: Космосинформ, 1994. 192 с.
12. Крапивин В. Ф., Потапов И. И. Что происходит с биосферой // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2007. № 5. С. 3–15.
13. Лосев К. С. Мифы и заблуждения в экологии. М.: Научный мир, 2011. 224 с.

Поступила в редакцию 13 июля 2017 года

SUCCESSION OF ESTABLISHING THE SYSTEM OF GOVERNMENTAL CONTROL OVER THE NATURAL RESOURCE MANAGEMENT

Ignat'eva M. N., Kubarev M. S. – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation.
E-mail: kubarev.mc@mail.ru

The article substantiates the succession of establishing the system of governmental control over the natural resource management. The first stage is connected with the fragment protection of separate types of plants and animals. The second stage is characterized by grounding for governmental control over the natural resource management, which is connected with the decrees of Peter I. The explosion of interest to natural science at the end of the 19th–beginning of the 20th century lead to the appearance of public interest environmental groups and the creation of private nature reserves. The third stage (after October 1917 events) – is the next attempt of regulating the process of the natural resource management at the governmental level. From 1917 to 1925 more than 230 legislative documents about the natural resource management were published. First special state administrative bodies of ecological orientation emerged. The fourth stage (1950th–1960th) is related to the problem of protection and rehabilitation of human environment. At the legislative level, natural resource problems are generally solved. The fifth stage (1960th–1970th) is defined as the stage of understanding the importance of ecological problems and forming an independent sphere of natural resource management control. The sixth stage (1970th–1990th) the stage of forming specific instrumentation of management, creating independent governmental structure. Independent legislative structure is also formed. The seventh stage (1990th–the beginning of the 21st century) is connected with the activation of ecological activity and the consolidation of the system of governmental control over the natural resource management. However gradually the influence of the government declines and the status of the environmental body of the country declines. Now it is referred to the eighth stage and the necessity for governmental control from the position of the basic positions of biospheric conception.

Key words: governmental control; succession; natural resource management; instrumentation; institutional security.

REFERENCES

1. Milanova E. V., Riabchikov A. M. *Ispol'zovanie prirodnykh resursov i okhrana prirody* [Natural resources utilization and nature protection]. Moscow, Vyssh. shkola Publ., 1986. 280 p.
2. Vorob'ev A. E., and others. *Osnovy prirodopol'zovaniia. Pod red. V. V. D'iachenko* [The fundamentals of the nature management. Edited by D'iachenko V. V.]. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2006. 544 p.
3. Broslavskii L. I. *Ekologiya i okhrana okruzhaiushchei sredy* [Ecology and environmental protection]. Moscow, Infra-M Publ., 2013. 317 p.
4. Brinchuk M. M. *Ekologicheskoe pravo* [Environmental law]. Moscow, EKSMO Publ., 2010. 688 p.
5. Petrov V. V. *Ekologicheskoe pravo Rossii* [Environmental law of Russia] Moscow, BEK Publ., 1995. 557 p.
6. Scientific-analytical review "Ecology: the experience of governmental control in the USA". Moscow, INIOIN RAN Publ., 1995. 36 p. (In Russ.)
7. Berzovskii V. P. *Upravlenie prirodopol'zovaniem i prirodookhrannoii deiatel'nost'iu (zarubezhnyi opyt)* [Control over the natural resource management and environmental activity (international practices)]. St. Petersburg, SPMU Publ., 2008. 50 p.
8. Sokolov V. I. *Prirodopol'zovanie v SShA i Kanade: ekonomicheskie aspekty* [Natural resource management in the USA and Canada: economic aspects]. Moscow, Nauka Publ., 2002. 128 p.
9. Robinson N. A. *Pravovoe regulirovanie prirodopol'zovaniia i okhrany okruzhaiushchei sredy v SShA. Per. s angl.* [Legislative regulation of natural resource management and environmental protection in the USA. Transl. from English]. Moscow, 1990. 410 p.
10. Allen R. *Kak spasti Zemliu: Vsemirnaia strategiya okhrany prirody. Per. s angl.* [Ways to save the Earth: international strategy of environmental protection. Transl. from English]. Moscow, Mysl' Publ., 1983. 172 p.

11. Danilov-Danil'ian V. I., and others. *Okruzhaiushchaia sreda mezhdru proshlym i budushchim: mir i Rossiia* [Environment between the past and the present: the world and Russia]. Moscow, Kosmosinform Publ., 1994. 192 p.
 12. Krapivin V. F., Potapov I. I. [What happens to the biosphere]. *Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnykh resursov – The Issues of Environment and Natural Resources*, 2007, no. 5, pp. 3–15. (In Russ.)
 13. Losev K. S. *Mify i zabluzhdeniia v ekologii* [Myths and misconceptions in ecology]. Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2011. 224 p.
-

АНАЛИЗ АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЫЛЕВОГО КОНТРОЛЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

КУБРИН С. С., РЕШЕТНЯК С. Н., ИВАНОВ Е. С., ДЕГТЕРЁВ В. В.

Контроль состояния пылевой обстановки в условиях горных выработок является актуальной задачей. В статье проведен анализ аппаратного обеспечения пылевого контроля угольных шахт. В настоящее время существует несколько методов определения массы пылевого осадка в условиях горных выработок, как косвенных, так и прямых. Проведенные исследования позволили классифицировать методы измерения массы пылевого осадка по критерию погрешности измерения. Следует отметить, что погрешность косвенных методов измерения массы пылевого осадка будет достаточно велика и может достигать в ряде случаев 60 %, поэтому наиболее перспективными являются методы прямого измерения – гравитационный и радиоизотопный. В статье подробно рассмотрены данные методы и представлены схемные решения по возможности построения современных приборов пылевого контроля.

Ключевые слова: контроль пылевых отложений; измерение массовой плотности пыли; гравитационный метод измерения; радиоизотопный метод измерения; программное обеспечение; аппаратное обеспечение; беспроводная передача данных; технологии ZigBee.

Пылевой контроль в горных выработках, как правило, нацелен не только на предупреждение взрывоопасных состояний среды, обусловленных наличием комбинации взвешенного в атмосфере пылевого аэрозоля и отложившегося на стенках, почве, конструкциях, оборудовании пылевого осадка, но и на оценку требований к охране труда персонала, пребывающего под землей. В настоящее время существует ряд направлений развития информационных технологий, в том числе и по пылевому контролю в горных выработках [1, 2]. Используются как прямые, так и косвенные методы определения массы взвешенной пыли или пылевого осадка. Постоянно совершенствуются и системы мониторинга пылеотложений в горных выработках за счет современного аппаратно-программного обеспечения [2, 3], в том числе с использованием технологий ZigBee [4, 5], поэтому анализ возможностей аппаратного обеспечения пылевого контроля в условиях горных выработок угольных шахт является актуальной задачей.

Имеющееся в настоящий момент в эксплуатации пылеизмерительное оборудование либо морально устарело, либо не отвечает требованиям по точности измерения. Например, контроль запыленности атмосферы осуществляется аспира-

Кубрин Сергей Сергеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией геотехнологических рисков освоения недр. 111020, г. Москва, Крюковский тупик, 4, Институт проблем комплексного освоения недр РАН. E-mail: s_kubrin@mail.ru

Решетняк Сергей Николаевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геотехнологических рисков освоения недр. 111020, г. Москва, Крюковский тупик, 4, Институт проблем комплексного освоения недр РАН. E-mail: reshetniak@inbox.ru

Иванов Евгений Степанович – научный сотрудник лаборатории геотехнологических рисков освоения недр. 111020, г. Москва, Крюковский тупик, 4, Институт проблем комплексного освоения недр РАН.

Дегтерёв Виктор Владимирович – ведущий инженер лаборатории геотехнологических рисков освоения недр. 111020, г. Москва, Крюковский тупик, 4, Институт проблем комплексного освоения недр РАН. E-mail: vdvcat@gmail.com

торами АЭРА массой 7 кг, с отбором пыли на волокнистый фильтр АФА-ВП. Результат измерений получают в лабораторных условиях после обработки пылевых проб в течение нескольких часов [6].

Методы определения массы взвешенной пыли применительно к условиям горных выработок угольных шахт по способу измерения делятся на косвенные и прямые. К **косвенным методам** относят оптический, электроиндукционный и депреометрический методы измерений. Эти методы достаточно дешевы в реализации. Однако при ближайшем рассмотрении трех перечисленных методов выяснится, что все они в реальных условиях горных выработок имеют весьма существенные методологические ограничения (очень высокую систематическую погрешность измерения массовой доли вещества).

Анализ применения *оптического метода* при разных концентрациях пылевых частиц показал, что при малой концентрации пылевых частиц на выходе оптического приемника будет сигнал, обратно пропорциональный количеству наблюдаемых частиц. Однако при большой концентрации, когда частицы перекрывают одна другую, и тем более при полном перекрытии оптического канала частицами результат измерений становится не адекватным реальной концентрации частиц (рис. 1). В настоящее время разработаны оптические приборы косвенного измерения концентрации пыли ИКВЧ-В3 массой 3,5 кг, ИКВЧ (П) массой 5 кг, ИКВЧ (с) массой более 11 кг, ОМПН-10.0 массой 12,5 кг в комплектации с осаждением пыли на фильтр, ЛПИ-04 массой 10,4 кг (*Измеритель концентрации взвешенных частиц ИКВЧ-П. Руководство по эксплуатации ИБЯЛ.416143.001 РЭ. Смоленское ФГУП «Аналитприбор»*). Также разработаны стационарные измерители запыленности ИЗСТ-01 [7], которые имеют такие же недостатки, как и все устройства для измерения концентрации пыли при оптическом методе.

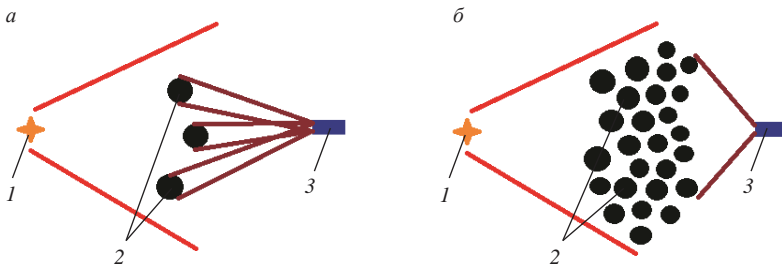


Рис. 1. Оптический метод при малой – а и большой концентрации пылевых частиц – б:

1 – источник излучения; 2 – пылевые частицы; 3 – приемник излучения

Депреометрический метод аналогично даст неприемлемую погрешность при неоднородном заполнении фильтра частицами. Так, если частицы будут располагаться одна на другой вследствие межмолекулярных взаимодействий или же накопленного электростатического заряда (что часто случается в реальных условиях), то сопротивление проходящему воздуху они дадут такое же, как одна частица. Образовавшийся на фильтре кластер из нескольких десятков частиц окажет сопротивление проходящему воздуху, пропорциональное не количеству (массе) частиц, а максимальному периметру кластера в сечении, перпендикулярном проходящему воздуху. Иными словами, по мере увеличения пылевого осадка падает расход воздуха, также растет сопротивление воздушному потоку, т. е. изменяются условия отбора пробы, что значительно искажает результаты замеров.

Электроиндукционный метод основан на периодической принудительной зарядке частиц пыли в поле коронного импульсного заряда и последующем измерении тока переноса заряженных частиц путем измерения наведенного или пере-

менного напряжения. Разработаны электроиндукционные приборы ИКП-5 с принудительной подзарядкой, питающиеся от сети переменного тока 220 В, ИКП-5 РМ (масса 2,4 кг) с питанием от аккумуляторной батареи и депреометрический прибор ПКА-01, измеряющий концентрацию пыли по перепаду давления на фильтре с пылевым осадком.

Таким образом, в реальных условиях горных выработок, когда при работе техники в забое концентрация пыли растет лавинообразно, косвенные методы измерения корректно работать не будут [8]. Разработки в области прямых методов измерений массы взвешенной пыли и пылевого осадка представляются наиболее актуальными.

К **прямым методам** относятся гравитационный и радиоизотопный. Первый основан на прямом взвешивании пылевого осадка [9, 10] или воздушного фильтра.

Для *гравитационного метода* характерно использование микровесов с тензометрическим мостом. При этом для снижения уровня низкочастотного шума (фликер-шума) используется высокочастотная модуляция (рис. 2). Использование таких схем позволяет строить микровесы с точностью измерения ± 1 мкг и получать гравитационные пылемеры повышенной точности.

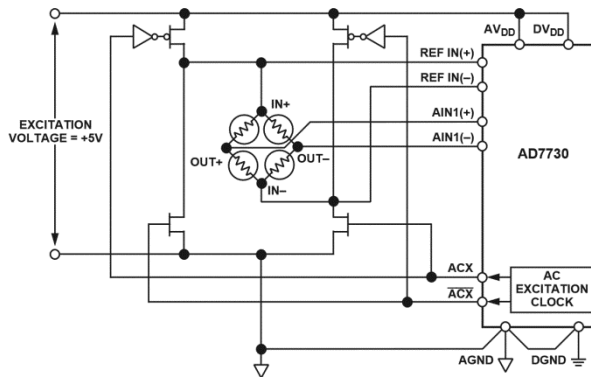


Рис. 2. Схема высокочастотного возбуждения тензометрического моста

Радиоизотопный метод основан на поглощении мягкого бета-излучения в пылевом осадке [11]. Схема радиоизотопного датчика приведена на рис. 3. Существует прямая зависимость интенсивности поглощения излучения от массы пылевого осадка:

$$J_x = J_0 e^{(-\mu x)},$$

где J_x – поток излучения на выходе из вещества, электронов/с; J_0 – входной поток излучения, электронов/с; μ – массовый коэффициент поглощения излучения в веществе, см²/г; $x\rho$ – массовая доля вещества, г/см². Таким образом, зная входной и выходной потоки излучения, а также массовый коэффициент поглощения и площадь окна замера, можно определить массу вещества в граммах.

Результаты анализа методов определения массы взвешенной пыли или пылевого осадка с методическими погрешностями измерения представлены в таблице.

Существующие радиоизотопные приборы пылевого контроля – это стационарный пылемер ДАСТ массой 11 кг, с диапазоном измерений 0,01–30,00 мг/м³ и питанием от сети переменного тока 220 В, и переносной пылемер ДАСТ-1 массой 8 кг, с диапазоном измерений 0,1–100 мг/м³. Данный прибор слишком тяжел и громоздок для повседневного использования, кроме того, для условий подземных горных работ обеспечение напряжения 220 В считается проблематичным.

В условиях подземных горных работ используется следующее низковольтное трехфазное напряжение: 127; 380; 660 и 1140 В. Для того чтобы запитать от сети радиоизотопный прибор пылевого контроля, необходимо создать электрическую машину специального исполнения (трансформатор) с выходным напряжением 220 В.

В области радиоизотопных измерений основную проблему представляет подсчет частиц мягкого бета-излучения. Учитывая тот факт, что бета-лучи легко поглощаются веществом, включая материалы окон фотоэлектронных умножителей, газоразрядных счетчиков и фотодиодов, задача точного счета частиц представляется непростой. Часто используются газоразрядные счетчики со слюдяным окном, например СИ-19БГ [12]. К недостаткам газоразрядных счетчиков прежде всего следует отнести необходимость питания их высоким напряжением (305–450 В) постоянного тока, что, в свою очередь, затрудняет изготовление приборов в исполнении *искробезопасная электрическая цепь*.

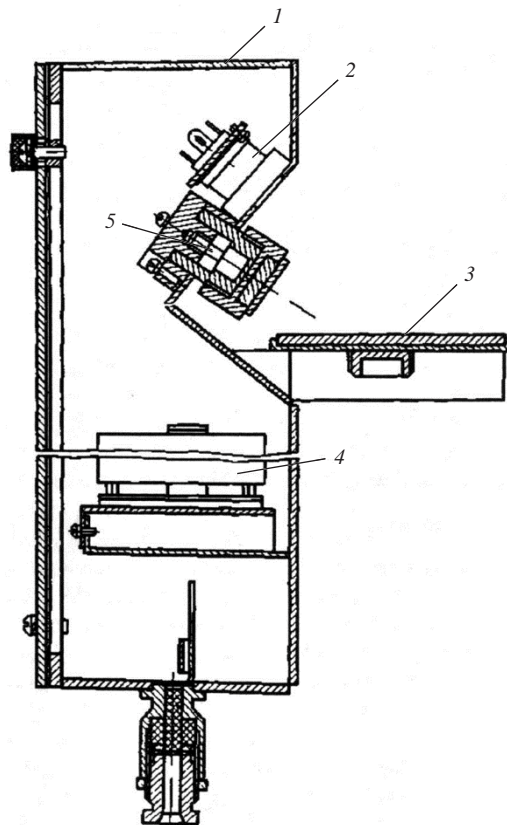


Рис. 3. Схема радионизотопного датчика интенсивности пылеотложения:

1 – корпус; 2 – детектор; 3 – пылесобирающая подложка; 4 – усилитель-формирователь и преобразователь сигнала; 5 – источник излучения

На практике следует считать перспективным применение фотоэлектрического счетчика бета-частиц, основанного на использовании фотодиода с открытым полупроводниковым окном для непосредственного взаимодействия *p-n*-перехода с бета-излучением. Попадающие на переход бета-частицы вызывают увеличение обратного фототока фотодиода, что и регистрируется микропроцессорной схемой. Схема усилителя-формирователя одного из каналов фотодиодного детектора представлена на рис. 4.

Ввиду малых габаритов схемы становится возможным создание многоканального измерителя, позволяющего существенно повысить точность измерений. Следует отметить, что задачи выделения счетных импульсов и помехоподавления зачастую решаются на уровне программы микроконтроллера, а не аппаратными средствами, для чего применяются высокопроизводительные микроконтроллеры с 32-битными ядрами, иногда с добавлением модуля цифровой обработки сигналов. Помимо прямой фильтрации получаемых данных, к которой относятся скользящее усреднение, цифровая КИХ (конечные импульсные характеристики)- и БИХ (бесконечные импульсные характеристики)-фильтрация, микроконтроллер выполняет целый ряд функций интерфейса человек-машина. Это ввод данных с клавиатуры, вывод данных на устройства индикации, включая дисплеи, отслеживание различных параметров, самодиагностика и т. д.

Методы определения запыленности рудничной атмосферы и взрывоопасного состояния горных выработок

Метод	Измеряемая характеристика при определении: запыленности атмосферы; пылевого осадка	Погрешность измерения концентрации пыли	Примечания
Оптический	Оптическая плотность среды	60 %	Зависимость от изменчивости дисперсного и вещественного состава пыли Зависимость от факторов, влияющих на прозрачность атмосферы Слабозапыленная атмосфера
	Оптическая плотность пылевого осадка		
Электроиндукционный	Заряд частиц	Более 30 %	Сильная зависимость от характеристик пыли
Депремометрический	Сопротивление пылевого осадка на фильтре воздушному потоку	30 %	Зависимость от изменчивости дисперсного и вещественного состава пыли Слабозапыленная атмосфера
Радиоизотопный	Поглощение пылевым осадком мягкого бета-излучения, пропорционального массе пылевых частиц	15 %	–
Гравитационный	Масса пылевого осадка на фильтре и объем прокаченного воздуха	25 %	–

Однако основным предназначением встроенного и системного программного обеспечения пылевого контроля является осуществление функций диагностики взрывоопасных состояний горных выработок. С этой целью программное обеспечение должно постоянно отслеживать состояние следующих параметров: Mt – масса пылевого осадка (пылевой взвеси), мкг, *критическое состояние* – превышение заданного адаптивного порога; E_c – текущая относительная погрешность счетчика импульсов, имп., *критическое состояние* – превышение заданного порога; E_w – ошибка работы (сбой) датчика, есть/нет, *критическое*

состояние – есть ошибка; N_p – количество посчитанных импульсов за единицу времени, имп., критическое состояние – менее заданного порога; D_m – динамика накопления пылевого осадка, мкг/час, *критическое состояние* – превышение заданного порога.

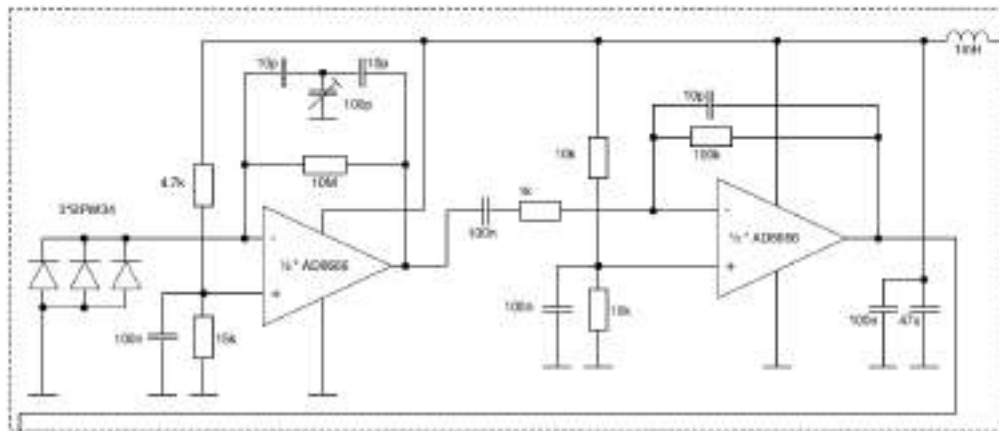


Рис. 4. Схема усилителя-формирователя одного из каналов фотодиодного детектора

Следовательно, оптимальным для контроля пыли и взрывобезопасного состояния горных выработок следует считать использование радиоизотопного метода. При разработке пылемеров на базе радиоизотопного метода необходимо использовать фотоэлектрический счетчик бета-частиц, основанный на применении фотодиода с открытым полупроводниковым окном.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федунец Н. И., Кубрин С. С. Основные направления развития новых информационных технологий на угольных шахтах // ГИАБ. Информатизация и управление. 2008. Отд. вып. 10. С. 21–29.
2. Федунец Н. И., Кубрин С. С. Развитие информационных технологий на горнодобывающих предприятиях // Горный журнал. 2009. № 1. С. 83–85.
3. Mokhloss I., Khadem V. S. Dust monitoring systems. ICSNC 2011: The Sixth Int. Conf. on Systems and Networks Communications. IARIA. 2011. P. 68–71.
4. Vaibhav Pandit, Rane U. A. Coal mine monitoring using ARM7 and ZigBee // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2013. Vol. 3. Issue 5. P. 352–359.
5. Ge Bin Li Huizong. The research on ZigBee – based mine safety monitoring system // Electric Information and Control Engineering; Int. Conf. Wuhan, China. 2001. P. 324–330.
6. Кудряшов В. В., Иванов Е. С., Соловьева Е. А. Разработка aspirатора нового поколения для отбора проб пыли при гигиеническом и технологическом контроле запыленности воздуха // Безопасность труда в промышленности. 2014. № 9. С. 77–80.
7. Попов М. С., Ворошилов Я. С., Трубицына Д. А., Самсонов Р. С. Результаты промышленной эксплуатации измерителя запыленности стационарного ИЗСТ-01 // ГИАБ. 2009. Т. 13. № 12. С. 238–241.
8. Carminati M., Sampietro M., Carminati G. Analysis of instrumentation performance for distributed real-time air quality monitoring // Environmental Energy and Structural Monitoring Systems (EESMS): 2011 IEEE Workshop. Milano, 2011. P. 1–6.
9. Qi Qing-jie, Zhao Xiao-liang, Song Bai-chao. Pre-evaluation method of coal mine safety based on continental distance model with varying weight: The 6th Int. Conf. on Mining Science & Technology Procedia Earth and Planetary Sciences 1. 2009. P. 180–185.
10. Кубрин С. С., Подчуфаров И. Е. Мониторинг индивидуальной пылевой нагрузки горнорабочих угольной шахты // ГИАБ. Информатизация и управление-2. 2008. Отд. вып. 11. С. 152–157.
11. Akihisa Kaihara Makoto, Namai Hiroshi, Arima Hitoshi Kuwabara. High-performance dust-radiation monitoring system by simultaneous discrimination of alpha and beta rays // Hitachi Review. 2000. Vol. 49. No. 2. P. 71–75.
12. Фетисов Г. В. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ. М.: Физико-математическая литература. 2007. 627 с.

HARDWARE ANALYSIS OF COAL MINES DUST CONTROL

Kubrin S. S., Reshetniak S. N., Ivanov E. S., Degterev V. V. – Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of RAS (IPKON PAN), Moscow, the Russian Federation. E-mail: s_kubrin@mail.ru

Control over the state of the dust environment in the mine workings is currently an urgent task. In this publication the analysis of coal mine dust control hardware is fulfilled. Currently, there are several ways to determine the mass of the dust sediment in the conditions of mine workings, they are treated as indirect and direct methods. The study made it possible to classify methods of measuring the mass of dust sediment by the criterion of measurement error. It should be noted that the accuracy of indirect methods of measuring the mass of the dust sediment is large enough and can reach 60% in some cases, so the most promising are the methods of direct measurement. These methods include gravity and radioisotope. The publication discusses the said methods in detail; schematics for the possibility of constructing modern devices of dust control are introduced.

Key words: dust sediments control; dust mass density measurement; gravitational measurement method; radioisotope measurement method; software; hardware; wireless data transmission; ZigBee technologies.

REFERENCES

1. Fedunets N. I., Kubrin S. S. [Main IT trends in coal mines]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal). Informatizatsiia i upravlenie – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). Informatization and Management*, 2008, special issue 10, pp. 21–29. (In Russ.)
2. Fedunets N. I., Kubrin S. S. [IT development at mining enterprises]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2009, no. 1, pp. 83–85. (In Russ.)
3. Mokhloss I., Khadem V. S. Dust monitoring systems. ICSNC 2011: The Sixth Int. Conf. on Systems and Networks Communications. IARIA, 2011, pp. 68–71.
4. Vaibhav Pandit, Rane U. A. Coal mine monitoring using ARM7 and ZigBee. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2013, vol. 3, issue 5, pp. 352–359.
5. Ge Bin Li Huizong. The research on ZigBee – based mine safety monitoring system. Int. Conf. on Electric Information and Control Engineering. Wuhan, China. 2001, pp. 324–330.
6. Kudriashov V. V., Ivanov E. S., Solov'eva E. A. [The development of an aspirator of a new generation to make samples of dust under hygienic and technological control over the air dust content]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti – Industrial Workplace Safety*, 2014, no. 9, pp. 77–80. (In Russ.)
7. Popov M. S., Voroshilov Ia. S., Trubitsyna D. A., Samsonov R. S. [The results of industrial exploitation of stationary dust content measuring device IZST-01]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2009, vol. 13, no. 12, pp. 238–241. (In Russ.)
8. Carminati M., Sampietro M., Carminati G. Analysis of instrumentation performance for distributed real-time air quality monitoring. 2011 IEEE Workshop on Environmental Energy and Structural Monitoring Systems. Milano, 2011, pp. 1–6.
9. Qi Qing-jie, Zhao Xiao-liang, Song Bai-chao. Pre-evaluation method of coal mine safety based on continental distance model with varying weight. The 6th Int. Conf. on Mining Science & Technology Procedia Earth and Planetary Science 1. 2009, pp. 180–185.
10. Kubrin S. S., Podchufarov I. E. [Monitoring of individual dust load of miners in a coal mine]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal). Informatizatsiia i upravlenie-2 – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). Informatization and Management-2*, 2008, special issue 11, pp. 152–157. (In Russ.)
11. Akihisa Kaihara Makoto, Namai Hiroshi, Arima Hitoshi Kuwabara. High-performance dust-radiation monitoring system by simultaneous discrimination of alpha and beta rays. *Hitachi Review*, 2000, vol. 49, no. 2, pp. 71–75.
12. Fetisov G. V. *Sinkhrotronnoe izluchenie. Metody issledovaniia struktury veshchestv* [Synchrotron radiation. The methods of investigating the structure of matters]. Moscow, Fiziko-matematicheskaiia literatura Publ. 2007. 627 p.

ФРАКТАЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ФОРМЫ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК

ЛАТЫШЕВ О. Г., ПРИЩЕПА Д. В.

При проходке горных выработок с помощью буровзрывных работ (БВР) большое значение имеет качество оконтуривания, т. е. получение сечения, максимально приближенного к проектному контуру выработки. Количественной мерой степени изломанности линии контура выработки служит ее фрактальная размерность. В частности, она определяет величину периметра сечения выработки в проходке. В связи с этим для количественной оценки отклонений этого контура от проектного предлагается критерий качества контурного взрывания в виде фрактального коэффициента формы выработки. Он представляет собой отношение площади сечения конформного отображения выработки к его периметру: при постоянстве площади сечения выработки чем хуже качество оконтуривания, т. е. чем больше величина периметра, тем меньше фрактальный коэффициент формы. Наличие неровностей поверхности выработки приводит к увеличению концентрации напряжений на ее контуре. Следовательно, фрактальный коэффициент формы может служить оценкой коэффициента концентрации напряжений. Для изучения данного вопроса проведены измерения сечений 32 выработок Североуральских бокситовых рудников. Корреляционный анализ результатов показал надежную взаимосвязь фрактального коэффициента формы выработок с коэффициентом концентрации напряжений на ее контуре. Полученные результаты позволяют оценивать качество буровзрывных работ и устойчивость горных пород в выработке.

Ключевые слова: горные выработки; качество буровзрывных работ; фрактальный коэффициент формы выработки; коэффициент концентрации напряжений.

Основным способом проходки горных выработок в скальных породах являются буровзрывные работы (БВР). Качество БВР определяется соответствием контура выработки в проходке ее проектному сечению. Используемые в настоящее время способы оценки такого соответствия (коэффициент излишка сечения, суммарное отклонение, дисперсия и пр.) не отражают главной характеристики контурного взрывания – степени неровности полученного в результате БВР контура выработки. Именно эта характеристика во многом определяет условия устойчивости и эксплуатации выработки.

В петрографических исследованиях широко используется коэффициент формы минеральных зерен (circularity): $k_s = 4\pi S/P^2$, где S – площадь сечения частицы; P – ее периметр. Авторами предлагается использовать данный показатель для количественной оценки степени неровностей контура выработки. Параметр S следует принимать как площадь конформного отображения выработки, т. е. такою же ее сечения, при котором сумма отклонений реального контура от проектного

Латышев Олег Георгиевич – доктор технических наук, профессор кафедры шахтного строительства. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: shs.dep@ursmu.ru

Прищепа Дмитрий Вячеславович – аспирант кафедры шахтного строительства. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: dimaprishepa@gmail.com

как в большую, так и в меньшую сторону будет нулевой. Тогда, с учетом равной вероятности отклонения реального сечения выработок от ее конформного отображения, площадь S остается неизменной, а периметр будет тем больше, чем выше степень неровностей контура. Поэтому задачей исследований является разработка процедуры определения периметра выработки в проходке.

Установлено [1], что природные поверхности горных пород, формирующие геометрию трещин, являются фрактальными объектами. Очевидно, к этому же классу относятся поверхности выработок, получаемые в результате буровзрывных работ. Для рассматриваемой задачи адекватной оценкой степени неровностей служит фрактальная размерность d_f линии контура горной выработки. Определение ее величины производилось на основе закона Ричардсона [2] по соответствующей компьютерной программе. Результаты измерений в двойных логарифмических координатах описывались уравнением:

$$\ln S(\delta) = H \ln \delta + C,$$

где $S(\delta)$ – среднее квадратическое отклонение координат контура выработки в проходке от его эквивалентного сечения с шагом δ при последовательном фиксированном увеличении величины δ ; H – показатель Гельдера; C – константа, не влияющая на величину фрактальной размерности. Фрактальная размерность определялась как $d_f = 2 - H$.

Периметр выработки в проходке определится уравнением:

$$P_f = P_0 (P_0 / \delta)^{d_f - 1},$$

где δ – принятая точность (шаг) измерения – определяется характером решаемой задачи, в данных условиях $\delta = 1/100 P_0$; P_0 – проектный периметр выработки как геометрически правильной фигуры.

Таким образом, в качестве меры неровностей контура выработки может быть принят фрактальный коэффициент формы:

$$k_f = \frac{4\pi S}{P_f^2}. \quad (1)$$

Из формулы (1) следует, что чем более изрезан контур выработки, тем больше ее периметр P_f и тем меньше фрактальный коэффициент формы. Следовательно, данный показатель может служить критерием качества контурного взрывания при проходке выработки буровзрывным способом. В свою очередь, степень изломанности (неровности) контура выработки в значительной степени определяет концентрацию напряжений на ее контуре.

Для количественной оценки неровностей контура выработки в шахтных условиях производят замеры полярных координат точек контура с фиксацией углов измерения θ . Затем полярные координаты переводят в прямоугольные (декартову систему). Для математического описания контура используют систему уравнений [3]:

$$\begin{cases} x = R(\cos \theta + C_1 \cos n\theta + C_2 \cos m\theta); \\ y = R(\sin \theta - C_1 \sin n\theta - C_2 \sin m\theta), \end{cases} \quad (2)$$

где R – масштабный параметр, определяющий размеры контура; θ – полярный угол; C_1, C_2, n, m – параметры, определяющие очертания и форму контура.

Для определения напряженно-деформированного состояния однородного изотропного массива в окрестности протяженных горизонтальных выработок используется метод Колосова–Мухелишвили, основанный на решении системы уравнений (2) в комплексном виде. С использованием упрощенного варианта данного метода в работе [4] получено приближенное уравнение распределения полных контурных напряжений σ_θ в зависимости от угла θ в виде:

$$\sigma_\theta = 2\gamma H [1 + 2nC_1 \cos((n+1)\theta)],$$

где $(n+1)$ – число технологических неровностей, имеющих амплитуду (отклонение от проектного контура) C_1 ; γ – объемный вес горных пород; H – глубина заложения выработки.

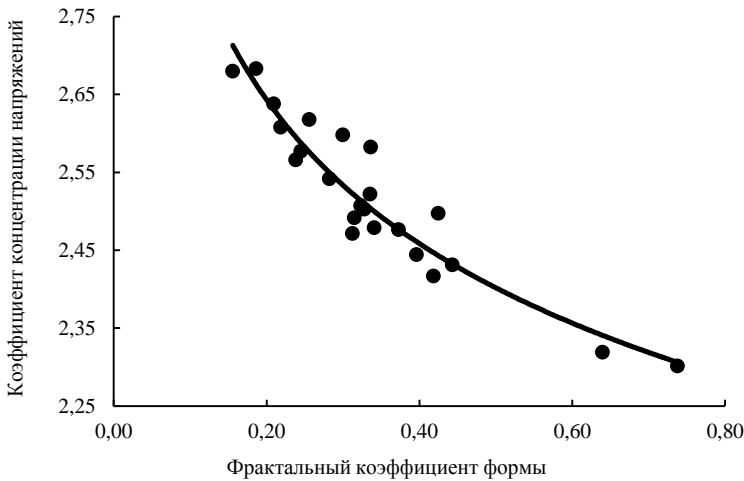


Рис. 1. Взаимосвязь коэффициента концентрации напряжений с фрактальным коэффициентом формы горной выработки

Таким образом, при измерении в конкретной выработке средней амплитуды C_1 из $(n+1)$ технологических неровностей одного порядка можно оценить действующие напряжения σ_θ и коэффициент их концентрации $K = \sigma_\theta/\gamma H$. При этом очевидно, что общее количество технологических неровностей будет определенным образом связано с числом оконтуривающих шпуров. В реальных условиях количество, взаимное расположение и амплитуда технологических неровностей будут иметь различные характеристики даже при одном и том же паспорте БВР. Поэтому оценивать их величину следует с вероятностных позиций.

В работе [4] установлено, что случайная функция отклонений точек контура C_θ от проектного сечения имеет нормальное распределение. Здесь под проектным контуром понимается его конформное отображение, для которого математическое ожидание отклонений равно нулю ($\Sigma C_\theta = 0$). В этом случае коэффициент концентрации напряжений рекомендуется определять по формуле:

$$K = \frac{\sigma_\theta}{\gamma H} = 2 \left[1 + q(P) 2\pi m \sqrt{D} \right], \quad (3)$$

где m – среднее число пересечений линии реального контура выработки с ее проектным профилем на участках r , равных по длине эквивалентному радиусу выработки R_B ; D – дисперсия величин отклонения контура выработки от проектного сечения C_θ , выраженная в долях R_B^2 .

Величина множителя $q(P)$ зависит от принимаемого уровня надежности расчетов P : при $P = 85\%$ – $q(0,85) = 1,44$; при $P = 95\%$ – $q(0,95) = 1,96$; при $P = 99\%$ – $q(0,99) = 2,66$.

Таким образом, в соответствии с формулой (3) величина коэффициента концентрации напряжений определяется двумя характеристиками – дисперсией отклонений D и общим числом пересечения профилем выработки ее проектного (конформного) контура $N = 2\pi t$. Однако если величина дисперсии является объективной оценкой степени изломанности линии контура выработки, то число

Характеристики выработок Североуральских бокситовых рудников

Номер сечения	Фрактальная размерность	Коэффициент концентрации напряжений	Площадь выработки, м ²	Реальный периметр выработки, м	Фрактальный коэффициент формы
1–1	1,343	2,583	8,535	17,861	0,336
1–2	1,390	2,618	9,472	21,561	0,256
1–3	1,363	2,598	8,900	19,314	0,300
1–4	1,309	2,479	10,737	19,889	0,341
1–5	1,470	2,680	11,465	30,410	0,156
2–1	1,385	2,566	10,994	24,079	0,238
2–2	1,408	2,608	10,653	24,750	0,218
2–3	1,325	2,492	10,942	20,896	0,315
2–4	1,422	2,638	10,341	24,916	0,209
2–5	1,163	2,319	12,020	15,366	0,639
3–1	1,257	2,431	10,288	17,078	0,443
3–2	1,449	2,683	10,266	26,332	0,186
3–3	1,355	2,542	10,413	21,533	0,282
3–4	1,277	2,445	10,684	18,409	0,396
3–5	1,260	2,417	11,205	18,345	0,418
4–1	1,319	2,472	11,596	21,597	0,312
4–2	1,322	2,503	10,368	19,933	0,328
4–3	1,326	2,507	10,343	20,046	0,323
5–1	1,134	2,302	11,734	14,134	0,738
5–2	1,325	2,522	9,748	19,112	0,335
5–3	1,296	2,477	10,180	18,526	0,373
5–4	1,384	2,577	10,557	23,280	0,245
5–5	1,284	2,497	8,836	16,165	0,425

пересечений t – величина достаточно случайная. Действительно, вполне представима ситуация, когда при значительной неровности контура выработки и, следовательно, большом коэффициенте концентрации напряжений число пересечений может быть единственным. И тогда формула (3) даст явно заниженный результат. В связи с этим указанная методика нуждается в совершенствовании. В частности, как показано ранее, надежной мерой изломанности контуры выработки является ее фрактальный коэффициент формы (1).

Для оценки взаимосвязи данной характеристики с коэффициентом концентрации напряжений произведены замеры сечений 23 вскрывающих выработок Североуральских бокситовых рудников (СУБР). Проходка выработок осуществлялась буровзрывным способом. По результатам замеров определены характеристики выработок (таблица).

Коэффициент концентрации напряжений рассчитывался классическим методом по формуле (3) и принятому в инженерной практике уровню надежности $P = 95\% - q(0,95)$, фрактальный коэффициент формы выработок – по формуле (1). Корреляционный анализ показал закономерное возрастание коэффициента концентрации напряжений на контуре выработок с уменьшением их фрактального коэффициента формы (рис. 1). Коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,96$ свидетельствует о статистической значимости взаимосвязи. Полученная зависимость описывается уравнением:

$$K = 1,1q(P)k_f^{-0,1}.$$

Здесь размеры обнажения в неявном виде учитываются фрактальным коэффициентом формы.

Таким образом, фрактальный коэффициент формы горных выработок надежно оценивает эффективность буровзрывных работ с точки зрения обеспечения «гладкого» контура. Кроме того, как мера неровностей (изломанности) контура, он позволяет оценивать коэффициент концентрации напряжений. Предложенный критерий выгодно отличается тем, что дает более объективную оценку геометрии контура выработки по сравнению с достаточно условным показателем числа пересечений m в формуле (3).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Латышев О. Г., Франц В. В., Прищепа Д. В. Исследование поверхности природных трещин как фрактального объекта // Изв. вузов. Горный журнал. 2016. № 3. С. 44–50.
2. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы: пер. с нем. М.: Изд-во ИКИ, 2002. 656 с.
3. Баклашов И. В., Руппенейт К. В. Прочность незакрепленных горных выработок. М.: Недра, 1965. 104 с.
4. Баклашов И. В., Картозия Б. А. Механика горных пород. М.: Недра, 1975. 271 с.

Поступила в редакцию 15 августа 2017 года

THE FRACTAL COEFFICIENT OF UNDERGROUND WORKINGS SHAPE

Latyshev O. G., Prishchepa D. V. – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation.
E-mail: shs.dep@ursmu.ru

In the process of tunneling the mine workings with the help of drilling and blasting operations, the quality of delineation possesses great significance, i.e. obtaining the section which is maximum designated to the designed outline of the working. The quantitative measure of the degree of the outline curvedness of the working is its fractal size. Particularly, it determines the size of the working section perimeter in mining. In this connection in order to quantitatively estimate the outline deviation from the designed one, the outline blasting quality criterion in the shape of the fractal coefficient of the working shape is suggested. It represents the relation of the working conform representation section area to its perimeter: under the constant working section area, the worth the quality of the delineation is, i.e. the bigger the perimeter is, the smaller the fractal coefficient of the shape is. The surface heterogeneity of the working leads to the increase in the concentration of stresses in its outline. Consequently, fractal coefficient of the shape can serve as the estimation of the coefficient of the stresses concentration. In order to study the given problem, the measurements of the sections of 32 workings in Severouralsk bauxite mines have been fulfilled. The correlation analysis of the results has shown the reliable relation of the fractal coefficient of the shape of workings with the coefficient of the stresses concentration in its outline. The results acquired make it possible to estimate the quality of drilling and blasting operations and the stability of rocks in the working.

Key words: mine workings; the quality of drilling and blasting operations; fractal coefficient of the shape of working; coefficient of the stresses concentration.

REFERENCES

1. Latyshev O. G., Frants V. V., Prishchepa D. V. [Examination of natural fissures surface as fractal object]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2016, no. 3, pp. 44–50. (In Russ.)
2. Mandel'brot B. *Fraktal'naiia geometriia prirody: per. s nem.* [Fractal geometry of nature. Transl. from German]. Moscow, IKI Publ., 2002. 656 p.
3. Baklashov I. V., Ruppeneit K. V. *Prochnost' nezakreplennykh gornykh vyrabotok* [The strength of unsupported mine workings]. Moscow, Nedra Publ., 1965. 104 p.
4. Baklashov I. V., Kartoziia B. A. *Mekhanika gornykh porod* [The mechanics of rocks]. Moscow, Nedra Publ., 1975. 271 p.

ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ОТКРЫТОГО УГОЛЬНОГО СКЛАДА ПО ДАННЫМ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

ТАЙЛАКОВ О. В., КОРОВИН Д. С.

Рассмотрено практическое использование подхода к повышению геометрической точности 3D-модели горной массы с применением распознанного на снимках карьерного транспорта при погрузочно-разгрузочных работах на открытом угольном складе. Представлены экспериментальные данные создания цифровой модели рельефа открытого угольного склада на основе данных аэрофотосъемки с помощью беспилотных летательных аппаратов Геоскан 101, ПТЕРО-E5 и GateWing X100. Описан процесс фотограмметрической обработки аэрофотоснимков в цифровой системе PhotoScan. Определены среднеквадратические ошибки на контрольных точках в плане и по высоте, найденные по разностям двойных измерений с использованием данных геодезического GPS/ГЛОНАСС-приемника, для трех моделей рельефа территории угольного склада до и после коррекции координатной сети. Установлено, что аэрофотосъемка с применением беспилотных летательных аппаратов позволяет оперативно регистрировать пространственно-временные характеристики открытого угольного склада с точностью в плане и по высоте, соответствующей планам масштаба 1 : 500.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат; аэрофотосъемка; цифровая фотограмметрия; цифровая модель рельефа; открытый угольный склад.

На территории Кузнецкого угольного бассейна действуют 36 угольных разрезов, 52 шахты (50 шахт применяют открытый способ хранения угля) и 25 обогатительных фабрик. Кроме того, доля тепло- и энергогенерирующих предприятий в России, использующих угольное топливо, достигает 30 %, большинство из них применяют для хранения угля открытые склады.

Погрузочно-разгрузочные работы при добыче и отгрузке угля требуют постоянного контроля и детализации при измерениях объемов угольных складов для проведения корпоративного аудита и контроля режимов функционирования горно-шахтного оборудования. Методы расчета остатков полезных ископаемых на складах основаны на обработке данных маркшейдерской съемки, выполняемой с помощью электронных тахеометров, наземных лазерных сканеров и геодезических GPS/ГЛОНАСС-приемников или аэрофотосъемки с использованием пилотируемой авиации, применение которых трудоемко, не оперативно и не рентабельно вблизи объектов и на территориях площадью 1–2 км².

Использование в хозяйственной деятельности предприятий беспилотных летательных аппаратов сокращает время получения цифровых трехмерных моделей территории и объектов до нескольких часов [1]. Поставлена задача оценки

Тайлаков Олег Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией ресурсов и технологий извлечения угольного метана. 650065, г. Кемерово, Ленинградский просп., 10, Институт угля ФИЦ УХХ СО РАН. E-mail: tailakov@uglemetan.ru

Коровин Денис Сергеевич – инженер лаборатории ресурсов и технологий извлечения угольного метана. 650065, г. Кемерово, Ленинградский просп., 10, Институт угля ФИЦ УХХ СО РАН. E-mail: korovinds@gmail.com

Таблица 1

Технические характеристики съемочного оборудования и параметры полетного задания беспилотных летательных аппаратов для аэрофотосъемки

Характеристика	Геоскан 101	ПТЕРО-E5	GateWing X100
Взлетный вес, кг	2,9	20,0	2,2
Скорость полета, м/с	15	25	15
Модель цифровой фотокамеры	SONY NEX-5	Canon EOS 5D Mark II	Ricoh GR Digital IV
Размерность светочувствительной матрицы в пикселях, шт.	4912 × 3264	5616 × 3744	3648 × 2736
Линейный размер пикселя, мкм	5,1	6,4	2,0
Кроп-фактор светочувствительной матрицы	1,50	1,00	4,55
Фокусное расстояние объектива, мм	16	50	6
Высота полета, м	150	220	130
Линейный размер пикселя на местности, см	7,1	2,7	4,1
Количество аэрофотоснимков, шт.	72	115	110



Рис. 1. Отображение плотного облака связующих точек, контрольных и опорных пунктов на цифровой фотограмметрической станции PhotoScan

Таблица 2

Оценка погрешности построения цифровой модели поверхности, созданной на основе аэрофотосъемки с помощью БПЛА

Контрольная точка	Геодезический GPS/ГЛОНАСС-приемник			Цифровая модель рельефа			xy	z
	x, м	y, м	z, м	x, м	y, м	z, м	Δ , м	Δ , м
<i>Геоскан 101</i>								
1	59,14	256,78	226,81	59,02	256,95	227,34	0,21	0,53
2	189,42	244,21	223,52	189,15	244,40	223,06	0,33	0,46
3	225,99	198,50	224,89	226,08	198,28	225,04	0,24	0,15
4	161,42	184,21	226,15	161,51	184,52	226,70	0,32	0,55
5	45,99	135,64	235,44	46,03	135,86	234,91	0,22	0,53
6	67,71	49,93	234,72	67,64	49,85	235,16	0,11	0,44
7	148,85	95,07	237,21	148,62	94,79	237,42	0,36	0,21
Сумма Δ^2 , м ²							0,51	1,34
Средняя разность, м							0,26	0,41
Среднее квадратическое отклонение, м							0,19	0,31
Максимальная разность, м							0,36	0,55
<i>ПТЕРО-E5</i>								
1	59,14	256,78	226,81	59,03	256,78	227,40	0,11	0,59
2	189,42	244,21	223,52	189,52	244,39	222,97	0,21	0,55
3	225,99	198,50	224,89	225,81	198,51	225,28	0,18	0,39
4	161,42	184,21	226,15	161,24	184,40	226,72	0,26	0,57
5	45,99	135,64	235,44	45,91	135,52	234,83	0,14	0,61
6	67,71	49,93	234,72	67,58	49,86	234,44	0,15	0,28
7	148,85	95,07	237,21	148,93	95,12	237,91	0,09	0,70
Сумма Δ^2 , м ²							0,21	2,07
Средняя разность, м							0,16	0,53
Среднее квадратическое отклонение, м							0,12	0,38
Максимальная разность, м							0,26	0,70
<i>GateWing X100</i>								
1	59,14	256,78	226,81	58,79	257,55	228,42	0,85	1,61
2	189,42	244,21	223,52	188,88	244,88	225,43	0,86	1,91
3	225,99	198,50	224,89	226,62	198,94	226,33	0,77	1,44
4	161,42	184,21	226,15	161,62	184,07	226,14	0,24	0,01
5	45,99	135,64	235,44	46,62	135,29	236,42	0,72	0,98
6	67,71	49,93	234,72	68,34	49,43	235,61	0,80	0,89
7	148,85	95,07	237,21	149,45	95,36	235,27	0,67	1,94
Сумма Δ^2 , м ²							3,72	13,83
Средняя разность, м							0,70	1,25
Среднее квадратическое отклонение, м							0,52	0,99
Максимальная разность, м							0,86	1,94

погрешности цифровой модели рельефа открытого угольного склада, созданной по результатам аэрофотосъемки с помощью беспилотных летательных комплексов. В исследуемой области территории угольного склада площадью 0,1 км² предварительно были расставлены 5 опорных и 7 контрольных точек и рассчитаны их геодезические координаты с помощью геодезического GPS/ГЛОНАСС-приемника Trimble R4 в статическом режиме с точностью измерения в плане $E_{xy} = 3,5$ мм и по высоте $E_z = 5$ мм [2].

Таблица 3

Расчет прямоугольных координат угловых точек кузова самосвалов на фрагменте цифровой модели, созданной с применением БПЛА Геоскан 101

Точка	Исходные координаты			Скорректированные координаты		
	x, м	y, м	z, м	x', м	y', м	z', м
<i>Самосвал P₁</i>						
P ₁₁ (x ₁ , y ₁)	84,59	81,71	229,98	84,59	81,71	230,17
P ₁₂ (x ₂ , y ₂)	86,91	81,86	229,90	86,89	81,86	229,95
P ₁₃ (x ₃ , y ₃)	85,17	75,95	230,08	85,00	75,32	230,17
P ₁₄ (x ₄ , y ₄)	87,54	76,32	229,90	87,30	75,47	229,96
<i>Самосвал P₂</i>						
P ₂₁ (x ₁ , y ₁)	110,02	63,34	230,56	110,02	63,34	230,84
P ₂₂ (x ₂ , y ₂)	112,12	64,55	230,49	112,01	64,49	230,52
P ₂₃ (x ₃ , y ₃)	112,97	58,41	230,52	113,22	57,79	230,54
P ₂₄ (x ₄ , y ₄)	115,01	59,43	230,38	115,21	58,94	230,41
<i>Самосвал P₃</i>						
P ₃₁ (x ₁ , y ₁)	114,56	66,45	230,43	114,56	66,45	230,71
P ₃₂ (x ₂ , y ₂)	116,73	67,36	230,54	116,68	67,34	230,65
P ₃₃ (x ₃ , y ₃)	116,58	61,30	230,53	117,04	60,55	230,63
P ₃₄ (x ₄ , y ₄)	118,79	62,07	230,44	119,16	61,44	230,58
<i>Самосвал P₄</i>						
P ₄₁ (x ₁ , y ₁)	124,46	64,30	230,47	124,46	64,3	230,70
P ₄₂ (x ₂ , y ₂)	124,64	66,55	230,40	124,64	66,55	230,57
P ₄₃ (x ₃ , y ₃)	129,98	63,68	230,40	130,84	63,79	230,63
P ₄₄ (x ₄ , y ₄)	130,08	65,97	230,58	131,02	66,08	230,58
<i>Самосвал P₅</i>						
P ₄₁ (x ₁ , y ₁)	124,39	59,36	230,48	124,39	59,36	230,73
P ₄₂ (x ₂ , y ₂)	125,56	57,51	230,52	125,62	57,42	230,59
P ₄₃ (x ₃ , y ₃)	119,81	56,93	230,44	118,98	55,94	230,72
P ₄₄ (x ₄ , y ₄)	120,83	54,95	230,47	120,21	54,00	230,55

Экспериментальная аэрофотосъемка проводилась беспилотными аэрофотосъемочными комплексами трех производителей: ООО «Геоскан» (Геоскан 101), ООО «АФМ Серверс» (ПТЕРО-E5), Trimble Navigation, Ltd. (GateWing X100) [3–5]. Высота съемки рассчитывалась с помощью оптимизационной модели [6] по известным техническим характеристикам летательных аппаратов и съемочного оборудования (табл. 1).

Фотограмметрическая обработка выполнялась в цифровой системе PhotoScan [7]. Выравнивание снимков проводилось с высокой точностью и преселекцией пар по геодезической привязке снимков к положению аппарата в момент фотографирования [8]. После построения разреженного облака связующих точек рассчитыва-

лось плотное облако точек с агрессивной фильтрацией карт глубины. Затем в проект добавлялись опорные и контрольные точки (рис. 1). Цифровая трехмерная модель строилась с произвольным типом поверхности, а текстура рассчитывалась с режимом параметризации «Адаптивный ортофото» и режимом смешивания «Мозаика» [9, 10].

Критерием точности построения модели являются среднеквадратические ошибки на контрольных точках в плане и по высоте, найденные по разностям двойных измерений [11]:

$$E_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta xy_i^2}{2n}}; \quad E_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta z_i^2}{2n}}, \quad (1)$$

где Δxy_i^2 – разность координат в плане, $\Delta xy_i^2 = (x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2$; Δz_i^2 – разность высотных отметок, $\Delta z_i^2 = (z_i - z'_i)^2$; n – количество контрольных точек.

Цифровые модели поверхности, построенные по результатам аэрофотосъемки с применением БПЛА Геоскан 101, ПТЕРО-E5 и GateWing X100, имеют погрешности на контрольных точках в плане 0,19; 0,12 и 0,31 м и по высоте – 0,31; 0,38 и 0,99 м соответственно (табл. 2).



Рис. 2. Фрагмент цифровой модели рельефа с отображением открытого угольного склада и наземного технологического транспорта:

$P_i (i = 1, \dots, 5)$ – неподвижные самосвалы

Для дальнейшей обработки полученных цифровых моделей был применен способ линейной коррекции координатной сети поверхности по известным линейным характеристикам наземных транспортно-технологических средств [12]. На рассматриваемом угледобывающем предприятии для перевозки угля применяются самосвалы Scania с кузовом шириной 2,3 м, длиной 6,4 м и высотой 3,64 м (рис. 2).

На цифровой модели с открытым угольным складом были выбраны прямоугольные координаты угловых точек кузовов пяти самосвалов, рассчитанных при построении модели (табл. 3).

После внесения дополнительных данных и пересчета координатных сетей цифровых моделей открытого угольного склада среднеквадратическая ошибка на контрольных точках уменьшилась до 0,05 м в плане и до 0,1 м по высоте (табл. 4).

Таблица 4

Оценка погрешности построения скорректированных цифровых моделей поверхности, созданных на основе аэрофотосъемки с помощью БПЛА

Контрольная точка	Цифровая модель рельефа					
	Геоскан 101		ПТЕРО-E5		GateWing X100	
	Δx	Δz	Δx	Δz	Δx	Δz
1	0,21	0,24	0,13	0,11	0,62	1,10
2	0,19	0,03	0,06	0,10	0,22	0,29
3	0,27	0,33	0,10	0,48	0,51	0,82
4	0,06	0,15	0,12	0,08	0,34	1,27
5	0,13	0,28	0,10	0,46	0,74	0,73
6	0,08	0,10	0,11	0,51	0,40	0,14
7	0,09	0,34	0,06	0,23	0,59	1,11
Сумма Δ^2	0,19	0,39	0,07	0,78	1,86	5,36
Средняя разность	0,15	0,21	0,10	0,28	0,49	0,78
Среднее квадратическое отклонение	0,12	0,17	0,07	0,24	0,36	0,62
Максимальная разность	0,27	0,34	0,13	0,51	0,74	1,27

Таким образом, представленные технологии фотограмметрической обработки аэрофотоснимков, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов, позволяют оперативно регистрировать пространственно-временные характеристики открытого угольного склада с точностью в плане и по высоте, соответствующей планам в масштабе до 1 : 500.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тайлаков О. В., Коровин Д. С., Макеев М. П., Соколов С. В. Алгоритмическое и программное обеспечение с применением беспилотных летательных аппаратов для оценки остатков угля на открытых складах // Уголь. 2015. № 2. С. 68–71.
2. GNSS Система Trimble R4 // Trimble Inc. URL: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-487617/022543-490F-RUS_TrimbleR4GNSS_DS_1014_LR.pdf (дата обращения: 18.07.2017).
3. БПЛА Геоскан 101 // Группа компаний Геоскан. URL: <https://www.geoscan.aero/ru/products/geoscan101> (дата обращения: 18.07.2017).
4. PTERO // ООО «ПТЕРО». URL: <http://ptero.ru/uasptero/uasptero.html> (дата обращения: 18.07.2017).
5. GateWing X100 UAS // Trimble Inc. URL: http://uas.trimble.com/sites/default/files/downloads/gw_x100_system_manual_v2.0.pdf (дата обращения: 18.07.2017).
6. Тайлаков О. В., Коровин Д. С., Ефимов В. И. Выбор рациональных параметров аэрофотосъемки поверхности угольных предприятий беспилотными летательными аппаратами // Изв. вузов. Горный журнал. 2016. № 1. С. 50–57.
7. Carrera-Hernández J. J., Levresse G., Lacan P., Aranda-Gómez J. J. A low cost technique for development of ultra-high resolution topography: application to a dry maar's bottom // Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 2016. No. 1(33). P. 122–133.
8. Goncalves M. C., Henriques R. UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2015. No. 1(104). P. 101–111.
9. Mancini F., Dubbini M., Gattelli M., Stecchi F., Fabbri S., Gabbianelli G. Using unmanned aerial vehicles (UAV) for high-resolution reconstruction of topography // The structure from motion approach on coastal environments: remote sensing. 2013. No. 5(12). P. 6880–6898.
10. Sona G., Pinto L., Pagliari D., Passoni D., Gini R. Experimental analysis of different software packages for orientation and digital surface modelling from UAV images // Earth Sci. Inform. 2014. No. 7(2). P. 97–107.

11. Маркшейдерские работы на карьерах и приисках / М. А. Перегудов и др. М.: Недра, 1980. 366 с.

12. Тайлаков О. В., Коровин Д. С. Особенности фотограмметрической обработки аэрофото- снимков открытого угольного склада при использовании беспилотных летательных аппаратов // Вестник КузГТУ. 2016. № 5. С. 3–7.

Поступила в редакцию 9 августа 2017 года

THE CREATION OF A DIGITAL TERRAIN MODEL OF AN OPEN COAL STORE BASED ON AERIAL PHOTOGRAPHY DATA

Tailakov O. V., Korovin D. S. – Coal Institute of FRC CCC, the Siberian Branch of RAS, Kemerovo, the Russian Federation. E-mail: tailakov@uglemetan.ru

The practical use of the approach to increasing the geometric accuracy of the 3D rock mass model with the use of the mining technological transport identified in the photographs during loading and unloading operations in an open coal store is considered. Experimental data are presented on the creation of a digital terrain model of an open coal deposit on the basis of aerial survey data using unmanned aerial vehicles Geoscan 101, PTERO-E5 and GateWing X100. The process of photogrammetry processing of aerial photographs in digital system PhotoScan is described. Mean square errors at the control points in plan and by height, found from the differences in double measurements using the GPS/GLONASS survey data of the receiver, for three models of the coal storage terrain before and after the coordinate network correction. It is established that aerial photography using unmanned aerial vehicles allows to quickly register the space-time characteristics of an open coal store with accuracy plan and by height corresponding to plans of scale 1 : 500.

Key words: unmanned air vehicle; aerial photography; digital photogrammetry; digital terrain model; open coal store.

REFERENCES

1. Tailakov O. V., Korovin D. S., Makeev M. P., Sokolov S. V. [Algorithmic support and hardware with the use of unmanned air vehicles to estimate the coal remainder at open coal stores]. *Ugol' – Coal*, 2015, no. 2, pp. 68–71. (In Russ.)
2. GNSS System Trimble R4. Trimble Inc. Available at: http://trl.trimble.com/docshare/dsweb/Get/Document-487617/022543-490F-RUS_TrimbleR4GNSS_DS_1014_LR.pdf (Access date June 18th, 2017).
3. Unmanned Air Vehicle Geoscan 101. Group of Companies “Geoscan”. Available at: <https://www.geoscan.aero/ru/products/geoscan101> (Access date: 18th June, 2017).
4. PTERO. Ptero LLC. Available at: <http://ptero.ru/uasptero/uasptero.html> (Access date: 18th June, 2017).
5. GateWing X100 UAS. Trimble Inc. Available at: http://uas.trimble.com/sites/default/files/downloads/gw_x100_system_manual_v2.0.pdf (Access date: 18th June, 2017).
6. Tailakov O. V., Korovin D. S., Efimov V. I. [The choice of rational parameters of aerial photography of the surface of coal enterprises with unmanned aerial vehicles]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2016, no. 1, pp. 50–57. (In Russ.)
7. Carrera-Hernández J. J., Levresse G., Lacan P., Aranda-Gómez J. J. A low cost technique for development of ultra-high resolution topography: application to a dry maar’s bottom. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 2016, no. 1(33), pp. 122–133.
8. Goncalves M. C., Henriques R. UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2015, no. 1(104), pp. 101–111.
9. Mancini F., Dubbini M., Gattelli M., Stecchi F., Fabbri S., Gabbianelli G. Using unmanned aerial vehicles (UAV) for High-resolution reconstruction of topography. *The Structure from Motion Approach on Coastal Environments: Remote Sensing*, 2013, no. 5(12), pp. 6880–6898.
10. Sona G., Pinto L., Pagliari D., Passoni D., Gini R. Experimental analysis of different software packages for orientation and digital surface modelling from UAV images. *Earth Sci. Inform.*, 2014, no. 7(2), pp. 97–107.
11. Peregudov M. A., and others. *Marksheiderskie raboty na kar'erakh i priiskakh* [Land survey operations at the open pits and placer mines]. Moscow, Nedra Publ., 1980. 366 p.
12. Tailakov O. V., Korovin D. S. [The peculiarities of photogrammetry processing of aerial photographs of an open coal store with the use of unmanned air vehicles]. *Vestnik KuzGTU – Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2016, no. 5, pp. 3–7. (In Russ.)

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЗАТОПЛЕНИЯ ТУРЬИНСКОГО МЕДНОГО РУДНИКА

ДАЛАТКАЗИН Т. Ш., ХАРИСОВ Т. Ф.

Консервация Турьинского медного рудника вызвала необходимость проведения прогнозных инженерно-геологических исследований последствий затопления рудника, территориально совпадающего с инфраструктурой г. Краснотурьинска. Рассмотрены факторы, определяющие параметры процесса затопления и его последствия. На основании результатов мониторинга изменения уровня воды в стволе шахты «Капитальная» при затоплении определена эмпирическая зависимость уровня подземных вод при восстановлении предельного уровня от времени. Разработана система дренажа при консервации рудника, позволяющая предотвратить подтопление селитебных территорий. Выполнены расчеты прогнозных границ зон ожидаемых опасных деформаций и границ выхода обрушений на поверхность, активизация которых происходит при повышении уровня подземных вод.

Ключевые слова: шахта; водоотлив; затопление; уровень подземных вод; подтопление; система дренажа; сдвижение горных пород; опасные деформации; провал.

Добыча руды на Турьинском медном руднике велась с конца XVIII в. Разрушение крепи вспомогательного ствола шахты им. С. М. Кирова и обрушение устья ствола в выработку в 2014 г. привело к повреждению коммуникаций, в том числе шахтного водоотлива, по которому велась откачка подземных вод. Исходя из экономической целесообразности было принято решение о консервации рудника [1, 2].

Опыт ликвидации и мокрой консервации шахт показывает, что процесс затопления имеет негативные гидрогеологические, инженерно-геологические и экологические последствия: излив шахтных вод на поверхность, подтопление земель, активизацию процесса сдвижения на подработанных участках, вымывание нетвердеющих закладочных материалов, снижение прочностных свойств горных пород вследствие увлажнения, набухание и морозное пучение глинистых грунтов и т. д. [3]. На селитебных территориях происходит затопление подвалов зданий и подземных коммуникаций [4]. Все это актуально для Турьинского медного рудника, расположенного на территории г. Краснотурьинска.

Турьинская группа скарновых меднорудных месторождений объединяет Фроловское, Николо-Подгорное, Ново-Фроловское, Никитинское, Ново-Никитинское, Вадимо-Александровское, Башмаковское, Богословское, Успенское, Москалевское месторождения. Фроловское, Николо-Подгорное и Вадимо-Александровское месторождения соединены горизонтальными подземными выработками – гиперпроводящими каналами, которые объединяют их в единое гидравлическое пространство.

Далатказин Тимур Шавкатович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории сдвижения горных пород. 620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58, Институт горного дела УрО РАН. E-mail: 9043846175@mail.ru

Харисов Тимур Фаритович – младший научный сотрудник лаборатории геомеханики подземных сооружений. 620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58, Институт горного дела УрО РАН. E-mail: timur-ne@mail.ru

Вмещающий массив в основании сложен туфогенными породами с небольшими прослоями известняков, а выше – известняками, перекрытыми туфогенными образованиями. Эта толща прорвана интрузиями диоритового состава и жильными образованиями. Известняки на контактах с интрузиями метаморфизованы. В восточной части месторождения известняки выходят на поверхность и сильно закарстованы. В пределах Турьинского медного рудника отмечаются тектонические нарушения субмеридионального и субширотного простирания. С поверхности вмещающий массив перекрыт глинами древней коры выветривания и четвертичными глинами общей мощностью 60–70 м.

Гидрогеологические условия месторождений простые благодаря мощной толще покровных глинистых отложений, водораздельному положению (расположены на водоразделе рек Турьи и Каквы) и слабой трещиноватости горных пород – коэффициент фильтрации палеозойских пород изменяется в пределах 0,006–0,028 м/сут. Повышенная водоносность палеозойских пород отмечается только в зонах тектонических нарушений.

В результате шахтного водоотлива сформировалась единая депрессионная воронка протяженностью 4 км в меридиональном направлении и шириной 1,7 км при глубине шахты «Капитальная» 310 м. Региональный модуль прогнозных эксплуатационных ресурсов подземного стока для этого района составляет 0,5–1,0 л/с на 1 км². По сложности при затоплении Турьинский рудник относится к простой группе [5].

Прогнозные исследования последствий затопления Турьинского медного рудника выполнялись с позиций синергетики – исследования имели междисциплинарный характер, а горный массив рассматривался как открытая самоорганизующаяся многофакторная система.

В условиях горноскладчатого Урала скорость восстановления уровня подземных вод при прекращении шахтного водоотлива, а также конфигурация и предельное положение восстановленного уровня вследствие нарушения сплошности массива горных пород и его фильтрационного сопротивления, а следовательно и его дренированности, прогнозируются гидродинамическими (численными) методами крайне приближенно.

Использование фактических данных по темпу восстановления уровня, зарегистрированных в реальных геотехногенных условиях, для гидродинамических прогнозов зарекомендовало себя как продуктивное [6, 7].

В связи с этим прогноз времени затопления рудника выполнялся на базе данных мониторинга уровня подземных вод в стволе шахты «Капитальная» после остановки водоотлива, теоретических основ, опыта прогнозирования при затоплении подземных рудников на Среднем Урале.

Анализ системы отработки рудника и результатов мониторинга подъема уровня воды в стволе шахты «Капитальная» после полной остановки водоотлива показал, что горные выработки действуют как саморегулирующийся геотехногенный дренажный узел (рис. 1).

Скорость и алгоритм затопления Турьинского рудника зависят от комплекса факторов.

1. Вмещающий массив характеризуется низкой водообильностью горных пород – среднемноголетнее значение водопитоков составляет 186 м³/ч, региональный модуль подземного стока составляет 0,5–1,0 л/с · км² [5].

2. Высокие значения градиента напора подземного потока определяются низкими фильтрационными характеристиками горного массива ($K_{\phi} = 0,006–0,028$ м/сут). По мере заполнения депрессионной воронки напорный градиент снижается.

3. Тектоническая структура горного массива рудного поля характеризуется преобладанием нарушений восточно-северо-восточного и широтного простирания.

ния, т. е. вкрест горизонтальных выработок, имеющих в основном субмеридиональную ориентировку. Горные выработки перехватывают поток подземных вод, мигрирующих по тектоническим нарушениям, что увеличивает темп затопления рудника.

4. Из опыта эксплуатационных работ следует, что повышенные трещиноватость и закарстованность пород отмечаются до глубины 200 м, поэтому темп затопления по достижении глубины 200 м в связи с расходом воды на заполнение приращенного объема трещин и карстовых пустот должен снижаться. Также на величину водопритоков влияет вертикальная зональность по степени трещиноватости. При отработке месторождения водопритоки возрастали до глубины 200 м, а при дальнейшем увеличении глубины горных работ стабилизировались. Следовательно, при затоплении по мере подъема уровня подземных вод (УПВ) выше глубины 200 м объемы водопритока должны уменьшаться.



Рис. 1. Провал Николо-Подгорного месторождения по состоянию на 24.05.2017 г. Глубина воды в провале около 3 м.

5. Процесс заполнения водой подземных выработок делится на два этапа, соответствующих в разрезе двум гидродинамическим зонам, граница между зонами определяется положением местной поверхности дренирования, которая для массива Турьинского рудника имеет абсолютную отметку +158 м. Выработки, расположенные ниже поверхности дренирования, заполняются водой пропорционально объему дренажного водоотлива. Здесь работают все источники формирования, которые были вовлечены в результате длительных дренажных мероприятий; градиенты напора, обеспечивающие движение подземных вод к горным выработкам, максимальные. Темп затопления определяется снижением градиентов напора.

В горных выработках, расположенных выше поверхности дренирования, темп подъема уровня воды при затоплении снижается, что определяется исключением инфильтрации речного транзитного стока (*Отчет о НИР «Комплексное освоение*

недр и подземного пространства Земли. Разработка новых методов освоения природных и техногенных месторождений. Развитие нефтегазоносного комплекса России» по теме 4: Разработка геоэкологических основ предотвращения и ликвидации техногенного воздействия на окружающую среду при освоении георесурсов (заключительный). Подтема 2 / М. М. Конорев, Л. С. Рыбникова. Екатеринбург, ИГД УрО РАН. 2010. 198 с.).

6. Рыхлые породы зоны аэрации на Северном Урале вступают в зиму увлажненными и при промерзании становятся водонепроницаемыми. Мерзлота сохраняется до середины июня, поэтому талые воды, казалось бы, не имеют особого значения в питании подземных вод. Однако наличие на поверхности участков с интенсивным развитием техногенной трещиноватости позволяет предполагать наличие паводковой составляющей в структуре водопритока при затоплении.

7. Прогнозируется снижение темпов затопления Турьинского медного рудника после начала истечения вод через борт провала Николо-Подгорного месторождения (рис. 1). Провал Николо-Подгорного месторождения имеет гидравлическую связь с выработками Фроловского и Вадимо-Александровского месторождения через кварцшлаг. Вода в провале появилась в конце марта 2017 г., ее уровень увеличивается синхронно с уровнем воды в стволе шахты «Капитальная». После начала разлива через борт провала скорость затопления рудника будет снижаться. Разведочная Фроловская штольня тупиковая, она не сбита с выработками рудника. Значительные объемы дренирования из штольни и его заметное влияние на скорость затопления Турьинского рудника маловероятны.

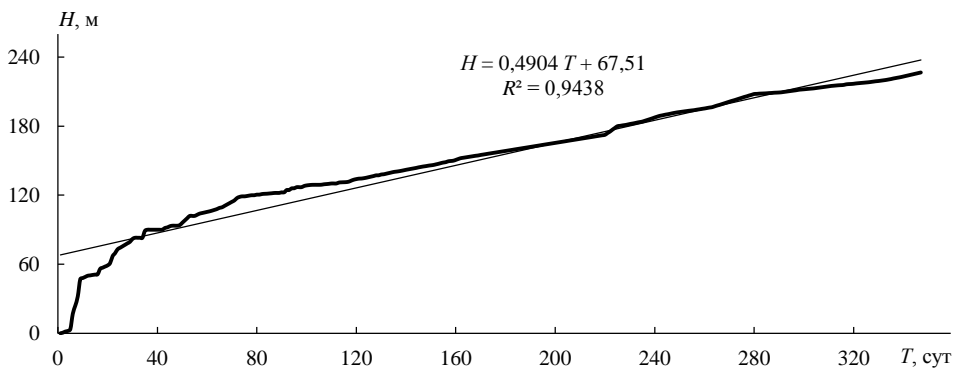


Рис. 2. Результаты мониторинга изменения уровня воды в стволе шахты «Капитальная» при затоплении в период с 07.04.2014 г. по 19.03.2015 г.

По результатам мониторинга в стволе шахты «Капитальная» при затоплении определена закономерность подъема УПВ во времени, м (рис. 2):

$$H = 0,4904T + 67,51,$$

где H — высота воды в стволе, м; T — время, сут; при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,9438$.

На территории влияния горных работ Турьинского медного рудника прогнозируется превышение предельного уровня подземных вод над его естественным положением. Оценочные аналитические расчеты для условий Урала показывают, что величина превышения составляет 1–5 м (Отчет о НИИР «Комплексное освоение недр...»).

Причины этого явления следующие.

1. Увеличение модуля подземного стока за счет интенсификации инфильтрации атмосферных осадков в трещиноватую водоносную зону вулканогенно-осадочных пород в пределах подработанной территории.

2. Наличие гиперводопроводящих зон. Соединенные между собой горизонтальные и вертикальные горные выработки Турьинского медного рудника при затоплении являются гиперводопроводящими каналами, создающими единое гидравлическое пространство с общей водной поверхностью (рис. 3). В данное пространство попадают отработанные Фроловское, Николо-Подгорное, Вадимо-Александровское месторождения. За счет градиента напора поверхность подземных вод в пределах исследуемого горного массива по окончании затопления рудника прогнозируется субгоризонтальной, с незначительным уклоном в сторону зоны истечения из провала Николо-Подгорного месторождения и главной естественной дрены территории – р. Турьи. В плане данная водная поверхность контролируется границами зоны сдвижения Турьинского медного рудника.

3. Увеличение площади водосбора. При разработке Турьинского рудника увеличение водопритоков происходило главным образом за счет площадного расширения горных работ. Прогнозируется влияние увеличения площади водосбора в сочетании с наличием гиперпроводящих зон на повышение фактического предельного положения УПВ после окончания заполнения депрессионной воронки Турьинского рудника по сравнению с его естественным положением.

4. Простирание тектонических нарушений в восточно-северо-восточном и широтном направлении и простирание горизонтальных выработок в основном в субмеридиональном направлении способствуют перехвату потоков подземных вод, что увеличивает вероятность превышения предельного положения УПВ после затопления рудника над естественным.

5. Подземные водонесущие коммуникации на территории Турьинского рудника и прилегающих к нему площадях имеют повышенные риски аварийности за счет процесса сдвижения, а утечки из них при порывах увеличивают вероятность подтопления.

В восточной части месторождения известняки выходят на поверхность. Почти по всей площади выхода известняки закарстованы с образованием двух крупных карстовых воронок размером 150 × 320 м, глубина развития карста до 110–120 м.

В пределах зоны влияния горных работ при затоплении рудника проявятся следующие факторы техногенеза, вызывающие активизацию карстопроявлений:

- активизация современной геодинамической активности тектонических нарушений, что вызовет повышение водопроницаемости и дезинтеграцию покровных отложений;

- изменение гидродинамических условий за счет восстановления предельного уровня подземных вод;

- утечки из городских коммуникаций и увеличение поверхностного стока за счет процесса сдвижения, что повысит агрессивность и интенсивность потока подземных вод [8];

- рост концентрации H^+ и снижение рН за счет растворения продуктов окисления сульфидов, длительное время находившихся в техногенной зоне аэрации, и гидролиза сульфатов в подземных водах, что повысит агрессивность подземных вод.

В результате затопления произойдет замачивание горных пород вмещающего массива, что приведет к активизации процесса сдвижения. Также в отработанных камерах будет происходить суффозия закладочного материала [9].

Прогнозная оценка влияния процессов сдвижения горных пород на окружающую промышленную и социальную инфраструктуру, а также на природные объекты осуществляется в пределах территории, которая может подвергнуться влия-

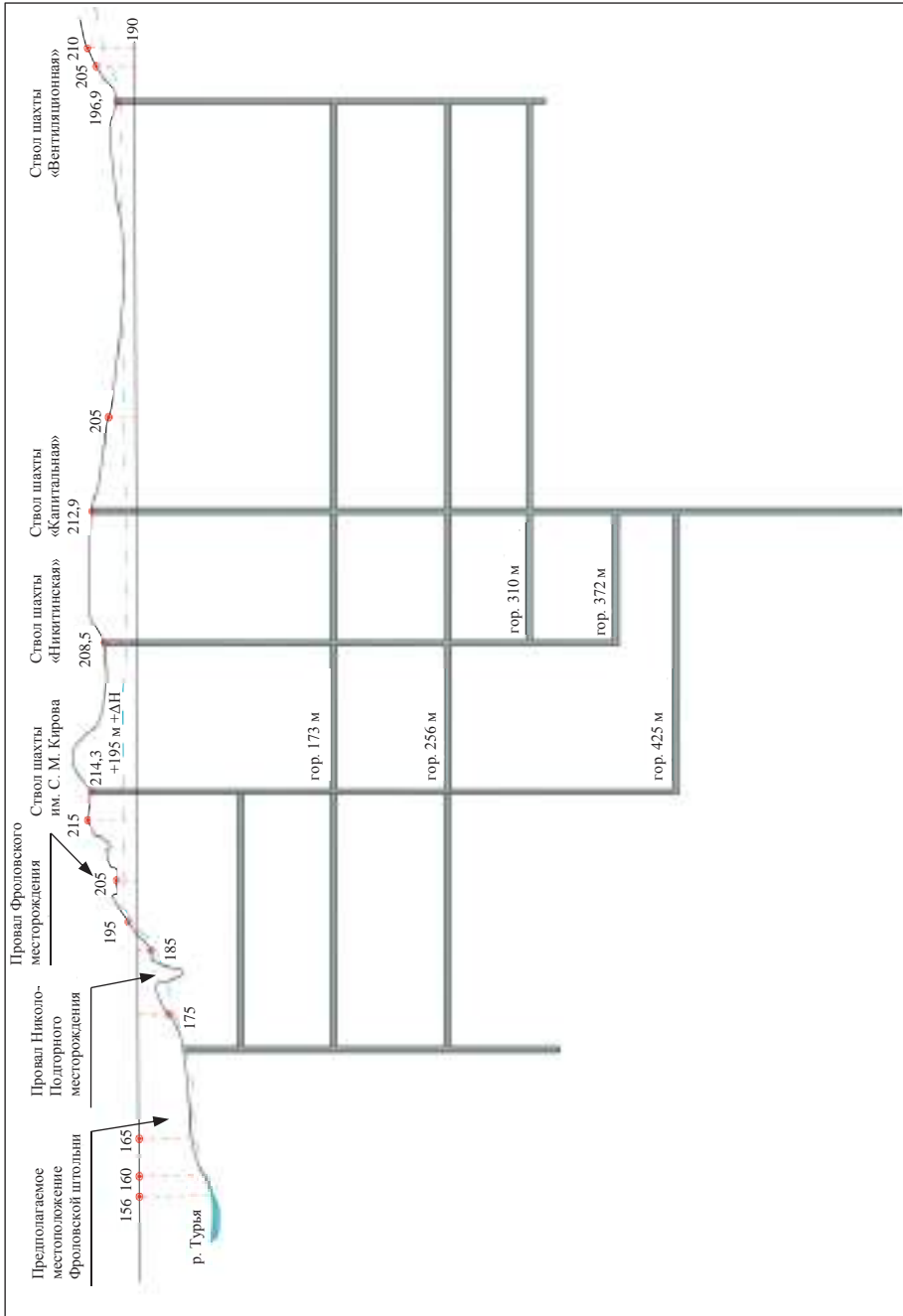


Рис. 3. Прогнозная гидродинамическая модель Турьинского медного рудника после затопления

нию опасных сдвижений и деформаций. В ходе исследований выполнены расчеты прогнозных границ зон ожидаемых опасных деформаций и границ выхода обрушений на поверхность.

Углы сдвижения для горного массива Турьинского рудника в коренных породах – 70° , в наносах – 45° [10–11].



Рис. 4. План поверхности Турьинского медного рудника и прилегающих территорий

Зона ожидаемых опасных деформаций на Вадимо-Александровском, Фроловском и Николо-Подгорном месторождениях отображена на плане поверхности, где также отмечены потенциально опасные зоны возможного выхода обрушения на земную поверхность в случае подъема уровня подземных вод. Она простирается в субширотном направлении от провала Аномалия № 1 до левого берега р. Турья, охватывая селитебные территории северной части пос. Медная шахта (рис. 4). В процессе затопления рудника особое внимание следует уделить потенциально опасным участкам вблизи провалов на Фроловском и Вадимо-Александровском месторождениях и участку вблизи ствола шахты «Капитальная».

Для обеспечения безопасной жизнедеятельности на территориях, попадающих в зоны деформационных процессов при ликвидации Турьинского медного рудника, необходимо создать систему контроля деформационного состояния массива горных пород с целью своевременного предупреждения о приближении критических состояний, а также получения пространственно-временных характеристик процесса деформирования [12–13].

Анализ формирования возможных негативных процессов при консервации Турьинского рудника показывает, что все они многофакторны, но связаны с гидрогеологическими особенностями горного массива – природными и техногенными. Многофакторность и ограниченность информации формируют высокую степень неопределенности прогнозов, что в условиях селитебной территории определяет обязательность мониторинга геологической среды. В настоящий момент система мониторинга опасных природных процессов на поверхности Турьинского медного рудника отсутствует.

Исследования выполнены в рамках Госзадания 007-01398-1700. Тема № 0405-2015-0012. Тема 3.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Харисов Т. Ф., Замятин А. Л., Ведерников А. С. Особенности ликвидации ствола шахты им. С. М. Кирова Турьинского медного рудника // Проблемы недропользования. 2015. № 2(5). С. 19–24.
2. Харисов Т. Ф., Замятин А. Л., Ведерников А. С. Инженерно-геофизические исследования при ликвидации ствола шахты им. С. М. Кирова Турьинского медного рудника // ГИАБ. 2016. № 3. С. 350–357.
3. Сашурин А. Д., Мельник В. В., Усанов С. В., Балец А. Е. Проблемы безопасности при ликвидации горнодобывающих предприятий // Проблемы недропользования. 2014. № 3. С. 60–65.
4. Елохина С. Н. Прогноз гидродинамических последствий затопления подземных горных выработок в условиях недостаточности гидрогеологической информации // Сергеевские чтения. Вып. 4. Материалы годичной сессии Науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М.: ГЕОС, 2002. С. 361–364.
5. Гидрогеология СССР. Т. XIV. Урал / под ред. В. Ф. Прейса. М.: Недра, 1972. 648 с.
6. Елохина С. Н., Футорянский Л. Д. К методике прогноза скорости затопления подземных горных выработок // Известия УГГГА. Геология и геофизика. 2002. Вып. 15. С. 227–231.
7. Елохина С. Н. Исследование геоэкологических последствий самозатопления шахтных полей // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2004. № 5. С. 405–414.
8. Мельник В. В. Обоснование геомеханических факторов для диагностики опасности карстопроявлений при недропользовании: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2010. 10 с.
9. Сашурин А. Д., Панжин А. А. Механизм формирования аварийных ситуаций различного масштаба вследствие современных геодинамических движений // Черная металлургия. 2017. № 1(1405). С. 21–25.
10. Надеин А. Г. Турьинский медный рудник: матер. науч.-практ. конф., посвященной 150-летию Е. С. Федорова. Красноуральск, 2004. С. 24–25.
11. Усанов С. В. Методика оценки безопасности застройки территорий над старыми горными выработками // ГИАБ. 2011. № S11. С. 260–266.
12. Усанов С. В., Коновалова Ю. П. Деформационные процессы при строительстве тоннелей метрополитена в Екатеринбурге // ГИАБ. 2013. № 6. С. 142–144.
13. Далатказин Т. Ш. Диагностика современной геодинамической активности горного массива при строительстве и эксплуатации ответственных объектов // ГИАБ. 2005. № 11. С. 120–123.

Поступила в редакцию 29 августа 2017 года

INVESTIGATIONS OF THE CONSEQUENCES OF TURYSKY COPPER MINE FLOODING

Dalatkazin T. Sh., Kharisov T. F. – Institute of Mining, the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, the Russian Federation.
E-mail: 9043846175@mail.ru

Preservation of the Turysky copper mine has caused the necessity in carrying out expected engineering-geological investigations of flooding consequences of the mine which is territorially coinciding with infrastructure of Krasnoturysky. The factors determining flooding process parameters and its consequence are considered. On the basis of water level change monitoring results in a shaft "Kapitalnaya" in time of flooding, the article defines the empirical dependence of underground waters at ultimate level restoration from time. The system of drainage at preservation of the mine, which makes it possible to prevent flooding of residential territories, is developed. Calculations are fulfilled for the expected hazardous deformations forecasted borders and borders of deformations outcrop; their activation happens at underground waters level increase.

Key words: mine; water drainage; flooding; underground waters level; underflooding; drainage system; rock displacement; hazardous deformations; hole.

REFERENCES

1. Kharisov T. F., Zamiatin A. L., Vedernikov A. S. [Features of the shaft elimination of the S. M. Kirov mine in Turyinsky copper mine]. *Problemy nedropol'zovaniia – The Problems of Subsoil Use*, 2015, no. 2(5), pp. 19–24. (In Russ.)
2. Kharisov T. F., Zamiatin A. L., Vedernikov A. S. [Engineering site investigations of the shaft elimination of the S. M. Kirov mine in Turyinsky copper mine]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2016, no. 3, pp. 350–357. (In Russ.)
3. Sashurin A. D., Mel'nik V. V., Usanov S. V., Balek A. E. [The problems of safety on mining plants liquidation]. *Problemy nedropol'zovaniia – The Problems of Subsoil Use*, 2014, no. 3, pp. 60–65. (In Russ.)
4. Elokhtina S. N. [The forecast of hydrodynamic consequences of underground workings flooding in conditions of poor hydrogeological information]. *Sergeevskie chteniia. Vyp. 4. Materialy godichnoi sessii Nauch. soveta RAN po problemam geoekologii, inzhenernoi geologii i gidrogeologii* [Sergeevsky Readings. Issue 4. Proc. of the annual session of RAS Academic board on the problems of geo-ecology, geological engineering, and hydrogeology]. Moscow, GEOS Publ., 2002, pp. 361–364. (In Russ.)
5. *Gidrogeologiya SSSR. T. XIV. Ural. Pod red. V. F. Preisa* [Hydrogeology of the USSR. Vol. 14. The Urals. Edited by V. F. Preis]. Moscow, Nedra Publ., 1972. 648 p.
6. Elokhtina S. N., Futurianskii L. D. [Regarding the methods of forecasting the velocity of flooding of underground mine workings]. *Izvestiya UGGA. Geologiya i geofizika – News of the Ural State Mining University. Geology and Geophysics*, 2002, issue 15, pp. 227–231. (In Russ.)
7. Elokhtina S. N. [The study of geo-ecological consequences of mine fields flooding]. *Geoekologiya. Inzhenernaia geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya – Geo-ecology. Geological Engineering. Hydrogeology. Geocryology*, 2004, no. 5, pp. 405–414. (In Russ.)
8. Mel'nik V. V. *Obosnovanie geomekhanicheskikh faktorov dlia diagnostiki opasnosti karstoproivlenii pri nedropol'zovanii: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [The substantiation of geomechanical factors for the diagnostics of the hazard of karst manifestations in subsoil use. Cand. eng. sci. abstract of diss.]. Ekaterinburg, 2010. 10 p.
9. Sashurin A. D., Panzhin A. A. [The mechanism of generating emergency situations of various scales as a result of modern geodynamic processes]. *Chernaya metallurgiya – Ferrous Metallurgy*, 2017, no. 1(1405), pp. 21–25. (In Russ.)
10. Nadein A. G. [Turyinsky copper mine]. *Mater. nauch.-prakt. konf., posviashchennoi 150-letiiu E. S. Fedorova* [Proc. of the Research-to-Pract. Conf. dedicated to E. S. Fedorov 150th Anniversary]. Krasnoturyinsk, 2004, pp. 24–25. (In Russ.)
11. Usanov S. V. [The methods of estimating the safety of building development of the territories over the old mine workings]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2011, no. S11, pp. 260–266. (In Russ.)
12. Usanov S. V., Konovalova Iu. P. [Deformation processes in the construction of subway tunnels in Ekaterinburg]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2013, no. 6, pp. 142–144. (In Russ.)
13. Dalatkazin T. Sh. [The diagnostics of modern geodynamic activity of rock massif in the construction and exploitation of crucial projects]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2005, no. 11, pp. 120–123. (In Russ.)

АППАРАТУРА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ШАХТНОГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

БАБОКИН Г. И., ШПРЕХЕР Д. М., КОЛЕСНИКОВ Е. Б.

Описана структура организации и построения аппаратуры для технического диагностирования сложных объектов на примере шахтного электромеханического комплекса, основу которого составляет очистной комбайн. Объектами контроля являются электромеханические системы (ЭМС), содержащие асинхронные двигатели разной мощности; гидравлические узлы; высоковольтную и низковольтную коммутирующую аппаратуру; электронные силовые преобразователи (частоты, напряжения, выпрямители); редукторы конвейера и комбайна; трансформаторы. Процесс диагностирования осуществляется с учетом факторов внешней среды. Функциональная схема диагностического комплекса включает в себя три уровня иерархии. Каждый уровень выступает как управляющий по отношению ко всем нижестоящим и как управляемый, подчиненный по отношению к вышестоящему. Нижний уровень содержит датчиково-преобразующую аппаратуру, измеряющую параметры ЭМС и факторы внешней среды, модули ввода-вывода и барьеры искрозащиты. Средний уровень – технические средства преобразования интерфейсов и последующего сбора, временной коммутации телеметрических сообщений. Верхний уровень – совокупность автоматизированных рабочих мест диспетчера, функционирующих под управлением специального программного обеспечения. В основе специального программного обеспечения для диагностирования технических состояний лежат нейросетевые алгоритмы, позволяющие решать задачи контроля и прогнозирования технических состояний ЭМС. Данные алгоритмы являются открытыми и настраиваемыми с возможностью дополнения новыми диагностическими признаками. Используемые в программе алгоритмы диагностирования основаны на результатах модельных и натурных исследований и являются объектно-ориентируемыми. Показано, что разработанная аппаратура позволяет оперативному персоналу в режиме реального времени контролировать техническое состояние систем любой сложности, включая электромеханическое оборудование для работы во взрывоопасных атмосферах.

Ключевые слова: шахтный электромеханический комплекс; диагностирование; прогнозирование; иерархичность; техническое состояние; нейронная сеть; программное обеспечение.

Концепция повышения эффективности производства реализуется в горнодобывающих отраслях промышленности за счет интенсификации горных работ на основе модернизации и применения новых энергонасыщенных горных машин, имеющих в своем составе сложные электромеханические системы (ЭМС), повышения надежности и безопасности их эксплуатации, совершенствования систем технического обслуживания и ремонта.

Бабочкин Геннадий Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры энергетики и энергоэффективности горной промышленности. 119991, г. Москва, Ленинский просп., 6, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». E-mail: babokinginov@yandex.ru

Шпрехер Дмитрий Маркович – доктор технических наук, доцент кафедры электротехники и электрооборудования. 300012, г. Тула, просп. Ленина, 92, Тульский государственный университет. E-mail: shpreher-d@yandex.ru

Колесников Евгений Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения. 301650, г. Новомосковск Тульской обл., ул. Дружбы, 8, Новомосковский институт (филиал) Российского химико-технологического университета. E-mail: kolesnikov55@mail.ru

Шахтный электромеханический комплекс (ЭМК) представляет собой сложную многосвязную систему, состоящую из большого числа ЭМС. Его можно считать большой системой – большой по числу связанных элементов, по числу различных типов элементов, по числу выполняемых ими функций, по числу входов и выходов информационных и энергетических потоков. Поэтому повышение надежности функционирования ЭМК в значительной степени определяется методами и средствами диагностирования: контроля и прогнозирования технических состояний (ТС) его основных узлов в процессе эксплуатации.

В настоящее время основными методами оценки ТС элементов ЭМС, например очистных комбайнов, являются контроль шума и вибрации, температуры нагрева и состава масла, температурный мониторинг подшипниковых узлов [1].

Основная идея вибрационных методов диагностирования состоит в устранении отказов путем применения методов распознавания технического состояния оборудования по совокупности его виброакустических характеристик с выявлением имеющихся или развивающихся дефектов. Однако имеющиеся недостатки: особые требования к способу крепления датчиков вибрации; зависимость параметров вибрации от большого количества факторов и сложность выделения вибрационного сигнала путем применения методов корреляционного и регрессионного анализа – делают этот метод трудоемким [2].

Исследовать тепловые процессы стало возможным с появлением тепловизионной диагностики. В настоящее время методы тепловизионной диагностики находят все большее распространение. Однако, несмотря на широкий спектр применения, этот вид диагностики не подходит для использования в шахтах, опасных по газу и пыли, так как портативные тепловизоры для данных условий не выпускаются, а профессиональные тепловизоры имеют высокую стоимость [2].

Способ определения технического состояния трансмиссии по наличию в масле механических примесей инерционен. Процесс износа элементов в зубчатых передачах редуктора различен по интенсивности. Скачкообразное изменение количества механических примесей в масле происходит при интенсивном усталостном выкрашивании или износе. В любом случае увеличение содержания железа в масле служит диагностическим признаком возможности отказа [3].

Усложнение современных технологий требует совершенствования систем диагностирования. Существенных сдвигов в формах и методах диагностирования можно достигнуть за счет применения интеллектуальных информационных технологий.

Предлагаемая аппаратура диагностирования технических параметров шахтных очистных комплексов представляет собой программно-аппаратный комплекс, который обеспечивает [4]:

- измерение текущих значений функциональных и сигнальных телеметрируемых параметров узлов ЭМК и вывод значений на видеотерминалы как автоматизированных рабочих мест (АРМ) диспетчеров, так и на терминал настроек системы сбора и передачи данных измерений в искроопасной зоне;

- контроль состояния и срабатывания высоковольтного и низковольтного коммутационного оборудования, устройств аналоговой защиты, устройств релейной защиты, контроль значений уставок релейной защиты; регистрацию и контроль аварийных токов, токов, напряжений, мощностей по предельно допустимым значениям;

- решение диагностических задач, включая предварительную и статистическую обработку диагностических данных, анализ технического состояния, прогнозирование значений вектора измеряемых параметров, представленных массивом отсчетов временных рядов данных;

– запись и накопление обработанной информации в сводных файлах формата Excel и XML, реализованных в базах данных (БД) на серверах телеметрируемой информации и резервного копирования;

– непрерывный сбор данных о контролируемых объектах, циклическую передачу телеметрических параметров в подсистему верхнего уровня для специализированной обработки на вычислительном комплексе;

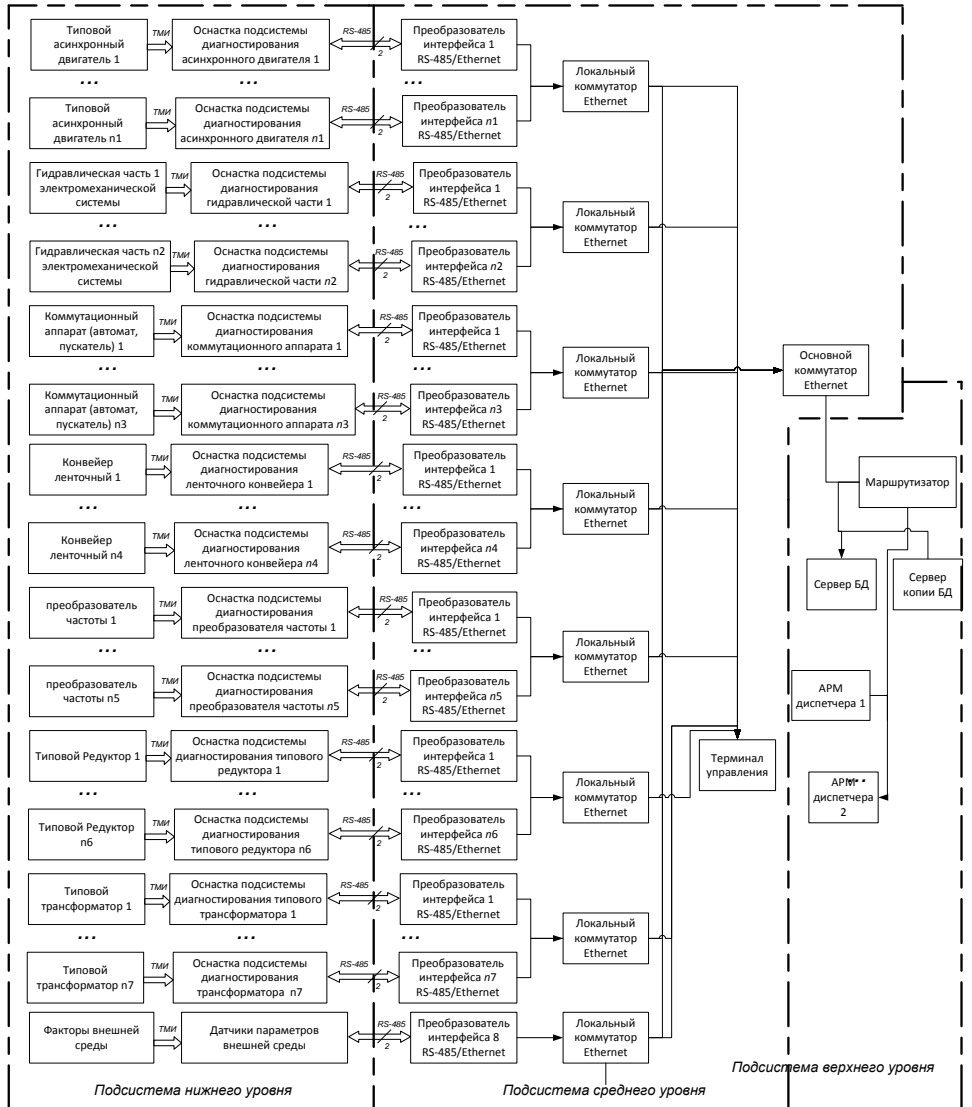


Рис. 1. Общая структурная схема программно-аппаратного комплекса диагностирования шахтного электромеханического комплекса:
ТМИ – телеметрическая информация

– дистанционное управление с АРМ диспетчера оборудованием подсистем нижнего и среднего уровня.

В состав программно-аппаратного комплекса (ПАК) входят три подсистемы: нижнего уровня, размещаемой в виде узлов непосредственно на оборудовании ЭМК; среднего уровня в виде терминала управления, располагаемой на вентиляционном штреке в аппаратуре управления комплексом; верхнего уровня, находящейся на поверхности (рис. 1).

Подсистема нижнего уровня включает датчиково-преобразующую аппаратуру (ДПА), измеряющую параметры ЭМС комбайна и факторы внешней среды; блоки питания к ДПА; модули сбора сигналов (модули ввода-вывода) и барьеры искрозащиты (рис. 1, барьеры искрозащиты не показаны). В качестве измеряемых для системы первого уровня используются параметры основных узлов ЭМС шахтного электромеханического комплекса: ток, напряжение, частота вращения, уровень шума (акустического давления), виброскорость, виброускорение, температура, давление, уровень и расход жидкости.

Для конвейера дополнительно контролируются скорость ленты, натяжение ленты, сход ленты, заштыбовка конвейера, продольный разрыв ленты. В качестве параметров внешней среды контролируются давление, температура, влажность, концентрация метана.

Для связи с устройствами системы среднего уровня приборы в составе ДПА на выходе подсистемы нижнего уровня используют двухпроводный интерфейс RS-485. Максимальная дальность размещения датчиков зависит от информативности измерений: при скорости 10 Мбит/с максимальная длина линии – 120 м, при скорости 100 кбит/с – 1200 м. Информационный обмен идет с использованием одного из совместимых протоколов, например Modbus RTU.

Подсистема среднего уровня предназначена для автоматического сбора информации в формате RS-485 и ее преобразования в формат Ethernet, позволяющий осуществлять компьютерную обработку данных телеизмерений для последующего диагностического анализа состояний ЭМС в составе ЭМК в подсистеме верхнего уровня.

Преобразователи интерфейса RS-485/Ethernet в виде конвертеров предназначены для обеспечения возможности передачи сигналов интерфейса RS-485 по локальной сети. Каждый конвертер имеет свой IP-адрес (устанавливаемый при настройке с терминала управления). Для работы с конвертером могут поставляться различные настроечные программы.

В состав подсистемы среднего уровня входят локальные и основной коммутаторы, предназначенные для соединения нескольких узлов компьютерной сети в пределах одного сегмента. Также сюда входит терминал управления настройками в виде персонального компьютера визуализации и контроля VISCOPEC, осуществляющий предварительный диагностический анализ на уровне подсистемы среднего уровня, а также настройку параметров процедур опроса ДПА, контроль информационного обмена, интерфейсных преобразований и т. д.

Целью *подсистемы верхнего уровня* является хранение собранных прецедентов эксплуатации ЭМС, а также их использование для диагностирования технических состояний ЭМС в программе «ЭМС-НС».

Подсистема верхнего уровня включает серверы (основной и резервный) для хранения базы данных, рабочие станции – автоматизированные рабочие места диспетчеров, функционирующие под управлением общего и специального программного обеспечения. Поскольку база данных ПАК представляет собой двухзвенную архитектуру *клиент–сервер*, то каждому диспетчеру могут быть назначены свои узлы ЭМС электромеханического комплекса для оценки их работоспособности или остаточного ресурса. Сюда же входит маршрутизатор (роутер), осуществляющий связь сегментов сети подсистемы среднего уровня и подсистемы верхнего уровня, так как коммутаторы (подсистемы среднего уровня) в общем случае могут только объединять узлы одной сети.

Алгоритм функционирования ПАК следующий. Измерение параметров ЭМС в составе ЭМК и факторов внешней среды (ФВС) есть программная операция снятия показаний с датчиков по таймеру, например раз в n секунд (для каждого

типа ЭМС может быть установлен свой интервал опроса) через любую из рабочих станций диспетчеров в подсистеме верхнего уровня по протоколу Ethernet и записи строкой массива измерений опрошенных параметров контролируемых узлов ЭМС электромеханического комплекса и ФВС в соответствующие поля таблиц БД. Каждое АРМ опрашивает свою область в табличном пространстве. При любом виде контроля (текущем или прогнозирующем) сначала осуществляются операции вычисления – распознавания вида ТС ЭМС (рис. 2).

Извлеченные данные сначала поступают на обработку в программу допускового контроля системы среднего уровня, где данная операция вычисления сводится к операции поэлементного сравнения с шаблоном, в том или ином виде характеризующем типовые ТС ЭМС, по методике, изложенной в [5].

В случае если из результата диагностирования следует, что ЭМС годна для дальнейшей эксплуатации, принимается решение об управлении элементами ПАК с целью проведения дальнейшего опроса датчиков.

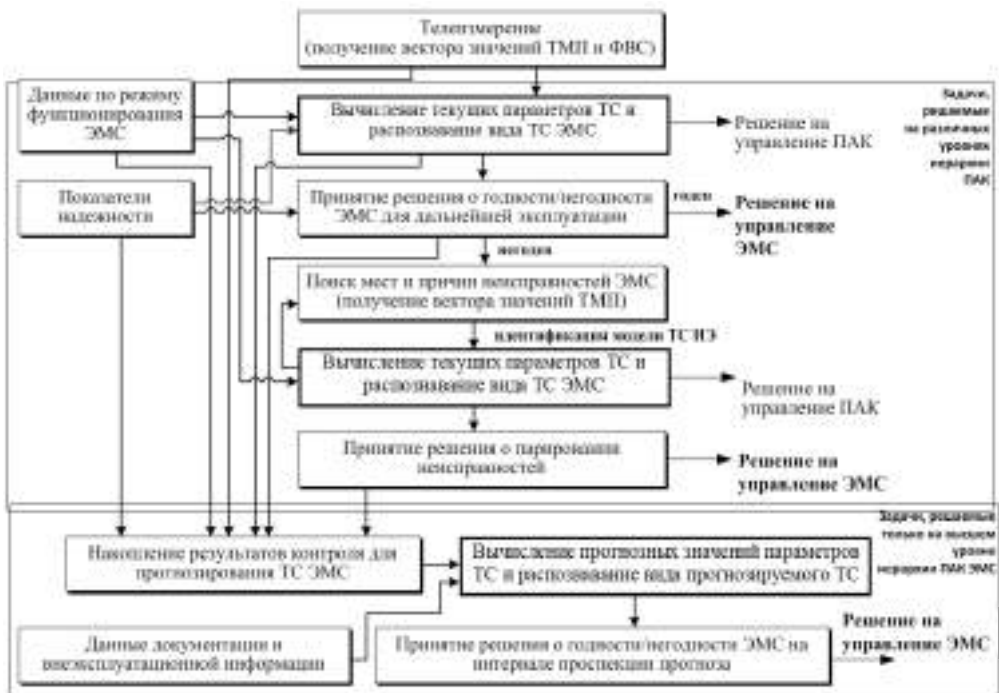


Рис. 2. Алгоритм функционирования программно-аппаратного комплекса

В случае если система допускового контроля не в состоянии оценить неисправность подсистем ЭМК, она реализует вызов подсистемы верхнего уровня, которая в свою очередь осуществляет задачу диагностирования (контроля и прогнозирования ТС) с учетом не только фактографической, но и внеэксплуатационной информации об ЭМС, используя программу «ЭМС-НС» [4]. Программа «ЭМС-НС» является окончательным звеном в функциональной схеме ПАК, устанавливается на каждый АРМ диспетчера. Она отвечает за визуализацию технических состояний ЭМС и собственно диагностический анализ. Созданное программное обеспечение аппаратуры диагностирования содержит программно-математические модули предварительной статистической обработки массивов измеряемых параметров ЭМС, нейросетевые модули синтеза моделей и модули использования синтезированных моделей, позволяющие решать

задачи контроля и прогнозирования ТС ЭМС. Данные модели являются открытыми и настраиваемыми с возможностью дополнения новыми диагностическими признаками. Используемые в программе нейросетевые модели диагностирования основаны на результатах модельных и натурных исследований и являются объектно-ориентированными.

Так в блоке «Поиск мест и причин неисправностей ЭМС» с использованием динамических нейронных сетей (НС) Хопфилда реализовано нейросетевое моделирование процесса развития отказа посредством решения задачи технического геноза. Процедура позволяет оперативно в масштабе реального времени выявлять в пространстве источник отказа технических состояний ЭМС.

Математическая основа использования динамических сетей Хопфилда заключается в следующем: алгоритм функционирования НС Хопфилда можно рассматривать как алгоритм оптимизации целевой функции в форме энергии сети. В рамках разработанного метода последовательность смены состояний можно интерпретировать как последовательность развития неисправности в пространстве ТС ЭМС. Для этого при запоминании необходимо отразить в статической структуре матрицы связей порядок следования входных образов – состояний ЭМС при развитии неисправности, а при воспроизведении обеспечить их восстановление в обратном порядке с целью определения исходной причины в техническом генозе ЭМС. Это достигается формированием матрицы связей, в которой наряду со стационарными состояниями (симметричные связи) запомнены переходы между ними (асимметричные связи от предшествующего образа к последующему).

Обозначим исходное состояние a^1 , тогда процесс смены состояния может быть описан выражением [4]:

$$a_i(n+1) = f \left[\sum_{j=1}^N \sum_{\mu=1}^q a_i^{\mu+1} a_j^{\mu} a_j^1(n) \right] = f \left[N a_i^2 + \sum_{\mu \neq 1} a_i^{\mu+1} \sum_{j=1}^N a_j^{\mu} a_j^1 \right],$$

где n – индекс смены технических состояний при развитии неисправности согласно функциональной схеме ЭМС, т. е. n отсчитывает число преобразований, выполненных над исходным образом ($n = 0, 1, 2, \dots$); N – число элементов функциональной схемы ЭМС; q – число образов в одной из цепочек смены технического состояния ЭМС; μ – идентификатор образа.

Многочисленная симуляция возможных отказов позволяет отранжировать по вероятности следствий источники неисправностей.

Вычисление текущих параметров ТС и распознавание вида ТС ЭМС осуществляется с помощью НС-классификатора, представляющего собой нейронную сеть прямого распространения, заранее обученную для конкретного узла ЭМК (электродвигатель, трансформатор, узел гидравлики и т. д.). ТС всех узлов диагностируются одновременно, с контролем состояния всей ЭМС, при этом используются принципы согласованности и системности и настраивается свой НС-классификатор. Каждый вид ТС ЭМС кодируется с помощью бинарного кода, состоящего из числа разрядов, соответствующих числу выявляемых ТС и, соответственно, числу нейронов в выходном слое НС.

Эффективность применения новых методов и средств диагностирования ТС ЭМС горных машин зависит от ряда взаимосвязанных показателей и параметров.

Повышение эксплуатационной надежности оборудования, сокращение количества отказов и времени простоя оборудования, повышение производительности труда, изменение численности персонала и расходов на заработную плату может быть достигнуто за счет применения новых методов и средств контроля и

прогнозирования ТС. В то же время приобретение средств контроля и прогнозирования требует капитальных затрат и дополнительных эксплуатационных расходов. Таким образом, конечный экономический эффект от внедрения методов и средств контроля и прогнозирования ТС ЭМС горных машин оценивается технико-экономическими показателями эффективности вложения инвестиций.

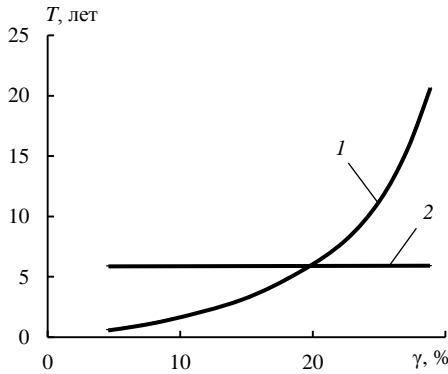


Рис. 3. Зависимость срока окупаемости от отношения затрат на внедрение программно-аппаратного комплекса к стоимости объекта контроля:

1 – расчетное значение; 2 – нормативное значение

Для примера расчета экономической эффективности были взяты данные по шахте «Хакасская» ООО «СУЭК-Хакасия», лава № 46 пласта Великан II, укомплектованной механизированным комплексом с очистным комбайном К-500 стоимостью 37 млн р. На рис. 3 приведена зависимость срока окупаемости T от соотношения затрат на внедрение предлагаемого программно-аппаратного комплекса к стоимости объекта контроля γ . Модернизация считается эффективной, если выполняется условие эффективности $T < T_n$, где T_n – нормативный коэффициент капитальных вложений, $T_n = 6,6$ года [6].

Из анализа рис. 3 следует, что экономический эффект достигается, если затраты на инновацию не превышают 20 % от стоимости объекта контроля, срок окупаемости при этом изменяется от 0,7 до 6 лет. Следовательно, применение предлагаемого ПАК для контроля и прогнозирования ТС ЭМС горных машин является эффективным и экономически целесообразным.

Итак, разработан программно-аппаратный комплекс, состоящий из трех уровней иерархии и специального программного обеспечения, реализующий интеллектуальные технологии для контроля и прогнозирования технических состояний ЭМК на основе нейронных сетей и позволяющий перейти к техническому обслуживанию по фактическому состоянию.

Программно-аппаратный комплекс позволяет диагностировать технические состояния существующих и перспективных сложных ЭМК, применяемых в технологиях подземной добычи угля и других полезных ископаемых, обеспечивая повышение коэффициента готовности за счет устранения отказа на этапе его развития и снижения времени поиска неисправности.

Установлено, что экономический эффект от внедрения предлагаемой аппаратуры достигается, если затраты на инновацию не превышают 20 % от стоимости объекта контроля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мухортиков С. Г. Разработка методики оценки фактического технического состояния проходческих комбайнов избирательного действия: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2014. 134 с.
2. Асонов С. А., Иванов С. Л., Шишляников Д. И. Способы диагностирования технического состояния и оценки остаточного ресурса электромеханической системы комбайнов Урал-20Р // Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. (10 февраля 2015 г.). Новосибирск: Инновационный центр развития образования и науки, 2015. С. 48–51.
3. Вахромеев О. Е., Каримов Р. Т., Надеев А. И. Современные методы диагностики электромеханических систем // Вестник АГТУ. 2006. № 2. С. 51–56.
4. Шпрехер Д. М. Диагностирование и управление электромеханических систем горных машин с использованием искусственных нейронных сетей: дис. ... д-ра техн. наук. Тамбов, 2016. 432 с.

5. Palyukh B. V., Shprekher D. M., Bogatkov V. N. Technique of classification of technical condition of electromechanical systems in multidimensional space of signs on the basis of a local metrics // *International Journal of Engineering Research*. 2015. Vol. 10. No. 24. P. 45724–45730.

6. Массе П. Критерии и методы оптимального определения капиталовложений: пер. с франц. М.: Статистика, 1971. 351 с.

Поступила в редакцию 31 марта 2017 года

EQUIPMENT OF DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF A MINE ELECTROMECHANICAL COMPLEX

Babokin G. I. – National Research Technological University “MISIS”, Moscow, the Russian Federation. E-mail: babokinginov@yandex.ru

Shprekher D. M. – Tula State University, Tula, the Russian Federation. E-mail: shpreher-d@yandex.ru

Kolesnikov E. B. – Novomoskovsk branch (institute) of D. Mendeleev University of Chemical Technology, Novomoskovsk, Tula region, the Russian Federation. E-mail: kolesnikov55@mail.ru

The structure is described of the organization and building of equipment for technical diagnostics of complex objects by the example of a mining electromechanical complex, which is based on a shearer-loader. Objects under control are the electromechanical systems (EMS) containing asynchronous engines of various power; hydraulic knots, the high-voltage and low-voltage switching equipment; electronic power converters (frequency, voltage, rectifiers); gearboxes of conveyor and mining shearer; transformers. Process of diagnosing is carried out taking into account factors of the external environment. The functional scheme of a diagnostic complex includes three levels of hierarchy. Each level of hierarchy acts as managing in relation to all subordinate and as operated, subordinated, in relation to the higher one. The lower level contains the sensors and transforming equipment measuring the parameters of EMS and factors of the external environment, modules of input-output and isolated barriers. The average level contains technical means of interfaces transformation and the subsequent collecting, temporary switching of telemetric messages. The top level includes set of the automated working places of a dispatcher, functioning under the control of special software. At the root of special software for the diagnosis of technical states are the neural network algorithms allowing to solve the problems of control and forecasting EMS technical states. These algorithms are opened and adjusted with a possibility of adding new diagnostic signs. The algorithms of diagnosing used in the program are based on the results of model and field observations and are object-oriented. It is shown that the developed equipment allows operating personnel to control technical condition of systems of any complexity on-line, including the electromechanical equipment for explosive atmospheres.

Key words: mine electromechanical complex; diagnostic; forecast; hierarchy; technical state; neural network; software.

REFERENCES

1. Mukhortikov S. G. *Razrabotka metodiki otsenki fakticheskogo tekhnicheskogo sostoiianiia prokhodcheskikh kombainov izbiratel'nogo deistviia: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [The development of the methods of estimating actual technical condition of tunneling machines of selective action. Cand. eng. sci. abstract of diss.]. Kemerovo, 2014. 134 p.
2. Asonov S. A., Ivanov S. L., Shishliannikov D. I. [Methods of diagnosing the technical state and the estimation of limited operation life of electromechanical system of combined machines Ural-20R]. *Aktual'nye problemy tekhnicheskikh nauk v Rossii i za rubezhom: sb. nauch. tr. po itogam mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (10 fevralia 2015 g.)* [Proc. of the Int. Research-to-Pract. Conf. “Actual problems of technical sciences in Russia and abroad” (10th February, 2015)]. Novosibirsk, Innovatsionnyi tsentr razvitiia obrazovaniia i nauki Publ., 2015, pp. 48–51. (In Russ.)
3. Vakhromeev O. E., Karimov R. T., Nadeev A. I. [Modern methods of diagnosing EMS]. *Vestnik AGTU – Vestnik of Astrakhan State Technical University*, 2006, no. 2, pp. 51–56. (In Russ.)
4. Shprekher D. M. *Diagnostirovanie i upravlenie electromekhanicheskikh sistem gornyykh mashin s ispolzovaniem iskusstvennykh neironnykh setei: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Diagnosing and control of EMS of mining machines with the use of artificial neural network. Dr. eng. sci. diss.]. Tambov, 2016. 432 p.
5. Palyukh B. V., Shprekher D. M., Bogatkov V. N. Technique of classification of technical condition of electromechanical systems in multidimensional space of signs on the basis of a local metrics. *International Journal of Engineering Research*, 2015, vol. 10, no. 24, pp. 45724–45730.
6. Masse P. *Kriterii i metody optimal'nogo opredeleniia kapitalovlozhenii: per. s frants.* [The criteria and methods of optimal investments determination. Transl. from French]. Moscow, Statistika Publ., 1971. 351 p.

РУДОПОДГОТОВКА И ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.732-047.58+621.926.22

DOI: 10.21440/0536-1028-2017-8-82-91

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ В ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКЕ

МАРАСАНОВ В. М., ДЫЛДИН Г. П.

В статье рассматривается новый подход при идентификации процесса дробления в щековой дробилке. Производительность дробилки соответствует ее пропускной способности и определяется высотой перемещения элементарного объема материала за один ход подвижной щеки. Величина элементарного объема определяется формой дробящего пространства, величиной хода подвижной щеки, углом наклона подвижной щеки, расстоянием между подвижной и неподвижной щекой, частотой качания подвижной щеки, крупностью дробимого материала и его физико-механическими свойствами. Существует сечение в дробящем пространстве по высоте, которое определяет производительность дробилки в зависимости от крупности дробимого материала. Максимальная производительность дробилки может быть достигнута при наибольшей скорости движения материала в данном сечении дробящего пространства. В процессе научных исследований определено влияние на производительность, потребляемую на дробление мощность и степень дробления основных изменяемых параметров, определяющих величину элементарного объема перемещаемого материала. Получено математическое описание процесса дробления в щековых дробилках. В результате экспериментальных исследований выявлено, что при дроблении материала в дробилке присутствуют элементы удара по кускам материала, действие которого возрастает с увеличением частоты качаний подвижного органа дробилки, и степень дробления повышается. Анализ существующих методов идентификации процесса дробления в щековых дробилках выявил недостаток в определении прочности дробимых материалов: учитывается временное сопротивление сжатию, но не учитывается ударное действие на дробимый материал.

Ключевые слова: дробление; производительность; свойства дробимого материала; частота качаний; удар.

Исследования, выполненные сотрудниками Свердловского горного института [1], Университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы [2] и института ВНИИстройдормаш [3] показали, что зависимость производительности и потребляемой на дробление мощности в щековых дробилках от параметров режима работы дробилки носит экстремальный характер. Производительность с увеличением частоты качаний подвижной щеки дробилки достигает максимума, а затем, при дальнейшем увеличении числа качаний, уменьшается (рис. 1). Скорость движения материала через дробилку, а следовательно и производительность дробилки, имеет экстремальный характер и должна быть описана нелинейной функцией. Максимальное значение производительности и потребляемая мощность, а также

Марасанов Виктор Михайлович – кандидат технических наук, доцент. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: v.marasanoff@yandex.ru

Дылдин Герман Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры горной механики. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: German.Dyldin@yandex.ru

наименьшая крупность продуктов дробления возникают при определенном сочетании величины хода, угла наклона, частоты качания подвижной щеки и размера разгрузочной щели дробилки. Производительность, мощность, потребляемая на дробление, крупность продуктов дробления определяются прочностью, структурой и гранулометрическим составом подвергающейся дроблению породы.

В результате экспериментальных исследований выявлено, что при дроблении материала в дробилке присутствуют элементы удара по кускам материала [1]. С увеличением частоты качаний подвижного органа дробилки действие удара на куски дробимой породы возрастает [2], повышается степень дробления, снижается энергоемкость дробления за счет разрушения кусков материала ударом с использованием силы инерции массы приводного механизма. Роль привода при этом сводится к восстановлению потерянной скорости приводного механизма.

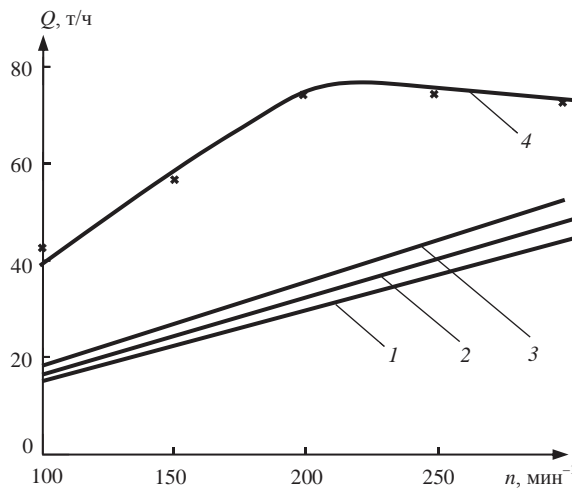


Рис. 1. Производительность щековой дробилки 300×600 : 1 — по формуле Клушанцева; 2 — по формуле Левенсона; 3 — по формуле Товстолужского; 4 — по формуле (1); * — получена экспериментально

Исследования, выполненные сотрудниками Свердловского горного института [4], показали, что разгрузка материала из щековой дробилки происходит и при ходе сжатия (рис. 2). Зависимость производительности дробилки от крупности исходного материала дробления (рис. 3) полностью опровергает возможность применения предлагаемого объема, равного призме выпадания, для расчета производительности дробилки [1].

В настоящее время наиболее распространено рассчитывать производительность дробилки по формулам, основанным на неподтвержденной гипотезе о существовании призмы выпадания [5], Левенсона [6] или ее модификациям — Андреев и др. [7, 8], Соболевский [9], Газалеева и др. [10]. При этом в формулах [5, 7, 9] не учитываются свойства дробимого материала. В формулах [8, 10] основные показатели режима работы дробилки заменены шириной приемного отверстия дробилки.

В работе [11] приведена теоретическая формула для расчета общей производительности дробилки, которая получена путем умножения основных показателей режима работы дробилки без учета влияния каждого на процесс дробления.

Неясно, отражают ли формулы Клюева [12], Михайлова [13], полученные на основе π -теоремы, и выбранные безразмерные комплексы физические законы

мерности процесса дробления, не обоснована и структура этих формул. В формулах [8, 10, 12, 13] очень много экспериментально определяемых коэффициентов, что делает модель неустойчивой и жестко привязанной к тому массиву экспериментальных данных, по которому эти коэффициенты определены. Даже незначительные изменения режима работы могут существенно изменить числовые значения коэффициентов. Формулы Олевского [14] недостаточно полно учитывают влияние конструктивных параметров дробилки, также не обоснованы значения коэффициентов k_p , k_w , $k_{кр}$, отображающих некоторые свойства дробимого материала.

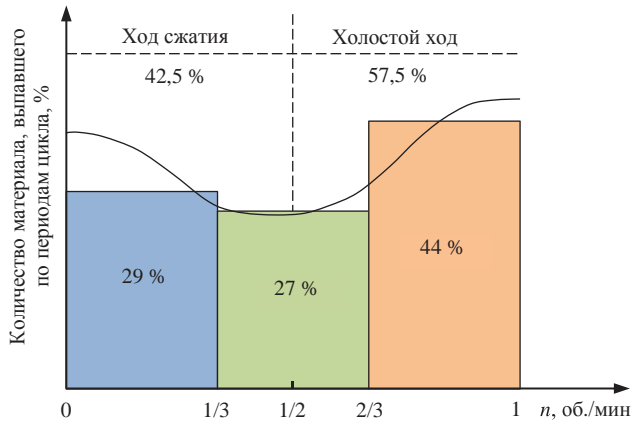


Рис. 2. Распределение разгрузки материала из щековой дробилки по периодам цикла

Значение мощности, вычисляемое по формуле Левенсона [6], обычно получается завышенным (рис. 4). Основными недостатками этой формулы можно считать слабую корреляционную связь прочности материала на сжатие $\sigma_{сж}$ с расходом энергии на дробление, игнорирование влияния таких важных факторов, как расстояние между подвижной и неподвижной щекой c , величина хода подвижной щеки S , угол наклона подвижной щеки α (хотя их значения косвенно сказываются на средневзвешенном диаметре готового продукта дробления $d_{ср}$, а также не учтены реальные условия загрузки материала в дробилку. Формула Виноградова–Костина кроме отмеченных недостатков содержит непонятно как определяемый параметр – число одновременно дробимых кусков. Формулы Бонвича пригодны лишь для ориентировочных оценок, так как слишком многие факторы, влияющие на процесс дробления, не учтены. Формулы Олевского [14] эмпиричны и не очень точны, поскольку в них не учтены многие показатели режима работы. В формулах [8] совершенно отсутствуют параметры режима работы дробилки.

Неожиданно хорошее согласие с экспериментальными данными показала формула Баумана и др. [15]. Недостающие в ней параметры работы дробилки довольно удачно учитываются в значении \sqrt{i} . Однако при больших вариациях c и S отклонение мощности N от экспериментальных достигает 30%. В работе [10] предложена формула, полученная перемножением конструктивных параметров дробилки и части параметров режима процесса дробления без учета их влияния на потребляемую на дробление мощность. В формуле не учтены производительность и влияние свойств дробимой породы.

Существенным недостатком предлагаемых формул производительности и потребляемой на дробление мощности является линейная зависимость от параме-

тров режима работы дробилки. Экспериментально доказана экстремальная зависимость от частоты качаний подвижного органа дробилки [1, 3].

При исследовании процессов дробления из всего предложенного многообразия показателей прочности применяются следующие: коэффициент крепости М. М. Протодьяконова f ; индекс работы Бонда W , деформативность $\bar{\varepsilon} = \sigma_{сж} / E$; показатель дробимости (по Барону) v ; временное сопротивление одноосному сжатию $\sigma_{сж}$; модуль упругости E .

Однако гораздо чаще при описании работы дробилок вообще отказываются от прочностных характеристик, получаемых из испытаний на отдельных образцах дробимой породы, а оценивают физико-механические свойства материала коэффициентами в соответствующих формулах. Числовые значения этих коэффициентов определяют по результатам опытов на данной дробилке. На значения этих

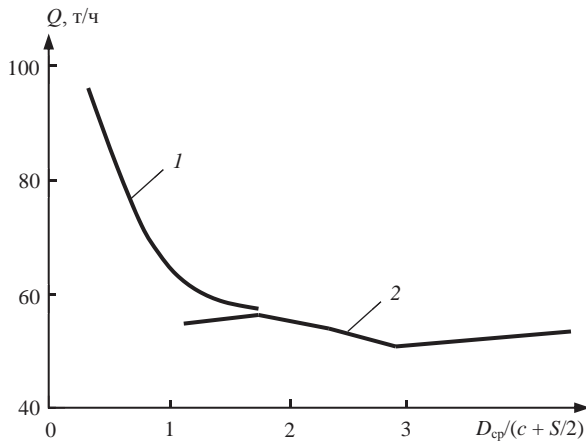


Рис. 3. Производительность дробилки 300×600 в зависимости от $D_{cp}/(c + S/2)$:

1 – исходный материал без предварительного грохочения; 2 – исходный материал после грохочения; D_{cp} – средняя крупность дробимого материала, м; c – ширина разгрузочной щели, м; S – величина хода подвижной щеки, м

коэффициентов влияют не только свойства дробимого материала, но и погрешность применяемых формул, неучтенные факторы, режим работы дробилки, экспериментальные погрешности и т. д. Отклонение расчетных значений величины, характеризующей работу дробилки, от реальной обычно объясняют нестабильностью свойств дробимого материала. По измерениям авторов, вариации основных показателей работы дробилок в режимах нормальной эксплуатации из-за изменения физико-механических свойств дробимого материала не превосходят 15 %. Это меньше, чем вариации показателей прочности, что можно объяснить усреднением прочностных свойств материала, подвергаемого дроблению, так как масса материала, проходящего через дробилку в единицу времени, больше массы, подвергаемой опробованию на прочность. Расход энергии, затрачиваемой на дробление материала в дробилках, часто оценивают с помощью теорий дробления. Коэффициенты в формулах математической записи этих законов можно считать показателями прочности, если определять их экспериментально, а теоретически даже грубых оценок значений этих коэффициентов в литературе авторами статьи не найдено, в качестве показателя прочности иногда используется значение Qi/N дробилок, где Q – производительность дробилки; i – степень дробления; N – мощность, потребляемая на дробление. Недостаток большинства перечислен-

ных методов определения прочности дробимых материалов заключается в том, что она определяется методом временного сопротивления сжатию, а ударное действие на дробимый материал не учитывается.

В работах В. М. Марасанова [1, 16, 17] предложен следующий подход при идентификации процесса дробления в щековой дробилке. Производительность дробилки соответствует ее пропускной способности, если в дробящем пространстве накапливается материал высотой H . Материал в дробящем пространстве перемещается под действием сил тяжести. Рассматривается перемещение элементарного объема материала высотой Δh в дробящем пространстве щековой дробилки. При отходе подвижной щеки элементарный объем материала перемещается вниз под действием силы тяжести и занимает новое положение. Высота перемещения элементарного объема ΔH определяется формой дробящего пространства, величиной хода подвижной щеки S , углом наклона подвижной щеки α , расстоянием между подвижной и неподвижной щекой c и т. д. Производительность дробилки определяется высотой перемещения материала за один ход подвижной щеки. Величина элементарного объема определяется формой дробящего пространства. Существует сечение в дробящем пространстве, которое определяет производительность дробилки в зависимости от крупности дробимого материала. Максимальная производительность дробилки может быть достигнута при наибольшей скорости движения материала в данном сечении дробящего пространства. Высота перемещения элементарного объема будет наибольшей, если выполняется условие

$$\Delta H_{i\max} = \frac{S_i}{\operatorname{tg}\alpha_i}.$$

Скорость перемещения материала через дробилку

$$v_i = \frac{\Delta H_{i\max}}{t} = \frac{S_i}{\operatorname{tg}\alpha_i t},$$

где t – время перемещения элементарного объема материала; $\Delta H_{i\max}$ – максимальная высота перемещения элементарного объема в i -м сечении дробящего пространства; S_i – величина хода подвижной щеки в i -м сечении; α_i – угол наклона подвижной щеки к вертикальной плоскости в i -м сечении.

Число качаний, которое обеспечит оптимальную производительность дробилки

$$n_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{k \operatorname{tg}\alpha_i}{S_i}},$$

где $k = 4414,5$.

При числе качаний подвижной щеки $n < n_{\text{опт}}$ подвижная щека движется медленнее, чем падает материал, скорость движения материала через дробилку и производительность меньше максимальной. При $n = n_{\text{опт}}$ материал в дробящем пространстве движется вслед за быстро отходящей щекой и производительность дробилки максимальная. Если $n > n_{\text{опт}}$ то подвижная щека движется быстрее, чем падает материал. Крупные куски дробимой породы пройдут меньшее расстояние и будут зажаты между подвижной и неподвижной щеками, а часть мелочи просыплется вниз между крупными кусками, но скорость движения материала будет меньше максимальной. Скорость движения материала через дробилку, а следовательно и производительность дробилки, имеет экстремальный характер и должна быть описана нелинейной функцией.

На основании экспериментальных данных производительность дробилки от числа оборотов эксцентрикового вала, размера разгрузочной щели, хода подвижной щеки и угла наклона подвижной щеки представлена эмпирической формулой. Пропускная способность дробилки $Q_n(t)$ определена на основе представленной формулы с использованием экспериментальных данных, полученных при исследовании щековых дробилок:

$$Q_n = \frac{450k_0 n L(c + e - h)}{\left(\frac{D_{cp} \operatorname{tg} \alpha}{2(c + e)e}\right) - 0,02 \sqrt{\left(\frac{D_{cp} \operatorname{tg} \alpha}{2(c + e)e}\right) n + 0,0004 n^2}}, \quad (1)$$

где L – длина разгрузочной щели дробилки, м; e – полуразмах подвижной щеки на уровне разгрузочной щели, м; h – глубина рифления футеровки дробящих плит, м.

Если учесть, что в значения коэффициентов 0,02 и 0,0004 входит физическая постоянная $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения, то формула (1) дает правильную размерность, а коэффициенты 0,02 и 0,0004 безразмерны. Коэффициент k_0 – единственный размерный – отображает влияние неучтенных физико-механических свойств дробимого материала, его численное значение примерно равно единице (при дроблении гранитов, кварцитов и железных руд).

Из формулы (1) непосредственно следует, что максимум Q_n достигается при числе качаний подвижной щеки в минуту

$$n_{\text{опт}Q} = 50 \sqrt{\frac{D_{cp} \operatorname{tg} \alpha}{2e(c + e)}}.$$

Варьировать многие конструктивные параметры невозможно даже для лабораторной дробилки, поэтому в единый массив экспериментальных данных были объединены опыты на щековых дробилках разных типоразмеров (450 опытов). Так удалось получить несколько уровней для каждого значимого фактора. Однако для возможности сравнения интервалов нестабильности Q_n^3 (когда фиксированы все контролируемые факторы, но изменяются физико-механические свойства дробимого материала) для разных типоразмеров дробилок пришлось переходить к относительной оценке, нормируя $(\Delta/R)Q_n$ на $RQ_n^3 = \max Q_n^3 - \min Q_n^3$, т. е. введем следующую характеристику нестабильности Q_n^3 отдельной дробилки, %:

$$\frac{\Delta}{R} Q \equiv \frac{\Delta Q_n^3}{R Q_n^3} \cdot 100.$$

Эта характеристика довольно устойчива для дробилок разных типоразмеров и составляет ≈ 5 %. Тогда общая относительная погрешность формулы (1), вычисляемая по $\delta f_k = \Delta f_k / R y^3$ (δ – относительная погрешность, f_k – теоретическое значение параметра, y^3 – экспериментальное значение параметра), составляет $\delta Q_n = 14$ %.

Практическое применение формулы для расчета Q_n некоторой дробилки, перерабатывающей определенное сырье, должно начинаться с экспериментального определения k_0 . Для этого необходимо выполнить 3–5 опытов на данной дробилке и, используя полученные экспериментально значения Q_n , вычислить по формуле значения k_0 . Полученные значения k_0 усреднить и усредненное k_0 использовать в формуле при последующих расчетах.

Практическая проверка, проведенная в течение рабочей смены (8 ч) показала, что значение Q_p практически не выходит за пределы указанной погрешности (14 %), поэтому корректировку можно производить не чаще, чем один раз в смену. Исключения составляют случаи резкого изменения влажности и содержания вязких материалов, а также дробление влажного материала в морозное время. В последнем случае определение k_Q необходимо выполнять при каждом изменении свойств дробимого материала.

Формула (1) пригодна для расчета Q_p щековой дробилки с простым качанием подвижной щеки любого типоразмера. В этой формуле четко разделены влияния конструктивных параметров дробилки и неучитываемых свойств дробимого материала (кроме D_{cp}) на Q_p . Дело в том, что попытки учета в явном виде прочностных характеристик дробимого материала не привели к улучшению точности, так как эти характеристики изменяются от опыта к опыту на 20–30 % и оперативно определять их очень трудно. Все последующие формулы, описывающие статический режим работы дробилок, физико-механические свойства дробимого материала (кроме D_{cp}) учитывают в виде соответствующих коэффициентов.

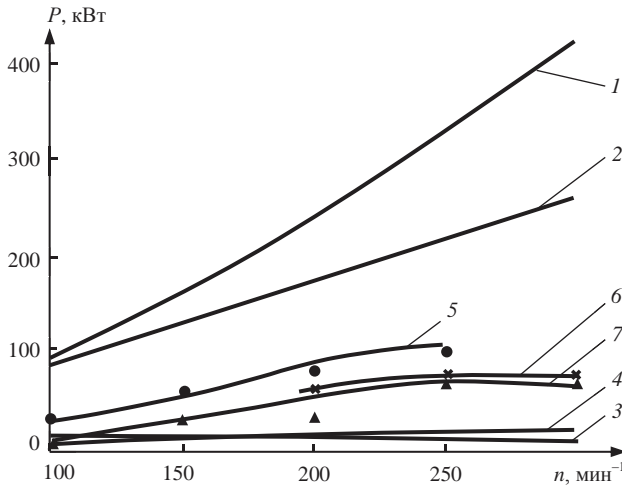


Рис. 4. Потребляемая на дробление мощность. Дробилка 300 × 600:

1 – по формуле Левенсона; 2 – по формуле Виноградова–Костина; 3 – по формуле Бонвича; 4 – по формуле Олевского; по формуле (2): 5 – $c = 0,025$ м; 6 – $c = 0,05$ м; 7 – $c = 0,06$ м; получено экспериментально: ● – $c = 0,025$ м; ✖ – $c = 0,05$ м; ▲ – $c = 0,06$ м

Мощность N , потребляемая на дробление, пропорциональна Q , \sqrt{n} , e и обратно пропорциональна c и $\text{tg}\alpha$. Метод последовательного учета переменных позволяет получить формулу

$$N = 0,06k_N \frac{Qe\sqrt{n}}{\text{ctg}\alpha} + 1,21F^{0,8}S^{0,84}n. \quad (2)$$

Запись мощности, потребляемой на дробление, осциллографом показала, что мгновенные значения N имеют размах колебаний, соизмеримый со средним значением N за интервал времени 3–5 мин. Поэтому считать интервал неопределенности N по размаху его мгновенных значений означало бы отказ от возможности

получения информации об этой величине. Потребляемая на дробление мощность измерялась в интервале времени Δt по формуле:

$$N_{\Sigma} = \int_{t_1}^{t_1+\Delta t} N(t)dt = \Delta t \bar{N}(t),$$

в качестве N принято среднее значение $\bar{N}(t)$ за интервал $\Delta t = 3-5$ мин (опуская знак усреднения по времени). С учетом этого обстоятельства определена относительная нестабильность данного показателя эффективности (как и при определении нестабильности Q_n), %:

$$\frac{\Delta}{R} N = \frac{\Delta N^3}{RN^3} \cdot 100.$$

Общая относительная погрешность формулы (2) составляет 18 %. Применение (2) должно предваряться экспериментальным определением k_N по 3-5 опытам (как и для (1)). Значение k_N должно быть примерно равно единице.

При $Q = Q_n$ в (2) можно вместо Q подставить Q_n , вычисляемое по формуле (1), тогда возможно определить оптимальное значение n , соответствующее максимуму N :

$$n_{\text{опт}N} = 75 \sqrt{\frac{D_{\text{cp}} \operatorname{tg} \alpha}{2e(c+e)}} = 1,5n_{\text{опт}Q}.$$

Корректировать k_N можно не чаще, чем один раз в смену.

Аналогичным методом получена формула для определения средневзвешенного диаметра продуктов дробления (при условии, что в исходном продукте дробления не слишком много кусков размером меньше размера разгрузочной щели c ; $D_{\text{cp}} \geq c$)

$$d_{\text{cp}} = 1,5k_d \frac{c}{\sqrt{n(e+0,15y)}},$$

соответственно, для степени дробления получается

$$i = 0,8k_i \frac{D_{\text{cp}}}{c} \sqrt{n(e+0,15y)} = \frac{D_{\text{cp}}}{d_{\text{cp}}}, \quad (3)$$

относительная нестабильность степени дробления, %:

$$\frac{\Delta}{R} i = \frac{\Delta i^3}{Ri^3} \cdot 100 \approx 5,$$

относительная погрешность формулы (3) $\delta_i \approx 15$ %.

Как и ранее, коэффициент k_i примерно равен единице и определяется физико-механическими свойствами дробимого материала. Определять его необходимо, как и k_d , и корректировать не чаще, чем один раз в смену.

Относительно оценки крупности продуктов дробления существуют разные требования. На дробильно-сортировочных заводах (ДСЗ) требуется в результате дробления получить определенное соотношение товарных фракций щебня,

и оценка продуктов дробления только по d_{cp} недостаточна. Необходимо оценивать всю кривую распределения гранулометрического состава. Однако технологическими мероприятиями значительно деформировать кривую распределения гранулометрического состава не удастся, и значение d_{cp} позволяет (по типовым характеристикам крупности) судить о реальной кривой распределения. Кроме того, на стадиях среднего и мелкого дробления (где в основном и получают товарные фракции) щековые дробилки применяют редко. На дробильно-обогащительных фабриках (ДОФ) дробление является обычно подготовительной операцией перед последующим измельчением. Поэтому основной интерес представляет выход мелких классов или содержание класса +25 мм, но и в этом случае с помощью типовых характеристик крупности по d_{cp} можно судить о содержании указанных классов в продуктах дробления. Совокупность формул (1), (2) и (3) составляет статическую модель щековой дробилки любого типоразмера. Формулы достаточно просты и позволяют провести оптимизацию режима работы дробилок, а также рассчитать эффективность режима работы. Полученная модель позволяет представить работу отдельных каскадов дробления и всего дробильно-сортировочного комплекса. Точность модели удовлетворительна для проведения многих практически важных расчетов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марасанов В. М., Дылдин Г. П. Идентификация, оптимизация и автоматизация процесса дробления. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. 268 с.
2. Панкратов С. А., Болдов Ю. В., Пихаленко И. Г. Повышение эффективности процессов мелкого дробления // Горный журнал. 1968. № 2. С. 60–64.
3. Клушанцев Б. В., Волчек В. И. Зависимость технико-эксплуатационных показателей щековых дробилок с простым движением щеки от конструктивных параметров и режимов работы // Исследование дробильно-обогащительного оборудования: сб. трудов ВНИИстройдормаш. М., 1968. Вып. XII. С. 3–18.
4. Исследование процесса дробильно-помольного участка Первоуральского динасового завода как объекта автоматизации / науч. рук. А. Е. Троп. Свердловск: СГИ, 1966. 134 с.
5. Обзор отечественного и мирового уровня идентификации и автоматизации процессов дробления. Отчет СГИ / науч. рук. В. М. Марасанов, № ГР 80042366, инв. № 02850000265. Свердловск, 1980. 202 с.
6. Левенсон Л. Б., Прейгерзон Г. И. Дробление и грохочение полезных ископаемых. Л.: Гостоптехиздат, 1940. 772 с.
7. Андреев С. Е., Перов В. А., Зверевич В. В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М.: Недра, 1980. 415 с.
8. Андреев Е. Е., Тихонов О. Н. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению. СПб, 2007. 439 с.
9. Sobolewski S. Оптимальное n в двухраспорных щековых дробилках // Gorn. Adkrgivwik. 1972. № 9–10. С. 330–332 (польск.).
10. Газалеева Г. И., Цыпин Е. Ф., Червяков С. А. Рудоподготовка: дробление, грохочение, обогащение. Екатеринбург: УЦАО, 2014. 914 с.
11. Штепа В. А., Гене В. М. Об энергетической эффективности щековой дробилки со сложным качанием щеки // Обогащение полезных ископаемых. 1978. Вып. 22. С. 29–33.
12. Левенсон Л. Б., Клюев Г. М. Производство щебня. Основы технологии и оборудования. М.: Госстройиздат, 1959. 266 с.
13. Михайлов Б. В. Производительность щековых дробилок // Сб. трудов ВНИИнеруд. 1970. Вып. 31. С. 43–46.
14. Олевский В. А. Мощность и производительность щековой и конусной дробилок для крупного дробления // Обогащение руд. 1967. № 6. С. 40–43.
15. Бауман В. А., Клушанцев Б. В., Мартынов В. Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов изделий и конструкций. М.: Машиностроение, 1975. 351 с.
16. Марасанов В. М. Математическое описание процесса дробления. Производительность щековой дробилки // Сб. трудов СГИ. 1968. Вып. 52. С. 5–12.
17. Марасанов В. М. Определение мощности, потребляемой при дроблении материала в щековой дробилке // Изв. вузов. Горный журнал. 1970. № 11. С. 99–101.

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE PROCESS OF CRUSHING IN A JAW CRUSHER

Marasanov V. M., Dyldin G. P. – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation.
E-mail: v.marasanoff@yandex.ru

The article examines a new approach under the identification of the process of crushing in a jaw crusher. The capacity of a crusher corresponds to its output and is determined by the height of material elementary volume displacement per one pace of movable jaw. The value of elementary volume is defined by the shape of the crushing space, the pace size of movable jaw, inclination angle of movable jaw, distance between movable and unmovable jaws, movable jaw oscillation frequency, size of the crushed material, and its physical and mechanical properties. There is a section in the crushing space along the height, which determines the capacity of a crusher depending on the size of the crushed material. Maximum capacity of a crusher can be obtained under the higher speed of material motion in a given section of crushing space. In the process of scientific investigations the influence on the capacity has been determined, consumed for the crushing, power and degree of the crushing of the main changing parameters, determining the value of elementary volume of movable material. Mathematical description of the process of crushing in jaw crushers has been obtained. As the result of experimental investigations it has been determined, that under the material crushing in a crusher there are the elements of smashes on the lumps of material, the action of which increases with the increase of the oscillation frequency of the movable body of a crusher, and the degree of crushing increase. The analysis of existing methods of identifying the process of crushing in jaw crushers has revealed the disadvantage in the description of the strength of the crushed materials, taking into account compressive resistance and ignoring percussion action on the crushed material.

Key words: crushing; capacity; properties of the crushed material; oscillation frequency; smash.

REFERENCES

1. Marasanov V. M., Dyldin G. P. *Identifikatsiia, optimizatsiia i avtomatizatsiia protsessa drobleniia* [Identification, optimization, and automation of crushing process]. Ekaterinburg, UrSMU Publ., 2017. 268 p.
2. Pankratov S. A., Boldov Iu. V., Pikhailenko I. G. [Efficiency development of the processes of fine crushing]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 1968, no. 2, pp. 60–64. (In Russ.)
3. Klushantsev B. V., Volchek V. I. [Dependence of technical-exploitation indices of jaw crushers with simple jaw motion on the construction parameters and operating modes]. *Issledovanie drobil'no-obogatitel'nogo oborudovaniia: sb. trudov VNIIsroidormash* [Proceedings of VNIIsroidormash “Examination of crushing-concentrating equipment”]. Moscow, 1968, issue XII, pp. 3–18. (In Russ.)
4. *Issledovanie protsessa drobil'no-pomol'nogo uchastka Pervoural'skogo dinasovogo zavoda kak ob'ekta avtomatizatsii. Nauch. ruk. A. E. Trop* [Examination of the process of a crushing-grinding section of Pervouralsk silica plant as automation object. Academic adviser A. E. Trop]. Sverdlovsk, SGI Publ., 1966. 134 p.
5. *Obzor otechestvennogo i mirovogo urovnia identifikatsii i avtomatizatsii protsessov drobleniia: otchet SGI. Nauch. ruk. V. M. Marasanov* [The review of national and world level of crushing processes identification and automation: report of the SMI. Academic adviser V. M. Marasanov]. No. GR 80042366, inv. no. 02850000265. Sverdlovsk, 1980.
6. Levenson L. B., Preigerzon G. I. *Droblenie i grokhochenie poleznykh iskopaemykh* [Mineral crushing and screening]. Leningrad, Gostekhizdat Publ., 1940. 772 p.
7. Andreev S. E., Perov V. A., Zverevich V. V. *Droblenie, izmel'chenie i grokhochenie poleznykh iskopaemykh* [Mineral crushing, grinding, and screening]. Moscow, Nedra Publ., 1980. 415 p.
8. Andreev E. E., Tikhonov O. N. *Droblenie, izmel'chenie i podgotovka syr'ia k obogashcheniiu* [Crushing, grinding, and raw material preparation for concentration]. St. Petersburg, 2007. 439 p.
9. Sobolewski S. [Optimal n in two column jaw crushers]. *Gorn. Adkrgivwik*. 1972, no. 9–10, pp. 330–332 (in Polish).
10. Gazaleeva G. I., Tsylin E. F., Chervikov S. A. *Rudopodgotovka: droblenie, grokhochenie, obogashchenie* [Ore dressing: crushing, screening, and concentration]. Ekaterinburg, UTsAO Publ., 2014. 914 p.
11. Shtepa V. A., Gene V. M. [Regarding the energetic efficiency of jaw crusher with complex jaw oscillation]. *Obogashchenie poleznykh iskopaemykh – Mineral Processing*, 1978, issue 22, pp. 29–33. (In Russ.)
12. Levenson L. B., Kliuev G. M. *Proizvodstvo shchebniia* [Crushed stone production]. Moscow, Gosstroizdat Publ., 1959. 266 p.
13. Mikhailov B. V. [Jaw crushers capacity] *Sb. trudov VNIInerud – Proceedings of VNIInerud*. 1970, issue 31, pp. 43–46.
14. Olevskii V. A. [Power and capacity of jaw and cone crushers for coarse crushing]. *Obogashchenie rud – Mineral Processing*, 1967, no. 6, pp. 40–43. (In Russ.)
15. Bauman V. A., Klushatsev B. V., Martynov V. D. *Mekhanicheskoe oborudovanie predpriatii stroitel'nykh materialov izdelii i konstruksii* [Mechanical equipment of enterprises of construction materials, products, and constructions]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1975. 351 p.
16. Marasanov V. M. [Mathematical description of crushing process. Jaw crusher capacity] *Sb. trudov SGI – Proceedings of Sverdlovsk Mining Institute*. 1968, issue 52, pp. 5–12. (In Russ.)
17. Marasanov V. M. [Determination of the power, consumed under material crushing in a jaw crusher]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 1970, no. 11, pp. 99–101. (In Russ.)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

АБАТУРОВА И. В., САВИНЦЕВ И. А., БОРИСИХИНА О. А., КОЗЛОВ В. С.

В статье рассматриваются специфические особенности метасоматически измененных горных пород золото-серебряного месторождения Светлое, которое расположено в Охотском районе Хабаровского края. Вмещающими породами рудных зон рассматриваемого месторождения являются лавы и туфы андезитов, андезито-дацитов, которые в результате гидротермально-метасоматических процессов повсеместно изменены. На месторождении проявлены следующие типы метасоматоза: пропилитизация, вторичное окварцевание, аргиллизация. Каждый тип характеризуется своими условиями образования – щелочным составом гидротермальных растворов и температурой их образования. Рассмотрена характеристика физико-механических свойств пород месторождения, установлены закономерности снижения прочностных характеристик за счет присутствия в породах «ослабляющих» минералов, закономерности изменения свойств в зависимости от типа метасоматоза и распределения минералов в разрезе месторождения. С целью установления закономерностей изменения физико-механических свойств выполнен анализ результатов определения минерального состава и физико-механических свойств пород месторождений. Установленные закономерности являются важным моментом при решении вопроса о вскрытии полезного ископаемого, степени, характере и типе крепления горных выработок.

Ключевые слова: физико-механические свойства горных пород; метасоматически измененные породы; этапы метасоматоза; золото-серебряное месторождение; пропилитизация; вторичное окварцевание; аргиллизация.

Многолетние исследования золоторудных месторождений Урала, Забайкалья, Якутии [1], расположенных в пределах складчатых поясов, свидетельствуют об особых условиях формирования физико-механических свойств пород. Эти особые условия вызваны гидротермальными метасоматическими процессами, формирующими определенную зональность, в «оторочке» которой и находятся рудные тела. Состав материнских пород, температура, давление, гидротермальные процессы определяют степень и характер преобразования минерального состава и структурно-текстурных особенностей грунтов. Под действием метасоматических процессов минеральный состав и свойства пород могут настолько изменяться, что грунты из одного класса переходят в другой: скальные грунты пре-

Абатурова Ирина Валерьевна – доктор геолого-минералогических наук, доцент, профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: AbaturovaIV@gingeo.ru

Савинцев Иван Андреевич – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: ivan.savintsev@gmail.com

Борисихина Ольга Александровна – аспирант кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: borisihina_oly@mail.ru

Козлов Владислав Сергеевич – аспирант кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: mr.vkla.k@gmail.com

вращаются в дисперсные, а слаболитифицированные породы становятся прочными и плотными. Так, в пределах уральских месторождений в результате пропиллитизации, аргиллизации отмечается преобразование вулканогенных пород (андезитов, дунитов) в дисперсные глинистые, а в Восточной Якутии слаболитифицированные малопрочные туфы переходят в прочные. К настоящему времени

2008 г. Фотодокументация после окончания бурения	2013 г. Повторная фотодокументация
	
Иллит-пропиллитовые метасоматиты, развиты по слабоспекшимся литокристаллокластическим туфам. Интервал документации 114,8–120,4 м	
<p><i>Описание керна</i> Минимальный размер обломков 10 см, максимальный размер – 60 см. Порода средней прочности, участками мягкая и царапается ножом. Трещины редкие, поверхности шероховатые, волнистые, с признаками ожелезнения. Отмечаются прожилки, заполненные рыхлым глинистым материалом</p>	<p><i>Описание керна</i> Минимальный размер обломков 0,1–0,25 см, максимальный размер – 20 см. Порода сильноизмененная, керна разрушен практически полностью и представлен дресвой с песчаным заполнителем. Отдельные обломки размером до 20 см ожелезненные по поверхности</p>
	
Метасоматиты иллитовые по литокристаллокластическим туфам, интервал документации 124,3–131,4 м	
<p><i>Описание керна</i> Минимальный размер обломков 5 см, максимальный размер – 60 см. Порода среднечная, участками слабая, мягкая и царапается ножом. Отмечаются единичные каверны выщелачивания. Трещины редкие, поверхности шероховатые, волнистые</p>	<p><i>Описание керна</i> Минимальный размер обломков 2 см, максимальный размер – 40 см. Керна в процессе хранения не претерпел внешних изменений, представлен обломками исходной формы и размера</p>

Рис. 1. Изменение состояния керна скважин месторождения Светлое

накоплены обширные знания о геохимии, минералогии, петрографии и инженерно-геологических особенностях гидротермально измененных пород [2–9]. Однако закономерности формирования физико-механических свойств в связи с процессами

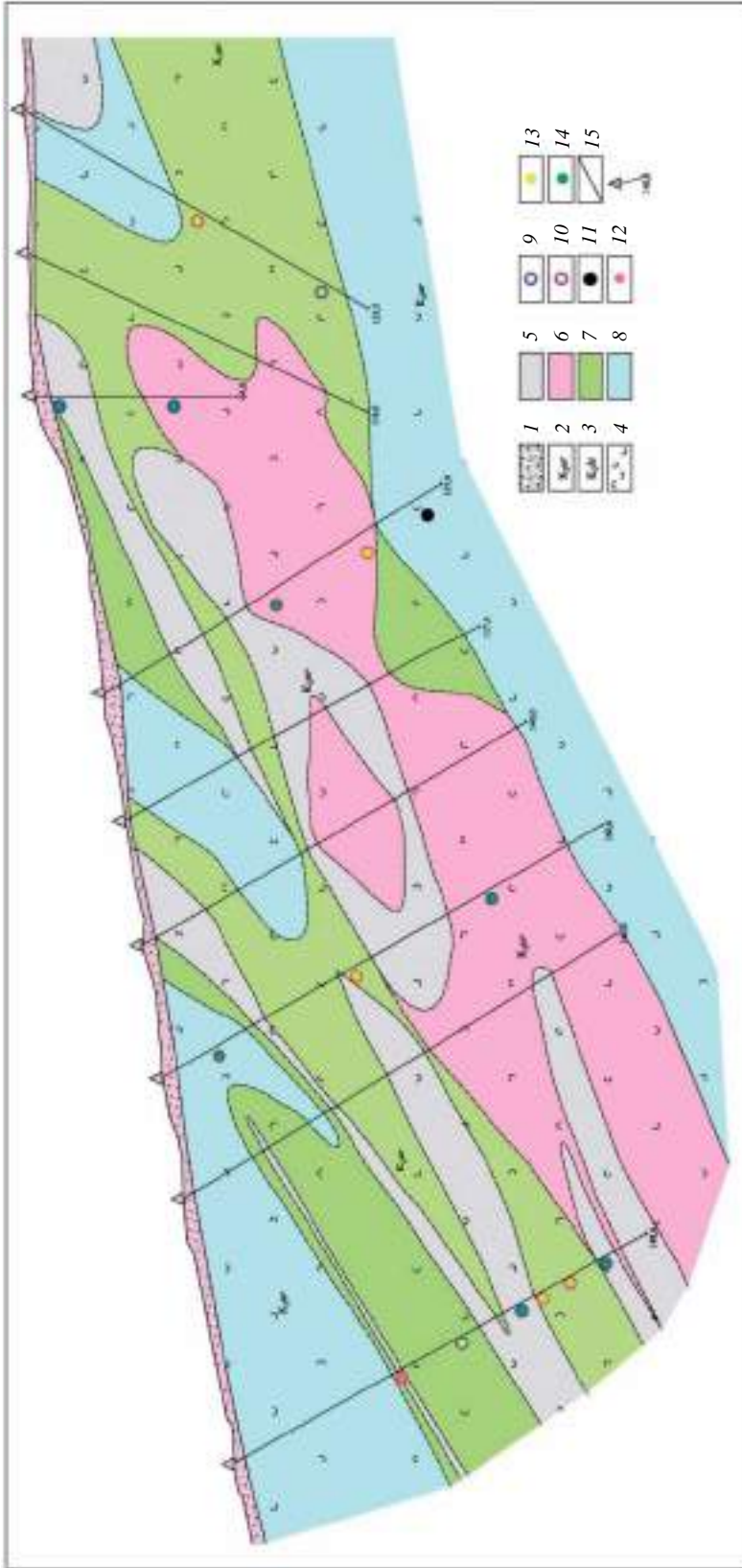


Рис. 2. Геологический разрез с характеристиками временного сопротивления одноосному сжатию:

1–4 – литология и возраст пород: 1 – четвертичная система; делювиальные, пролювиальные, солифлюкционные отложения (суглинки, пески, глыбы); 2 – уражская свита (лавы, туфы, игнимбриты дацитов); 3 – хетанская свита (лавы андезитов, андезибазальтов, туфы андезитов); 4 – вулканические туфы; 5–8 – гидротермально-метасоматические изменения: 5 – монокварциты (кварца больше 90 %), 6 – кварц-алунитовые (кварца 50–90 %); 7 – диксит-каолинитовые, диксит-кварцевые (кварца 50–90 %); 8 – иллитовые, проиллит-иллитовые (кварца менее 20 %); 9–14 – разновидности грунтов по прочности (ГОСТ 25100–2011): 9–11 – классификация по коэффициенту размягчаемости; 9 – неразмягчаемые; 10 – размягчаемые; 11 – размокли при водонасыщении; 12–14 – классификация по пределу прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии; 12 – малопрочные; 13 – средней прочности; 14 – прочные; 15 – геологические границы фаций метасоматитов; 16 – геологоразведочная скважина и ее глубина

золотого оруденения изучены слабо, а ведь именно они определяют устойчивость пород при вскрытии горными выработками и способы их крепления.

Анализ практики горных работ показал, что на Сибайском, Узельгинском, Учалинском месторождениях при наблюдениях за выработками, пройденными в метасоматитах, в результате контакта с шахтным воздухом и подземными водами породы теряют прочность и распадаются на мелкодисперсные коллоидные системы, не имеющие кристаллической структуры, кроме того, отмечается увеличение их объема, породы становятся пластичными, образуются плоскости скольжения, исчезает сцепление, динамика вывалообразований нарастает во времени [6].

Те же процессы авторы статьи наблюдали неоднократно на разных месторождениях, в том числе на месторождении Светлое при инженерно-геологической документации керна, когда за пятилетний период (2008–2013 гг.) хранения в породе либо увеличивалась степень трещиноватости, либо отмечалась полная потеря прочности пород и переход ее из состояния скальной в дисперсную (рис. 1).

В статье рассмотрено золото-серебряное месторождение, условия образования которого связаны с метасоматическими преобразованиями пород.

Методы исследований. Изучение физико-механических свойств грунтов проводилось первоначально при составлении инженерно-геологической документации керна, когда фиксировалось состояние пород, степень трещиноватости и определялась прочность пород с помощью молотка Шмидта [10]. По результатам были выполнены опробование и лабораторные исследования, которые включали в себя определение всех физических и механических характеристик по стандартным методикам ГОСТов. Параллельно с определением свойств изучался микроуровень пород. Образцы описывались в шлифах. Минеральный состав определялся с помощью рентгеноструктурного анализа.

Геологическое строение месторождения. Этапы метасоматоза. Золото-серебряное месторождение Светлое расположено в Охотском районе Хабаровского края и состоит из рудных зон Эмми и Елена. Абсолютные отметки составляют 617–870 м.

Вмещающими породами месторождения являются лавы и туфы андезитов, андезито-дацитов хетанской (K2ht) и уракской (K2ur) свит. В результате гидротермально-метасоматических процессов породы повсеместно изменены. На месторождении проявлены следующие типы метасоматоза: I – пропилитизация, II – вторичное окварцевание, III – аргиллизация.

Пропилитизация. Пропилитами называют зеленокаменные гидротермально измененные породы, образующиеся при воздействии на вулканогенные породы слабоагрессивных гидротермальных растворов от слабокислых до нейтральных при температуре $T = 200\text{--}350\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5]. Поскольку разброс температур значительный, выделяются высокотемпературные, среднетемпературные и низкотемпературные пропилиты. Образование их происходит в результате перераспределения основных химических элементов пород без привноса-выноса вещества, за исключением летучих веществ [3]. Для изучаемого месторождения характерно развитие низкотемпературных пропилитов карбонат-гидрослюдисто-хлоритовой формации.

Вторичные кварциты. Образование кварцитов происходит под действием кислых и ультракислых высокотемпературных растворов ($T = 300\text{--}500\text{ }^{\circ}\text{C}$, $pH = 1\text{--}4$) полигенного генезиса. Химизм процесса заключается в выщелачивании всех элементов, за исключением кремния и алюминия [5]. Вторичные кварциты в пределах изучаемого месторождения отличает четко выраженная зональность. Внутренняя часть представлена почти чистым кварцем (кавернозный кварц), окруженным зонами кварц-алунитового, кварц-диккитового, иллитового

состава. В зоне кавернозного кварца отмечается выщелачивание всех породообразующих минералов, она сложена кварцем, сульфатами. В кавернозном кварце выделяются участки массивного строения. Распределение таких участков случайное. Кварц-алунитовая, диккит-кварцевая зона окаймляет кварцевое ядро. Здесь образуются кварц, алунит, диккит. Во внешней части зоны развита ассоциация кварц-алунит-каолинитовая. Этот парагенезис является переходным к зоне иллитовых изменений. Иллитовая зона является окаймляющей и состоит из кварца, иллита и в подчиненном количестве монтмориллонита.

Аргиллизация – процесс замещения исходных пород глинистыми минералами. Аргиллизация обычно проявляется на завершающих этапах развития геологических процессов. При проявлении на месторождениях полезных ископаемых процесс аргиллизации включает две ветви – гидротермальную (рудную) и сольфатарную (безрудную), протекающую при воздействии на породы кислых и ультракислых гидротерм при температурах около 320 °С, pH = 0–3,5.

Изучаемое месторождение характеризуется развитием сольфатарной ветви с образованием гидрослюдисто-каолинитовой формации и соответствующим парагенезисом минералов (табл. 1)

Таблица 1

Этапы преобразования материнских пород на месторождении Светлое

Показатель	Проиллитизация (предрудная стадия)	Вторичное окварцевание (рудная стадия)	Аргиллизация (пострудная стадия)
Образованные метасоматические формации	Карбонат-гидрослюдисто-хлоритовая	1. Кавернозный кварц 2. Кварц-алунитовая 3. Диккит-кварцевая 4. Иллитовая	Гидрослюдисто-каолинитовая
Парагенезис минералов	Хлорит, гидрослюда, карбонат, монтмориллонит, кварц, пирит, эпидот	1. Кварц 2. Кварц, алунит, диккит 3. Диккит, кварц, каолинит 4. Иллит, каолинит, монтмориллонит, пирит	Гидрослюда, каолинит, алунит, диккит

Тип оруденения – золото-серебряное; материнские породы – лавы, туфы андезитов и андезито-дацитов (хетанская (K₂ht) и уракская (K₂ur) свиты); генезис месторождения – гидротермальный.

Физико-механические свойства метасоматически измененных пород.

Вторичные кварциты слагают основную часть площади поля метасоматически измененных пород, определяя в целом его морфологию и размеры. Они развиваются по дацитам и их туфам, реже по андезитам и их туфам, в целом наследуя их первичный структурный план, формируя пластообразные залежи и залегая в виде плаща по всей площади рудного поля мощностью до 300 м.

Выделение и оконтуривание в пространстве разных фаций вторичных кварцитов довольно условно, что продиктовано сложной визуальной диагностикой диккита и алунита, наличием постепенных переходов между породами разных фаций с широкой вариацией количества и соотношения минералов, развития мелких, разнообразных по форме выделений и количеству тел монокварцитов. Среди вторичных кварцитов преобладает алунитовая фация, затем диккитовая и монокварцевая (рис. 2, 3).

Тела пористых, кавернозно-пористых брекчиевидных, брекчиевидных монокварцитов, иногда алунит-кварцевых вторичных кварцитов являются основным продуктивным на золото типом рудоносных образований. Площадь их развития совпадает с ореолом распространения тел монокварцевой фации. Мелкие тела

монокварцитов, как правило, выщелочены по всему объему, поэтому тела пористого кварца и монокварцитов идентичны друг другу. Крупные залежи монокварцитов затронуты процессами выщелачивания частично и неравномерно, что обуславливает и неравномерность пористости от слабой (5–10 % объема породы) до значительной (30–40 %). Размеры пор колеблются от долей миллиметров до 1,5–2,0 см, в кавернозных разностях – до 10–20 см при весьма разнообразной форме.

Наличие брекчиевидных текстур обусловлено проявлением реликтовых текстур первичных вулканогенно-обломочных пород. Брекчиевые текстуры связаны с участками дробления и перекристаллизации пород. По физико-механическим свойствам кварциты являются самыми плотными и прочными среди развитых на месторождении пород, плотность их меняется от 2,36 г/см³ до 2,63 г/см³ и определяется степенью кавернозности (табл. 2).

Таблица 2

Средние значения показателей физико-механических свойств пород месторождения Светлое

Показатель	Петрографический тип метасоматических пород			
	Вторичные кварциты	Кварц-алунитовый	Диккит-каолининовый, диккит-кварцево-каолининовый	Иллитовый, иллит-пропилитовый
Плотность, г/см ³	2,51	2,54	2,36	2,03
Водонасыщение, %	0,80	1,44	3,3	4,06
Коэффициент крепости, доли ед.	7	9	9	4
Пределы прочности при сжатии, МПа:				
в сухом состоянии	113,9	86,2	46,4	26,9
в водонасыщенном состоянии	86,2	68,2	31,2	10,4
Пределы прочности при растяжении, МПа:				
в сухом состоянии	17,7	16,6	10,4	7,4
в водонасыщенном состоянии	13,5	13,2	8,0	2,6
Коэффициент размягчаемости, доли ед.	0,78	0,78	0,67	0,37
Удельное сцепление, МПа:				
в сухом состоянии	27,7	24,7	14,2	8,9
в водонасыщенном состоянии	19,9	19,7	9,5	3,4
Угол внутреннего трения, град.:				
в сухом состоянии	38	37	35	31
в водонасыщенном состоянии	38	37	32	34
Скорость упругой волны, м/с:				
продольной	4840	4880	3971	3068
поперечной	3230	3400	2521	1515

Кавернозность определяет и все остальные параметры, так водонасыщение у слабокавернозных пород составляет 0,4 %, у сильнокавернозных – 4,12 %. По прочности кварциты относятся к разновидностям прочных ($R = 50–120$ МПа), средней прочности ($R = 15–50$ МПа) либо очень прочных ($R = 162$ МПа), скорость продольных волн изменяется от 2800 (сильнокавернозные) до 5450 м/с (слабокавернозные). Несмотря на высокую прочность, кварциты относятся к размягчаемым породам ($K_{\text{соф}} < 0,75$), потеря прочности при водонасыщении может достигать 30–50 % (зона Эмми) и 27–33 % (зона Елена).

Кварц-алунитовые метасоматиты представляют собой осветленные породы с матовым блеском, сложенные мелкими зернами вторичного кварца и алуни-та (рис. 4). Алуни-т образует псевдоморфозы по полевому шпату, развивается в виде гнезд, скоплений, прожилков, отдельных табличек в кварцевом микроагре-гате основной массы. Происходит полная перекристаллизация первичных пород с потерей исходной структуры.

Таблица 3

Зависимость физико-механических свойств от минерального состава горных пород

Петрографический тип метасоматических пород	Плотность, г/см ³	Водонасыщение, %	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа		Коэффициент размягчаемости, доли ед.	Скорость упругой волны, м/с		Содержание кварца, %	Кавернозность, %	Содержание минералов, %							
			в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии		продольной	поперечной			Диккит	Иллит	Алуниит	Каолинит	Монтмориллонит	Хлорит-гидрохлорит	Серпичит	
<i>Зона Эмма</i>																	
Диккит-каолиновый	2,32	4,4	34,5	20,4	0,59	3820	2530	40	–	45	–	–	15	–	–	–	–
Диккит-кварцево-каолиновый	2,37	2,4	48,9	34,9	0,66	4010	2590	75	Локально до 5	17	2	3	4	–	–	–	+
Хлоритовые туфы	2,32	4,1	31,6	11,6	0,36	3510	2260	30	–	+	9	–	–	+	19	–	–
Иллитовый	2,00	5,2	25,2	9,7	0,33	3310	1170	< 15	Локально до 1	–	40	–	–	20	–	–	+
Иллит-пропилитовый	2,39	3,7	33,4	15,1	0,42	3500	2160	20	Локально до 10	6	21	–	22	15	10	3–10	
<i>Зона Елена</i>																	
Диккит-каолиновый	2,21	4,7	28,2	17,9	0,6	3650	2220	25	1	62	–	–	6	–	–	–	–
Диккит-кварцево-каолиновый	2,41	2,7	57,5	39,7	0,69	3880	2330	80	1	14	–	2	–	–	–	–	–
Кварц алунитовый	2,54	1,4	86,2	68,2	0,78	4880	3400	75	2	8	–	23	–	–	–	–	–
Кварцитовый	2,51	0,8	113,9	86,2	0,78	4840	3230	> 90	4	6	–	5	2	–	–	–	–
Иллитовый	2,03	2,6	18,9	< 5	< 0,3	2425	1210	< 25	–	–	33	–	2	19	–	–	–

Породы приобретают вторичную структуру, становясь при этом плотными ($\rho = 2,16\text{--}2,75 \text{ г/см}^3$), однородными, с высокими значениями скорости продольных волн – в диапазоне 2700–6000 м/с, прочность пород в водонасыщенном состоянии R_c довольно неоднородна и зависит от процентного соотношения в породе кварца и алунита. Ее значения колеблются в интервале 22,7–100,3 МПа. Наиболее прочными являются породы, в которых алунит замещает вкрапленники плагиоклазов и единичные литокласты, находясь при этом как бы внутри кварцевого микроагрегата, слагающего основную массу породы и определяющего его прочность. При этом количество алунита не превышает 10 %. Увеличение содержания алунита до 30 % и развитие его в виде скоплений в основной массе на контактах зерен резко снижает прочность. Породы при водонасыщении часто теряют свою прочность на 27–54 %.



Рис. 3. Каверзные кварциты

Диксит-каолиновые, кварц-диксит-каолиновые метасоматиты – это породы серовато-белого цвета, массивные, содержащие гидроокислы железа, в них часто прослеживается структура первичной породы. Породы пористые, с плотностью у диксит-каолиновых разновидностей $1,90\text{--}2,39 \text{ г/см}^3$ и высокими значениями водонасыщения – до 6,03 %, что резко снижает и так невысокие прочностные свойства при водонасыщении. Кварц-диксит-каолиновые породы более плотные ($\rho = 2,13\text{--}2,66 \text{ г/см}^3$) и более прочные, чем диксит-каолиновые, R_c в сухом состоянии меняется от 21,4 до 108,4 МПа, однако присутствие в породе каолинита снижает величину прочности. Породы относятся к группе размягчаемых ($K_{\text{sof}} < 0,75$).

Иллиты характеризуются плотностью $\rho = 1,80\text{--}2,04 \text{ г/см}^3$. Водонасыщение велико и изменяется в пределах 1,41–8,18 %, что связано с присутствием как различных генераций гидрослюды, так и смешанно-слоистых смектит-гидрослюдистых образований. Прочность пород в водонасыщенном состоянии изменяется от 1,7 до 23,6 МПа, что позволяет отнести их к разновидностям малопрочных и пониженной прочности, размягчаемым ($K_{\text{sof}} < 0,75$), при водонасыщении отмечается потеря прочности от 40 до 88 %.

Иллит-пропиллитовые породы характеризуются невысокой плотностью $2,02\text{--}2,50 \text{ г/см}^3$ и высокими значениями водонасыщения 2,16–5,87 %. Породы согласно ГОСТ-25100-2011 относятся к разновидностям средней и малой прочности, размягчаемым ($K_{\text{sof}} = 0,19\text{--}0,73$). Потеря прочности при водонасыщении составляет 28–88 % (зона Эмми) и 27–80 % (зона Елена). Причем иллит-пропиллитовые породы зоны Эмми теряют прочность наиболее активно, вплоть до 88 %.

С целью установления закономерностей изменения физико-механических свойств выполнен анализ результатов определения минерального состава и

физико-механических свойств пород для зон Эмми и Елена. Выявлено, что повышенные значения прочности, скорости упругих волн характерны для пород, в которых наряду с иллитом и серицитом существенная роль принадлежит кварцу. Однако наличие иллит-сметкитовых образований, каолинита снижает показатели плотности и прочности пород и увеличивает степень водонасыщения (табл. 3).



Рис. 4. Кварц-алунитовый метасоматит

Таким образом, метасоматические процессы, протекающие в горных породах, связанные или не связанные с процессами рудообразования, приводят к полному или частичному их преобразованию. При этом происходит изменение минерального состава и структурно-текстурных особенностей, что влечет за собой изменение физико-механических свойств горных пород. Направленность процесса, его химизм, температура, кислотность раствора и глубинность развития определяют характер преобразования минерального состава и физико-механических свойств. Наиболее прочными породами для условий месторождения Светлое являются вторичные кварциты и кварц-алунитовые, диккит-кварцевые метасоматиты, а породы, окаймляющие их, являются малопрочными и обладают способностью размокать. Установленные закономерности являются важным моментом при решении вопроса о вскрытии полезного ископаемого, степени, характере и типе крепления горных выработок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абатурова И. В. Оценка и прогноз инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых горно-складчатых областей: науч. издание. Екатеринбург: Уральский центр академического обслуживания, 2011. 226 с.
2. Алексеев А. Ф., Грязнов О. Н. Физико-механические свойства метасоматитов серпентинитовой формации Баженовского месторождения хризотил-асбеста // Инженерная геология. 2013. № 4. С. 49–54.
3. Грязнов О. Н. Карты рудоносных метасоматических образований как основа прогнозной оценки рудных районов, полей и месторождений // Известия Уральского государственного горного университета. 2001. № 25–26. С. 34–40.
4. Грязнов О. Н., Гуман О. М., Ворожев А. В. Инженерная петрология метасоматитов медноколчеданных и скарново-магнетитовых месторождений Урала // Изв. вузов. Горный журнал. 2013. № 8. С. 147–155.
5. Демина Ю. А., Фролова Ю. В., Пискунов В. В., Потрясаев И. И. Инженерно-геологические особенности вмещающих пород Любавинского золоторудного месторождения (Забайкальский край) // Инженерная геология. 2013. № 1. С. 28–37.
6. Жариков В. А., Русинов В. Л. Метасоматизм и метасоматические породы. М.: Научный мир, 1998. 492 с.
7. Рыльникова М. В., Емельяненко Е. А., Маннанов Р. Ш., Иванов А. А., Сараскин А. В. Обоснование методов управления свойствами метасоматически измененных пород медноколчеданных месторождений // ГИАБ. 2000. Т. 10. С. 28–31.
8. Фролова Ю. В., Ладьгин В. М., Рычагов С. Н. Инженерно-геологические особенности гидротермально-метасоматических пород Камчатки и Курильских островов // Инженерная геология. 2011. № 1. С. 48–62.

9. Шанина В. В., Бычков А. Ю. Результаты экспериментальных исследований изменений в составе, строении и свойствах вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород при гидротермальных процессах // Инженерная геология. 2013. № 1. С. 34–46.

10. Абатурова И. В. Прогноз инженерно-геологических условий отработки месторождений твердых полезных ископаемых на стадии изучения методом аналогий // Литосфера. 2009. № 5. С. 99–106.

Поступила в редакцию 30 октября 2017 года

REGULARITIES IN THE FORMATION OF PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF ROCK AT GOLD ORE FIELDS

Abaturova I. V., Savintsev I. A., Borisikhina O. A., Kozlov V. S. – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: AbaturovaIV@gingeo.ru

The article considers some specific peculiarities of metasomatically altered rock of Svetloye gold and silver field, which is situated in Okhotsk region of Khabarovsk Territory. Enclosing rock of ore zones of the field under consideration are lava and tuff of andesite and andesite-dacitic, which are altered in all parts in the result of hydrothermal-metasomatic processes. At the field the following types of metasomatism are displayed: propylitization, secondary silification, and argillization. Each type is characterized by own origination conditions – alkali composition of hydrothermal fluids and the temperature of their origination. The characteristics of physical and mechanical properties of field rock is examined, the regularities in strength characteristics reduction are defined by means of “weakening” minerals presence in rock, the regularities in the alternation of properties depending on the type of metasomatism and the distribution of minerals in the cut of the field. With the purpose of defining the peculiarities of physical and mechanical properties alternation, the analysis of the results of field rock mineral composition and physical and mechanical properties determination is fulfilled. The regularities stated are important at the solution of the problem of the mineral stripping, the degree, character, and type of mine workings support.

Key words: physical and mechanical properties of rock; metasomatically altered rock; metasomatism stages; gold and silver field; propylitization; secondary silification; argillization.

REFERENCES

1. Abaturova I. V. *Otsenka i prognoz inzhenerno-geologicheskikh uslovii mestorozhdenii tverdykh poleznykh iskopaemykh gorno-skladchatykh oblastei: nauch. izdanie* [Estimation and forecast of engineering and geological conditions of the deposits of solid minerals of mountain-orogenic regions]. Ekaterinburg, UTsAO Publ., 2011. 226 p.
2. Alekseev A. F., Griaznov O. N. [Physical and mechanical properties of metasomatites of serpentine formation at Bazhenovsky chrysotile-asbestos deposit]. *Inzhenernaia geologiya – Engineering Geology*, 2013, no. 4, pp. 49–54. (In Russ.)
3. Griaznov O. N. [Maps of ore bearing metasomatite formations as the basis for the forecasting estimation of ore regions, fields, and deposits]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta – News of the Ural State Mining University*, 2001, no. 25–26, pp. 34–40. (In Russ.)
4. Griaznov O. N., Guman O. M., Vorozhev A. V. [Engineering petrology of metasomatites of chalcopryrite and magnetite-skarn deposits of the Urals]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2013, no. 8, pp. 147–155. (In Russ.)
5. Demina Iu. A., Frolova Iu. V., Piskunov V. V., Potriasaev I. I. [Engineering and geological peculiarities of enclosing rock of Liubavinsky gold ore field (the Zabaikalaye Territory)]. *Inzhenernaia geologiya – Engineering Geology*, 2013, no. 1, pp. 28–37. (In Russ.)
6. Zharikov V. A., Rusinov V. L. *Metasomatizm i metasomaticheskie porody* [Metasomatism and metasomatite rock]. Moscow, Nauchnyi mir Publ., 1998. 492 p.
7. Ryl'nikova M. V., Emel'ianenko E. A., Mannanov R. Sh., Ivanov A. A., Saraskin A. V. [The substantiation of the methods of controlling the properties of metasomatically altered rock of copper-pyrite deposits]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2000, vol. 10, pp. 28–31. (In Russ.)
8. Frolova Iu. V., Ladygin V. M., Rychagov S. N. [Engineering and geological peculiarities of hydrothermal and metasomatite rock of Kamchatka and Kurile islands]. *Inzhenernaia geologiya – Engineering Geology*, 2011, no. 1, pp. 48–62. (In Russ.)
9. Shanina V. V., Bychkov A. Iu. [The results of experimental investigations of alternations in the composition, structure, and properties of volcanogenic and volcanogenic-sedimentary rock in hydrothermal processes]. *Inzhenernaia geologiya – Engineering Geology*, 2013, no. 1, pp. 34–46. (In Russ.)
10. Abaturova I. V. [The forecast of engineering and geological conditions of mining the deposit of solid minerals at the stage of examination by the method of analogies]. *Litosfera – Lithosphere*, 2009, no. 5, pp. 99–106. (In Russ.)

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ДЛЯ РАЙОНОВ РАЗВИТИЯ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

КАЮМОВА А. Н.

Статья посвящена особенностям экспертизы промышленной безопасности документации для строительства в районах развития опасных природных и техноприродных процессов. Эти процессы обусловлены интенсивным хозяйственным освоением территорий и отличаются большим многообразием. Для обеспечения безопасности нового строительства и эксплуатации зданий и сооружений в районах развития опасных процессов предъявляются дополнительные требования к проведению инженерных изысканий. Организации, производящие изыскательские работы, делают акцент на проведении полевых работ и получении результатов измерений. В то же время интерпретационная часть проведенных работ – влияние полученных измерений на динамику развития опасных природных и техноприродных процессов, рекомендации по учету полученных результатов при строительстве, разработка дальнейшей стратегии для наблюдения за опасными процессами – зачастую полностью отсутствует. Особенно актуальным становится этот вопрос для опасных производственных объектов, документация на строительство которых подлежит экспертизе промышленной безопасности. Экспертиза устанавливает соответствие представленной документации требованиям нормативных документов. Обнаруженные при экспертизе промышленной безопасности недоработки материалов изысканий подлежат обсуждению с последующей выработкой стратегии недопущения подобных ошибок. Рассмотренные пути решения этого вопроса являются обязательными для обеспечения безопасности строительства новых или уже эксплуатируемых объектов в районах развития опасных природных и техноприродных процессов.

Ключевые слова: экспертиза промышленной безопасности; опасный производственный объект; природный процесс; техноприродный процесс; инженерные изыскания.

Одной из основных задач экспертной деятельности является установление соответствия документации, поступившей на экспертизу, требованиям промышленной безопасности. На фоне изменяющегося законодательства и повышения ответственности экспертов, а также по результатам уже проведенных экспертиз можно сделать вывод, что предварительная работа на стадии проектирования опасного производственного объекта должна подвергаться более тщательному анализу. Зачастую проекты содержат неполную информацию о проведенных работах или полученная информация не подвергается подробному анализу. В частности, в большинстве случаев при проектировании опасных производственных объектов в документации, поступающей на экспертизу, не учитывается влияние современной геодинамики приповерхностной части литосферы и земной поверхности. Во многом окончательный результат, а соответственно и учет всех факторов,

оказывающих влияние на безопасность, зависит от экспертов. Современные геодинамические движения являются одним из решающих факторов, определяющих устойчивость и безопасность зданий и сооружений различного назначения. Учет экспертом всех требований безопасности без исключения на начальной стадии подготовки документации обязателен, особенно при создании и эксплуатации опасных производственных объектов. В настоящее время роль экспертизы промышленной безопасности увеличивается, поэтому проведение качественной экспертизы позволяет оценить опасность современных геодинамических движений и своевременно принять меры по снижению риска и тяжести последствий возникновения техногенных катастроф [1].

В соответствии с требованиями федерального закона от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов (ОПО)» определен перечень объектов, подлежащих экспертизе. Это проектная документация на капитальный ремонт, техническое перевооружение, консервацию и ликвидацию ОПО, технические устройства, здания и сооружения, декларация промышленной безопасности, обоснование безопасности ОПО. Экспертиза промышленной безопасности предназначена для оценки соответствия объекта предъявляемым к нему требованиям промышленной безопасности. Требования промышленной безопасности для проектной документации определяются целым комплексом федеральных норм и правил, а также нормативно-технической документацией.

На этапе подготовки проектной документации проводятся инженерные изыскания с целью изучения природных условий и факторов техногенного воздействия для подготовки данных по обоснованию материалов для строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

СП 47.13330.2012 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96» трактует инженерные изыскания для строительства как вид градостроительной деятельности, осуществляемой с целью изучения природных условий и факторов техногенного воздействия для подготовки данных по обоснованию материалов для строительства и эксплуатации зданий или сооружений.

Инженерные изыскания для подготовки проектной документации должны обеспечивать получение:

- исходных данных для расчета оснований, фундаментов и конструкций;
- материалов о природных условиях территории, на которой будут осуществляться строительство, реконструкция объектов капитального строительства, и факторах техногенного воздействия на окружающую среду, о прогнозе их изменения;
- материалов для оценки опасных процессов и явлений, разработки проекта инженерной защиты и мероприятий по охране окружающей среды объекта.

Ранее одним из основных нормативных документов, регулирующих изыскательскую деятельность для строительства, был СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». На базе его обязательных положений разработан СП 11-104-97 «Инженерно-геодезические изыскания для строительства», глава 10 которого регламентирует проведение инженерно-геодезических изысканий в районах развития опасных природных и техноприродных процессов. Согласно этой главе, к ним относятся: склоновые процессы; карст; переработка берегов рек, морей, озер и водохранилищ; подвижки земной поверхности в районах разрывных тектонических смещений; деформации (смещения, наклоны) земной поверхности на подрабатываемых и подтопляемых территориях.

В настоящее время СП 47.13330.2012 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96» учитывает опасные природные и техногенные условия территории уже на подготовительной (начальной) стадии производства работ при подготовке программы инженерно-геодезических изысканий в соответствии с требованиями технического задания заказчика. Задание на выполнение инженерных изысканий для подготовки проектной документации помимо необходимой информации должно содержать требования оценки и прогноза возможных изменений природных и техногенных условий территории изысканий.

В этом же нормативном документе есть указания на то, что по отдельному заданию для строительства особо опасных и технически сложных объектов могут выполняться геодинамические исследования, включающие создание специальных геодезических сетей и наблюдения за современными вертикальными и горизонтальными движениями земной поверхности на геодинамических полигонах. Градостроительный кодекс РФ относит опасные производственные объекты к особо опасным и технически сложным объектам (ст. 48.1).

Дополнительно предусмотрено, что в случае выявления в процессе инженерных изысканий непредвиденных сложных или опасных природных и техногенных условий, которые могут оказать неблагоприятное влияние на строительство и эксплуатацию сооружений и среду обитания, исполнитель инженерных изысканий должен поставить застройщика или технического заказчика в известность о необходимости дополнительного изучения и внесения изменений и дополнений в программу инженерных изысканий и в договор в части изменения объемов, видов и методов работ, увеличения продолжительности и(или) стоимости инженерных изысканий.

В действительности специалисты изыскательских организаций, а тем более заказчики работ не всегда обладают специальными знаниями для правильной постановки задачи с указанием полного перечня работ для обеспечения промышленной безопасности проектируемого объекта. Каким образом это проявляется?

Исследование вопроса особенностей экспертизы промышленной безопасности документации выявило отсутствие интерпретационной части у большинства представленных на экспертизу результатов изысканий. В нормативной документации регламентирован состав технического отчета по результатам инженерно-геодезических изысканий, который должен содержать:

- инженерную цифровую модель местности с данными и оценками развития опасных процессов на территории изысканий;
- контроль устойчивости опорных пунктов геодезической сети и выбор исходных геодезических пунктов при уравнивании;
- конечные результаты наблюдений (горизонтальные и вертикальные смещения и т. п.) и другие данные о геодезических измерениях на объекте с оценкой точности в виде таблиц, графиков, профилей и др.;
- заключение о качестве конечных результатов геодезических наблюдений, их сравнение с расчетными результатами;
- заключение о характеристиках и интенсивности процессов;
- предложения по совершенствованию методов и технологии дальнейшего проведения инженерных изысканий.

Такой технический отчет составляют с привлечением специалистов, выполняющих инженерно-геологические (инженерно-геотехнические) изыскания.

На практике многие из указанных положений отсутствуют. Изыскательские организации не выполняют работы по диагностике геодинамической активности

и сравнению параметров геодинамических движений и деформаций с допустимыми критериями объекта. Главные функции геодезических наблюдений: выявление разрывных тектонических смещений, получение количественных характеристик тектонических движений, оценка и прогнозирование их развития, а также наблюдение за разрывными тектоническими смещениями в период строительства и эксплуатации опасных производственных объектов для обеспечения условий их безаварийного функционирования – не выполняются в полном объеме.

При исследовании закономерностей формирования катастрофических геомеханических процессов для обеспечения безопасности объектов недропользования используются геодезические и геофизические методы. Исследованиями установлено, что ведущая роль в развитии широкого класса катастроф при недропользовании принадлежит современной геодинамической подвижности массива горных пород и его земной поверхности. Более подробно механизм формирования и реализации катастроф при недропользовании описан в трудах А. Д. Сашурина [2–4].

Анализ и интерпретация результатов инженерно-геодезических изысканий является важным этапом в исследовании опасных природных и техноприродных процессов, предоставляющим возможность прогнозирования дальнейшего поведения массива с учетом современных геодинамических движений. Есть много примеров строительства объектов разного назначения, созданных без учета геодинамической безопасности. Это разрушение атомного реактора Чернобыльской АЭС (1986 г.), обрушение кровли аквапарка «Трансвааль» в Москве (2004 г.), затопление калийного рудника в г. Березники (2006 г.), авария на Саяно-Шушенской ГЭС (2009 г.) [4], разрушение моста через Транссибирскую железную дорогу в г. Екатеринбурге (2007 г.) [5–6]. Несмотря на то что все перечисленные аварии по официальным версиям имеют свои разные причины, их объединяет одна исходная – воздействие современных геодинамических движений, диагностирование которых предусмотрено на стадии проведения проектных работ в соответствии с требованиями нормативных документов.

После вступления в силу с 1 июля 2017 г. СП 47.13330.2016, представляющих собой пересмотр СНиПа 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения», изыскателям в своей работе необходимо будет руководствоваться обязательными пунктами СП 47.13330.2012 и добровольными пунктами свода правил 2016 года. В этом случае определен следующий порядок выполнения инженерных изысканий для подготовки проектной документации в районах развития опасных природных и техноприродных процессов.

На первом этапе должны быть получены материалы и данные о природных условиях территории выбранной площадки и факторах техногенного воздействия для составления качественного прогноза развития опасных природных процессов и явлений и их воздействия на проектируемые здания и сооружения.

На втором этапе уточняются характеристики природных условий в пределах сферы взаимодействия зданий и сооружений с окружающей средой с учетом принятых конструктивных решений. Результаты второго этапа выполнения инженерных изысканий должны обеспечивать получение необходимых материалов для следующего:

- уточнения расчетных характеристик природных условий, полученных при инженерных изысканиях на первом этапе, и повышения их достоверности;
- расчета оснований, фундаментов и конструкций зданий и сооружений;
- составления количественного прогноза развития опасных природных процессов и явлений и их воздействия на проектируемые здания и сооружения.

В настоящее время для проведения особо важных работ на ответственных и опасных объектах на практике применяется так называемая схема предэкспертизы результатов изысканий, проведенных сторонней экспертной организацией на предмет соответствия требованиям, регламентирующим эту процедуру. Уже после положительного решения предварительной экспертизы документация передается на государственную экспертизу проектной документации и результатов инженерных изысканий. Если поставленная проблема существует из-за отсутствия высококвалифицированного персонала для проведения необходимых камеральных работ и интерпретации полученных результатов, то возможно дополнительно рассмотреть варианты решения проблемы в области обучения персонала: изучение современного научного опыта в области геодинамической безопасности и повышение заинтересованности сотрудников к получению качественных результатов исследований.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что комплексная оценка результатов инженерных изысканий современной геодинамики для опасных производственных объектов определяется законодательно, но не всегда учитывается на практике. Анализ документации, поступающей на экспертизу, показывает недостаточность проработки результатов изысканий для прогноза развития опасных природных и техноприродных процессов, а иногда и полное отсутствие таковой. В целях обеспечения безопасности нового строительства или эксплуатации уже существующих опасных производственных объектов необходимо проведение диагностики современной геодинамической активности осваиваемого и эксплуатируемого участка недр для оценки современных геодинамических движений и своевременного принятия мер по снижению риска и тяжести последствий возникновения катастроф.

Исследования выполнены в рамках Госзадания 007-01398-1700. Тема № 0405-2015-0012. Тема 3.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каюмова А. Н. Роль экспертизы промышленной безопасности в снижении риска техногенных катастроф // Геомеханика в горном деле: докл. науч.-техн. конф. с междунар. уч. (1–3 октября 2013 г.). Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. С. 240–243.
2. Сашурин А. Д., Усанов С. В., Мельник В. В., Балек А. Е. Истоки формирования катастрофических геомеханических процессов на объектах недропользования // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: сб. докл. V Междунар. науч.-техн. конф. (5–13 апреля 2016 г.). Екатеринбург: УГГУ, 2016. С. 166–172.
3. Сашурин А. Д. Современная геодинамика и безопасность объектов недропользования // ГИАБ. 2010. № 10. С. 329–332.
4. Сашурин А. Д. Роль современной геодинамики в развитии природно-техногенных катастроф в среде недропользования // Геомеханика в горном деле: докл. науч.-техн. конф. (14–15 октября 2009 г.). Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2009. С. 158–164.
5. Сашурин А. Д., Панжина Н. А. Влияние земных разломов на прочностные характеристики зданий и сооружений // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2010. № 1. С. 69–72.
6. Сашурин А. Д. Почему мост «опустил крылья» // Технадзор. 2009. № 8. С. 20–22.

Поступила в редакцию 12 сентября 2017 года

SOME PECULIARITIES IN THE EXAMINATION OF INDUSTRIAL SAFETY OF DOCUMENTATION FOR CONSTRUCTION IN THE AREAS OF HAZARDOUS NATURAL AND TECHNO-NATURAL PROCESSES DEVELOPMENT

Kaiumova A. N. – Institute of Mining, the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: alfkaa@mail.ru

This article is devoted to some peculiarities in the examination of industrial safety of documentation for construction in the areas of hazardous natural and techno-natural processes development. These processes are caused by intensive economic development of territories and are characterized by great variety. To ensure the safety of new construction and

exploitation of buildings and structures in the areas of hazardous processes development, additional requirements are imposed for the realization of engineering investigations. The organizations, performing investigations, focus on conducting fieldwork and obtaining measurement results. At the same time, the interpretation part of the work done, namely the influence of the measurements obtained on the dynamics of hazardous natural and techno-natural processes development, recommendations for accounting the results obtained during construction, and the development of a further strategy for monitoring dangerous processes are often completely absent. Particularly relevant is the issue for hazardous production facilities, the documentation for the construction of which is subject to industrial safety examination. Examination establishes compliance of the submitted documentation with the requirements of regulatory documents. The deficiencies in research investigations discovered during the examination of industrial safety are subject to discussion and further development of a strategy to prevent such errors. The considered ways of solving this issue are mandatory to provide safety of new construction or already operated facilities in the areas of hazardous geological and engineering-geological processes development.

Key words: industrial safety examination; hazardous production facility; natural process; techno-natural process; engineering investigations.

REFERENCES

1. Kaiumova A. N. [The role of industrial safety examination in the reduction of technogenic catastrophes risk]. *Geomekhanika v gornom dele: dokl. nauch.-tekhn. konf. s mezhdunar. uch. (1–3 oktiabria 2013 g.)* [Proc. of the Research-to-Pract. Conf. with internat. particip. “Geomechanics in mining” (1st–3rd October, 2013)]. Ekaterinburg, IM UB RAS Publ., 2012, pp. 240–243. (In Russ.)
 2. Sashurin A. D., Usanov S. V., Mel'nik V. V., Balek A. E. [The origins of catastrophic geomechanical processes at the sites of subsoil use]. *Innovatsionnye geotekhnologii pri razrabotke rudnykh i nerudnykh mestorozhdenii: sb. dokl. V Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. (5–13 apreliia 2016 g.)* [Proc. of the 5th Int. Research-to-Pract. Conf. “Innovative geotechnologies under the development of ore and nonmetallic deposits” (5th–13th April, 2016)]. Ekaterinburg, UrSMU Publ., 2016, pp. 166–172. (In Russ.)
 3. Sashurin A. D. [Modern geodynamics and subsoil use facilities safety]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2010, no. 10, pp. 329–332. (In Russ.)
 4. Sashurin A. D. [The role of modern geodynamics in the development of natural-technogenic catastrophes in the sphere of subsoil use]. *Geomekhanika v gornom dele: dokl. nauch.-tekhn. konf. (14–15 oktiabria 2009 g.)* [Proc. of the Research-to-Pract. Conf. “Geomechanics in mining” (14th–15th October, 2009)]. Ekaterinburg, IM UB RAS Publ., 2009, pp. 158–164. (In Russ.)
 5. Sashurin A. D., Panzhina N. A. [The influence of terrestrial faults on the strength characteristics of buildings and structures]. *Akademicheskii vestnik UralNIIProekt RAASN – Academic Bulletin of the Ural Scientific Research and Design Institute of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences*, 2010, no. 1, pp. 69–72. (In Russ.)
 6. Sashurin A. D. [Why has the bridge “thrown up its wings”]. *Tekhnadzor – Engineering Supervision*, 2009, no. 8, pp. 20–22. (In Russ.)
-

АССОЦИАТИВНЫЕ СВЯЗИ В СФЕРЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

ЛЕБЕДЕВ Ю. В., КОКАРЕВ К. В., АРЕФЬЕВ С. А., КРЫЛОВ В. Г.

В статье рассматриваются вопросы анализа ассоциативных связей в сфере недропользования, помогающих определить и объяснить природу отношений между понятиями в рамках системы недропользования. Представлен анализ причинно-следственной связи между междисциплинарным подходом при решении проблем недропользования и возможностью действительно комплексного решения эколого-экономических и социальных задач; дано объяснение этой связи на практических примерах (месторождение медно-никелевых руд в Воронежской области и месторождение медных руд около г. Челябинска). Рассмотрена причинно-следственная связь между признанием высшим приоритетом природного (экологического) фактора и возможной практической реализацией концепции устойчивого недропользования; дано объяснение такой реализации через иерархию управления недропользованием (концептуального, идеологического, политического и экономического). Изложен анализ причинно-следственной связи между степенью учета фактора времени и формированием экологических, социальных, экономических и технологических проблем в сфере недропользования. Рассмотрена ассоциативная связь между действием и результатом в сфере недропользования; объяснена причина отсутствия инноваций в сфере нефтеперерабатывающего комплекса и низкого уровня использования большинства ресурсов недропользования. Дан анализ связи между материалами (ресурсами недропользования) и потенциальной продукцией из них.

Ключевые слова: недропользование; ассоциативные связи; причина и следствие; действие и результат; материал и продукция; междисциплинарный подход; приоритет природного фактора; фактор времени; дисконтирование; распределение прибыли; рентабельность; глубина переработки ресурсов.

Современные научные положения (Концепция устойчивого развития – Рио-92, Йоханнесбург-2002, Рио+20, стратегия экологической безопасности, «зеленая» экономика) [1–3] предусматривают использование комплексного междисциплинарного подхода при решении эколого-экономических и социальных проблем недропользования [4–6].

Сложная экологическая (загрязнение и трансформация окружающей природной среды), экономическая (сокращение доступных запасов полезных ископаемых), социальная (рост активности гражданского общества) и политическая (развитие удаленных территорий с крупными месторождениями полезных ископаемых, наличие иностранных инвестиций) ситуация настоятельно требует глубокого анализа связей между природными, экономическими и социальными факторами в сфере недропользования.

Лебедев Юрий Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой геодезии и кадастров. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: taranova@ukr.net

Кокарев Константин Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: konstantin.kokarev@m.ursmu.ru

Арефьев Степан Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: arefevsa@yandex.ru

Крылов Виктор Гаврилович – старший преподаватель кафедры геодезии и кадастров. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.

Анализ ассоциативных связей помогает определить и объяснить природу взаимоотношений между понятиями в рамках системы недропользования: причиной и следствием; действием и местом; действием и результатом; инструментом и функциями; материалом и продукцией.

Результатом анализа ассоциативных связей является объяснение природы взаимодействия между понятиями в системе недропользования. В качестве объясняющих положений выступают законы (потоки энергии в природном и антропогенном каналах в районах недропользования [7]), закономерности (запасы полезных ископаемых (ПИ) исчерпаемы и невозобновляемы; ПИ комплексные, их свойства и условия индивидуальны, информация о них изменяется по мере освоения), тенденции (сохранение роста объемов добычи ПИ; ухудшение горнотехнических условий недропользования в связи с ростом глубины действующих карьеров и рудников; снижение содержания полезных компонентов в добываемом сырье; необходимость комплексного использования добываемого сырья [6]).

Результаты анализа нескольких причинно-следственных связей в сфере недропользования, а также ассоциативных связей между действием и результатом, между материалом и продукцией в сфере горнопромышленного комплекса приведены далее.

Причинно-следственные связи в сфере недропользования.

1. *Причина.* Отсутствие действительно комплексного междисциплинарного подхода при решении проблем недропользования.

Комплексное решение проблем в недропользовании связано с необходимостью использования междисциплинарного подхода. Обычно исследования с оценкой сценариев социально-экономического развития промышленных регионов носят узкодисциплинарный характер; научные работы и публикации рассматривают главным образом частные экономические, биологические или социальные проблемы территорий.

Следствие. Игнорирование экологического фактора и попытка решения проблемы обеспечения минеральными ресурсами промышленности в основном только технологическими способами не позволяют обосновать приемлемые условия компенсации выбывающих месторождений [8] и определить долговременные условия освоения новых месторождений Северного Урала с малоустойчивыми к внешним воздействиям экосистемами [9]. Упор на использование только экономических методов решения проблемы с преобладанием микроэкономических подходов с максимизацией доходов индивидуальных недропользователей привел к огромному накопительному экологическому вреду, в том числе и в виде техногенных месторождений (полигонов промышленных отходов).

Ориентация только на технико-экономические обоснования эффективности использования отдельных техногенных месторождений не позволяет, во-первых, оценить долговременные экологические и социальные последствия отработки таких месторождений, а во-вторых, охватить проблему в целом и определить приоритет использования этих месторождений. Существующая тенденция увеличения затрат на охрану окружающей среды без экологизации экономики (без включений экологических последствий хозяйствования в сферу экономики) не ведет к улучшению состояния воздуха атмосферы, растительного покрова, воды, почв, территории [10].

Разработка сценариев развития недропользования на основе только технологических и экономических факторов не позволяет обосновать выход из трудностей развития отрасли.

Заканчивающиеся запасы доступных природных ресурсов, загрязнение воздуха и территории, нарушение компонентов окружающей среды (растительного

покрова, почвы, воды), не уменьшающийся уровень заболеваний людей сводят на нет все благие ожидания от стратегических планов развития недропользования.

Объяснение. В данный момент времени ход существующих междисциплинарных исследований технологических и экологических проблем позволяет определить рациональные варианты по частным (не умаляя их значения) критериям: конкретным технологическим решениям в соответствии с технико-экономическими показателями эффективности (главным образом, по минимуму эксплуатационных затрат); конкретным экологическим мероприятиям в соответствии с нормами ПДК (иногда с оценкой вреда за сверхнормативное загрязнение). Общий недостаток выполняемых работ заключается в отсутствии действительно комплексного решения экологических, экономических и социальных проблем; междисциплинарные исследования должны давать компромиссные решения в сложных системах *экология–социология–экономика*. Такой подход позволил решить социальные и эколого-экономические проблемы угольной отрасли в Польше и Испании.

2. *Причина.* Отсутствие статуса высшего приоритета природного (экологического) фактора в сознании общества при недропользовании и строгой очередности стратегических приоритетов.

Высшим приоритетом при комплексном (междисциплинарном) решении проблем недропользования является первостепенный учет природного фактора [11, 12]. Без природной (биологической) основы исчезают базисные основания для формирования устойчивого развития территории (в том числе для развития недропользования). Свежий воздух, чистую воду, безопасное питание, эстетическую среду – то, что составляет условие существования общества, обеспечивает только биосфера; научно-технический прогресс (в том числе в недропользовании) не может обеспечить перечисленные блага.

Следствие. Именно из-за игнорирования стратегического приоритета экологической сферы возникли неразрешенные проблемы при предполагавшейся разработке месторождения никеля в Воронежской области и при реализации плана строительства Томинского ГОКа. В первом случае при рассмотрении инновационного проекта выявлено игнорирование экологического фактора (в частности, уничтожение 350 тыс. т чернозема [13]), во втором случае пока игнорируются риски различных экологических последствий [14].

Важно формирование в сознании общества тезиса (положения) о том, что без природной (экологической) основы исчезают все основания для постановки вопроса о комплексном решении экономических и социальных проблем, а биологический аспект позволяет определить границы экологического «коридора» хозяйствования, в том числе «коридора» устойчивого (оптимального) недропользования. Стратегические приоритеты должны иметь четкий порядок очередности: экологические, социальные и, наконец, экономические. Такой порядок практически выражается в иерархии уровней управления – концептуального, идеологического, политического (нормативно-правового поля) и экономического.

Концептуальный уровень является основополагающим звеном управления, поскольку задает основные целевые установки на длительный период времени. Они заключаются в ведении хозяйства в границах обоснованного «коридора» допустимого изъятия из окружающей природной среды ее ресурсов [15] и негативного влияния на нее (воздух атмосферы, растительный покров, воду, почву, ландшафт). Идеологический уровень определяет главное направление и пути реализации концептуальных установок в данном виде хозяйственной деятельности, т. е. в экологизации общественного сознания, в более полной и глубокой переработке добываемых минеральных ресурсов, в сознательном, а не только ры-

ночном формировании и регулировании потребительского спроса на минеральные ресурсы, металлы и изделия из них. Политический уровень управления освоением минеральных ресурсов, исходя из концептуальной установки и идеологического уровня управления, полагает формирование соответствующего нормативно-правового поля [16]. Экономический уровень комплексного решения эколого-экономических и социальных проблем при освоении минеральных ресурсов является тем звеном, где концептуальные, идеологические и политические установки (соответствующее нормативно-правовое поле) реализуются в экономической сфере. В экономике недропользования взаимосвязаны интересы индивидуальных недропользователей и общественные предпочтения.

3. *Причина.* Неучет фактора времени в сфере недропользования.

Фактор времени выражается в учете инфляции, рисков и дисконтировании. Учет инфляции стал обыденным действием в экономике недропользования. Недостаточный (ограниченный) учет рисков возникновения различных негативных явлений при недропользовании вызывает большие эколого-экономические и социальные ущербы. Дисконтирование экономических показателей в недропользовании пока ограничивается рассмотрением периодов непосредственной разработки месторождений (краткосрочных периодов) без определения долгосрочных последствий (главным образом, экологических).

Следствие. Именно неучет фактора времени в сфере недропользования формирует весь «букет» современных экологических (технические землетрясения, трансформация, загрязнение и разрушение природных объектов), социальных (низкий уровень здоровья населения), экономических и технологических проблем (устаревшие технологии, отсутствие современного машиностроения для недропользования).

Объяснение. Главной трудностью при решении проблемы недропользования является проблема «оптимального общественного управления запасами исчерпываемых, но жизненно важных ресурсов». Эти вопросы еще в 1931 г. начал рассматривать Х. Хотеллинг [17]. Нобелевский лауреат Р. Солоу развил эти идеи и разработал «экономическую теорию ресурсов» [18].

Важным вопросом при организации недропользования является соотношение рыночных ставок дисконтирования эффектов индивидуальных недропользователей (рыночные ставки) и ставок дисконтирования общественных предпочтений.

Выбор общественной ставки дисконта есть политическое решение (политический или нормативно-правовой уровень управления недропользованием), поскольку она влияет на распределение ресурсов недропользования между поколениями. Ставки дисконтирования определяют динамику устойчивого недропользования, они отражают растущий в мире дефицит полезных ископаемых и характер распределения использования остающихся ресурсов. Можно полагать, что думающие о будущем индивидуальные недропользователи дисконтируют собственные экономические интересы по той же ставке, по какой общество должно дисконтировать полезность и потребление полезных ресурсов исходя из устойчивости развития территории. Однако в существующей экономической сфере недропользования рыночные ставки дисконта систематически превышают общественную ставку дисконта.

4. Действие и результаты в сфере недропользования.

Действие. В России сформировался специфический характер использования прибыли в сфере недропользования. По данным В. И. Кашина [19], в нефтяном комплексе России объем чистой прибыли за 2007–2011 гг. составлял 4,9 трлн р., из них 27 % (1,3 трлн р.) было израсходовано на дивиденды (выплаты после налогообложения) и только 6 % (0,3 трлн р.) на инвестиции. По данным М. Ч. За-

лиханова [20], в 2014 г. среднее ежемесячное вознаграждение топ-менеджеров основных нефтедобывающих компаний в РФ равнялось 11–17 млн р. В настоящее время подобная ситуация использования прибыли в сфере недропользования в России сохраняется.

Результат. Результатом специфического характера использования прибыли в сфере недропользования является отсутствие необходимых инвестиций в развитие нефтеперерабатывающего комплекса России и низкий уровень использования большей части ресурсов недропользования. Так, за период с 1991 г. (за 25 лет) в РФ построен только один современный нефтеперерабатывающий завод (ПАО «Татнефть», при поддержке властей Татарстана, выделено 800 млн долл.). В настоящее время в России только на 14 из 29 нефтеперерабатывающих заводов осуществляется эффективное производство по глубокой переработке нефти – крекинг [20].

Капитальные вложения в производство условной единицы высокотехнологичной продукции нефтегазового сектора в странах Европейского союза и Азиатско-Тихоокеанского региона соответственно в 5 и в 7–9 раз больше, чем в России.

Объяснение, комментарии и решение. Ключевым инструментом при корректировке характера использования прибыли недропользования является регулирование его рентабельности. В настоящее время в недропользовании России существуют высокие показатели рентабельности (ТНК-ВР – 14,91 %, Роснефть – 13,54 %, Газпром – 13,24 %). Для сравнения, рентабельность иностранных нефтяных компаний в 2,0–2,5 раза ниже, чем российских (Exxon Mobil – 8,79 %, ВР – 6,84 %, Royal Dutch Shell – 5,8 %). В СССР рентабельность недродобывающего сектора составляла для углеводородного сырья 8 %, для других полезных ископаемых – 12 %; вся прибыль, т. е. горная рента за вычетом этих процентов, перечислялась в бюджет. В настоящее время в Российской Федерации, по данным Минэкономразвития РФ, 20 % прибыли идет в доход государства, а 80 % остается в нефтяных компаниях, в то время как в развитых нефтедобывающих странах наблюдается почти обратное соотношение [1].

Рентабельность в системе устойчивой экономики должна соотноситься с реальной инфляцией. По предложению Ю. Болдырева [21], она может лишь незначительно превышать инфляцию, но быть гарантированной.

С позиции общественных интересов недропользование должно быть основой инфраструктуры для производства товаров с высокой добавленной стоимостью (а не для получения максимальной прибыли в данном секторе экономики). Это положение обеспечивается регулированием рентабельности недродобычи.

О необходимости корректировки характера использования прибыли в сфере недропользования в России говорит лауреат Нобелевской премии по экономике К. Писсаридес [22]. Он подчеркивает, что нефтяные доходы должны быть вложены в инвестиционный фонд, направляющий средства на повышение конкурентоспособности российской экономики.

5. Материал и продукция в сфере недропользования.

Материал – это нефть и природный газ. Главная задача развития нефтеперерабатывающего комплекса – увеличивать глубину переработки нефти и расширять номенклатуру производимой из нее продукции. Средняя глубина переработки нефти в РФ в 2014 г. составила 72,4 %, в 2015 г. – 74,1 % (для сравнения, Ирак перерабатывает более 90 % добываемой нефти).

Продукция. Нефть – это не только производство бензина и дизельного топлива, но и ценнейшее сырье для производства всей существующей в мире полимерной продукции. Согласно Л. Г. Ивашову и Е. А. Гусарову [20], добываемый в России природный газ продается за рубеж в среднем по 50 долл./т. Если же его

перерабатывать в стране, то получается этан, затем этилен стоимостью уже 600–700 долл./т, являющийся основой для выработки полиэтилена, который в свою очередь стоит уже 1400–1500 долл./т. Его можно продавать за рубеж или использовать для производства готовых и востребованных рынком изделий, а эта продукция комплектно стоит 3000–5000 долл. за метрическую тонну ресурса.

Объяснение данной ассоциативной связи. Необходимо осознание обществом и властью важности скорейшего создания эффективного нефтеперерабатывающего сектора в стране. Эта задача относится к концептуальному и идеологическому уровням управления устойчивым недропользованием. Однако в настоящее время, по мнению нефтяных компаний, создание новых мощностей по нефтепереработке можно отложить «на потом». В этом случае на рынках сбыта и логистики нефтепродуктов РФ придется конкурировать с крупнейшими транснациональными корпорациями, имеющими поддержку на государственном и международном уровнях. Нефтедобывающие страны по нарастающей вкладывают средства в развитие глубокой переработки нефти и газа и ориентируются на растущий спрос на продукцию более высоких переделов на внутреннем и внешнем рынках. Так, Китай обеспечивает свой спрос на нефтегазовое сырье на 60 % за счет импорта, при этом поставляет в РФ товаров глубокой переработки нефти и газа (химических волокон, пластмасс, изделий из каучука, материалов для дорожного покрытия) в 2,5 раза больше (по объему), чем импортирует из РФ. Откладывание «на потом» создания новых мощностей по переработке в РФ может привести к ситуации, когда внешний рынок будет уже полностью занят.

Таким образом, анализ ассоциативных связей в сфере недропользования, а именно определение и объяснение природы отношений между такими понятиями, как причины и следствия, действия и результаты, материалы и продукция, позволяет прогнозировать пути инновационного развития и осуществлять выработку опережающих рекомендаций по созданию перспективных научно-технологических решений в сфере недропользования. На Урале основной целевой установкой управления недропользованием является поддержание и развитие сырьевой базы металлургии в границах обоснованного «коридора» допустимого изъятия из окружающей среды ее ресурсов и минимального негативного влияния на нее (воздух атмосферы, растительный покров, воду, почву, ландшафт).

Статья подготовлена при поддержке и в рамках гранта РФФИ № 17-06-00433.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наше общее будущее: докл. междунар. комиссии по окружающей среде и развитию: пер. с англ. М.: Прогресс, 1989. 376 с.
2. Зубаков В. А. Йоханнесбургский саммит ООН: анализ итогов // Вестник РАН. 2003. № 11. С. 1010–1015.
3. Будущее, которого мы хотим: итоговой документ Конф. ООН по устойчивому развитию. Бразилия, Рио-де-Жанейро. 2012. 62 с.
4. Каплунов Д. Р. Теоретические основы проектирования освоения недр: становление и развитие // Горный журнал. 2014. № 4. С. 49–51.
5. Пучков Л. А. Прогноз минерально-сырьевого потребления при бескризисном развитии экономики // Горный журнал. 2014. № 4. С. 45–48.
6. Яковлев В. Л., Корнилов С. В. Методологические особенности освоения недр на современном этапе // Вестник УрО РАН. 2013. № 4(46). С. 11–18.
7. Горшков В. Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНТИ, 1995. XXXVIII. 472 с.
8. Лебедев Ю. В., Лебедева Т. А., Алексеева Н. Г., Стаканова Л. П., Лебедев М. Ю. Экологизация экономического мегапроекта «Урал промышленный – Урал полярный» // Экономика природопользования. 2010. № 2. С. 97–109.
9. Пахомов В. П., Атаманова Е. А. Теоретико-методологические основы пространственного недропользования. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2011. 206 с.
10. Олдук П. Г. Равновесие природопользования. Взгляд экономиста. Новосибирск: Наука, 1983. 128 с.
11. От переходного периода к трансформации: устойчивое и всеобъемлющее развитие в Европе и Центральной Азии: докл. Европ. экон. комиссии ООН. Нью-Йорк, Женева. 2012. 156 с.

12. Юрлова Н. А. Экологические аспекты при проектировании объектов и предприятий горно-добывающего комплекса // Горный журнал. 2010. № 10. С. 101–104.
13. Чернышев Н. М. Как защитить Хопёр? // АиФ-Чернозем. 2012. № 49. С. 3.
14. Филатов В. В., Болотнова Л. А. Генезис Томинской рудной зоны по геолого-геофизическим данным // Изв. Вузов. Горный журнал. 2016. № 5. С. 111–119.
15. Лесонен М. В., Сень М. С. Обоснование границ ведения открытых горных работ с учетом интересов государства и недропользования // Горный журнал. 2010. № 1. С. 69–71.
16. Зайченко В. Ю. О правовом нигилизме в сфере природопользования // Горный журнал. 2010. № 1. С. 10–12.
17. Hoteling H. The Economics of Exhaustible Resources // Journ. Polit. Econ. 1931. Vol. 39. P. 137–175.
18. Солоу Р. М. Экономическая теория ресурсов или ресурсы экономической теории // Вехи экономической мысли. Т. 3 / под ред. В. М. Гальперина. СПб., 1999. С. 19–20.
19. Кашин В. Л. Проблемы развития минерально-сырьевого комплекса. // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2013. № 3. С. 10–15.
20. Шевчук А. В., Щербаков Е. Т. Инновации в использовании нефти и газа // Природно-ресурсные ведомости. 2015. № 5. С. 7.
21. Бокач С. Б., Трошин А. Г. Ресурсные налоги – финансовый источник регионального развития // Горный журнал. 2010. № 5. С. 71–73.
22. Писсаридес К., Мортенсен Д. Создание рабочих мест и работы по уничтожению безработицы // Образ экономических исследований. 1994 июль. С. 391–415.

Поступила в редакцию 9 августа 2017 года

ASSOCIATION LINKS IN THE SPHERE OF SUBSOIL USE

Lebedev Iu. V., Kokarev K. V., Aref'ev S. A., Krylov V. G. – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: taranova@ukr.net

The article considers the problems of the analysis of association links in the sphere of subsoil use, which help to determine and explain the nature of relations between the notions within the limits of the system of subsoil use. The analysis is introduced of causal relationships between the interdisciplinary approach in the solution of the problem of subsoil use and the possibility of actually complex solution of eco-economic and social problems; the explanation to this relation is represented by application examples (the deposit of copper-nickel ore in Voronezh region and the deposit of copper ore near Chelyabinsk). Causal relationship is studied between the admission the natural (ecological) factor as the higher priority and possible practical realization of the conception of sustainable subsoil use; the explanation to this realization is given through the hierarchy of the levels of subsoil use control (conceptual, ideological, political, and economic). The analysis is introduced of the causal relationship between the degree of taking into account the time factor and the formation of ecological, social, economic, and technological problems in the sphere of subsoil use. Association link is studied between the action and the result in the sphere of subsoil use; the reason for the absence of innovations in the sphere of refining complex is explained and the low application level of the majority of subsoil use resources. The analysis is introduced of the relationship between the materials (subsoil use resources) and their potential production.

Key words: subsoil use; association links; cause and consequence; action and result; material and production; interdisciplinary approach; priority of the natural factor; time factor; discounting; profit distribution; profitability; resource processing depth.

REFERENCES

1. Our Common Future. Oxford University Press, 1987. 383 p. (Russ. ed.: *Nashe obschee buduscheye*. Moscow, Progress, 1989. 376 p.)
2. Zubakov V. A. [Johannesburg summit of the UN: analysis of results]. *Vestnik RAN – Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2003, no. 11, pp. 1010–1015. (In Russ.)
3. *Budushchee, kotorogo my khotim: itogovoi dokument Konferentsii OON po ustoychivomu razvitiyu* [The outcome document of the United Nations conference on sustainable development “The future we want”]. Brazil, Rio de Janeiro, 2012. 62 p. (In Russ.)
4. Kaplunov D. R. [Theoretical fundamentals for the design of subsoil exploitation: formation and development]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2014, no. 4, pp. 49–51. (In Russ.)
5. Puchkov L. A. [The forecast of mineral-raw consumption under crisis-free economic development]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2014, no. 4, pp. 45–48. (In Russ.)
6. Iakovlev V. L., Kornilkov S. V. [Methodological peculiarities of utilized mineral resources at the modern stage]. *Vestnik UrO RAN – Bulletin of UB RAS*, 2013, no. 4 (46), pp. 11–18. (In Russ.)
7. Gorshkov V. G. *Fizicheskie i biologicheskie osnovy ustoychivosti zhizni* [Physical and biological fundamentals of life sustainability]. Moscow, VINITI Publ., 1995. 472 p.
8. Lebedev Iu. V., Lebedeva T. A., Alekseeva N. G., Stakanova L. P., Lebedev M. Iu. [Ecologization of economic megaproject “Ural Industrial – Ural Polar”]. *Ekonomicheskie problemy prirodnopol'zovaniya – Economic Issues of Natural Resource Management*, 2010, no. 2, pp. 97–109. (In Russ.)

9. Pakhomov V. P., Atamanova E. A. *Teoretiko-metodologicheskie osnovy prostranstvennogo nedropol'zovaniia* [Theoretical and methodological fundamentals of spatial subsoil use]. Ekaterinburg, UB RAS Publ., 2011. 206 p.
 10. Oldak P. G. *Ravnovesie prirodopol'zovaniia. Vzgljad ekonomista* [The balance of natural resource management. The point of view of the economist]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1983. 128 p.
 11. From transition to transformation: sustainable and inclusive development in Europe and Central Asia: Report of Economic Commission of the UN for Europe. New-York, Geneva. 2012. 156 p. (In Russ.)
 12. Iurlova N. A. [Ecological aspects in the design of mining complex enterprises and projects]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2010, no. 10, pp. 101–104. (In Russ.)
 13. Chernyshev N. M. [How to protect the river Khopyor?]. *AiF-Chernozem*, 2012, no. 49, pp. 3. (In Russ.)
 14. Filatov V. V., Bolotnova L. A. [Genesis of Tomino ore zone according to geological and geophysical data]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2016, no. 5, pp. 111–119. (In Russ.)
 15. Lesonen M. V., Sen' M. S. [Substantiation of the boundaries of opencast mining with the account of the interests of the government and subsoil use]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2010, no. 1, pp. 69–71. (In Russ.)
 16. Zaichenko V. Iu. [Regarding the legal nihilism in the sphere of the natural resource management]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2010, no. 1, pp. 10–12. (In Russ.)
 17. Hotelling H. The Economics of exhaustible resources. *Journ. Polit. Econ.*, 1931, vol. 39, pp. 137–175.
 18. Solow R. M. [The economics of resources or the resources of economics] *Vekhi ekonomicheskoi mysli. T. 3. Pod red. V. M. Gal'perina* [The landmarks of the economic thought. Vol. 3. Edited by V. M. Galperin]. St. Petersburg, 1999, pp. 19–20. (In Russ.)
 19. Kashin V. L. [Problems of development of the raw-mineral resources sector]. *Ispol'zovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii – Use and Protection of Natural Resources of Russia*, 2013, no. 3, pp. 10–15. (In Russ.)
 20. Shevchuk A. V., Shcherbakov E. T. [Innovations in the use of oil and gas]. *Prirodno-resursnye vedomosti – Natural Resources Bulletin*, 2015, no. 5, pp. 7–19. (In Russ.)
 21. Bokach S. B., Troshin A. G. [Resource taxes is the finance source of regional development]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2010, no. 5, pp. 71–73. (In Russ.)
 22. Pissarides K., Mortensen D. [Generating employment and work on the elimination of unemployment]. *Obraz ekonomicheskikh issledovaniy – The Way of Economic Research*, 1994, July, pp. 391–415. (In Russ.)
-

УДК 027.7(091)

DOI: 10.21440/0536-1028-2017-8-116-120

РОЖДЕНИЕ БИБЛИОТЕКИ ГОРНОГО (по материалам архивных документов и газетных публикаций начала XX века)

СИЛЬНЫХ Е. В.

В статье освещены некоторые страницы истории создания библиотеки Уральского государственного горного университета – первого высшего учебного заведения на Урале. Приведены выдержки из газетных публикаций начала двадцатого века, посвященных постепенному формированию библиотеки, пополнению ее фондов, которое в немалой степени осуществлялось на пожертвования жителей Екатеринбурга. Также представлены материалы из фондов Государственного архива Свердловской области, содержащие постановления Совета института, касающиеся библиотеки. В связи с предстоящим юбилеем научной библиотеки Уральского государственного горного университета акцентировано внимание на определении даты организации библиотеки.

Ключевые слова: научная библиотека Уральского государственного горного университета; история библиотеки; газетные публикации начала XX века; архивные документы; организация библиотеки; пополнение библиотечного фонда.

Листая пожелтевшие от времени страницы газет начала XX века, мысленно переносясь на 100 лет назад, представляешь, как, читая свежий номер, узнавали жители Екатеринбурга о важнейших для города событиях, одним из которых, безусловно, было появление первого в городе вуза – Уральского горного института. Несмотря на то, что происходило это в трудное, трагическое для страны время – Первая мировая война, Февральская и Октябрьская революции, гражданская война – буквально каждый шаг, приближавший к этому событию, освещался в местной прессе.

Среди прочего рассказывалось и о постепенном формировании институтской библиотеки, ведь без нее невозможно существование любого учебного заведения.

Просматривая газеты тех лет и архивные документы, проследим, как создавалась наша библиотека.

На первых порах организация фундаментальной библиотеки в проекте Уральского горного института не предусматривалась. На это упущение обратил внимание первый ректор УГИ П. П. фон Веймарн на торжественной закладке здания института 17 июля 1916 года (даты даются по старому стилю). Вот выдержки из его речи, произнесенной на этом мероприятии, текст которой был напечатан в 160-м номере газеты «Зауральский край» за 20 июля 1916 года: «Одним из важнейших условий для полного развития и процветания высшей

школы является привлечение в ее стены талантливой и энергичной профессорской коллегии, ибо за редкими исключениями, каковы учителя – таковы и ученики. <...> Екатеринбургский горный институт может привлечь в свою профессорскую коллегию видные научно-технические силы. <...> Для этого необходимо иметь, во-первых, хорошо оборудованные лаборатории и кабинеты и, во-вторых, что особенно важно для провинции, необходимо с самого начала создать обширную фундаментальную библиотеку. <...> Как бы ни хороши были лаборатории, ни один ученый не может работать в них, не имея библиотеки – библиотеки фундаментальной...».



Закладка здания УГИ в 1916 году

Уже через несколько дней в 166-м номере этой же газеты была опубликована заметка, озаглавленная «Первое пожертвование на фундаментальную библиотеку горного института»:

«Ректором института профессором Веймарном в речи на закладке было обращено внимание на необходимость создания в институте обширной фундаментальной библиотеки. Первый почин в этом направлении на днях сделал местный промышленник В. А. Поклевский-Козелл, приславший на имя ректора следующее письмо:

„Многоуважаемый Петр Петрович! <...> Выдающийся исторический момент в развитии города Екатеринбурга...заставляет меня...принять хотя долю участия в создании будущего рассадника процветания Урала, в виду чего я позволил себе от имени семьи...внести в Ваше распоряжение 5000 рублей на приобретение книг по химии в библиотечный фонд вверенного Вам института...“ <...>».

На этом пожертвования не закончились. Из 156-го номера газеты «Уральская жизнь» за 7 октября 1917 года узнали екатеринбуржцы о щедром вкладе



П. П. фон Веймарн

благотворительницы О. И. Дрозжиловой: «Екатеринбургскому горному институту по завещанию гр. О. И. Дрозжиловой перешли капиталы: первый в 225 745 р. 48 к., а второй в 65 000 р., а всего 290 745 р. 48 к. <...> Второй капитал неприкосновенен временно, и 2/3 процентов с него должны обращаться на приобретение книг для библиотеки института...».

В том же номере в заметке «К открытию горного института» приводится информация о составе «преподавательского и служебного персонала», откуда узнаем, что первым библиотекарем стала Мария Георгиевна Гадд. Здесь же сообщается о том, что «для библиотеки института городским самоуправлением предоставлено помещение Вознесенской школы». Это было связано с тем, что на момент открытия институт не имел собственного здания, и для проведения лекций, практических и лабораторных занятий и прочего ему были предоставлены разные помещения города.



В. А. Поклевский-Козелл

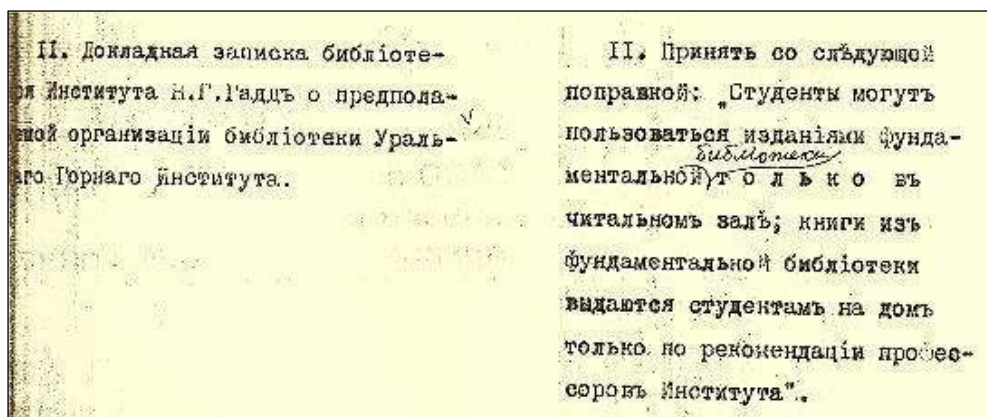
В 181-м номере газеты «Зауральский край» за 17 ноября 1917 года в заметке «В Горном институте» сообщалось о пополнении библиотечного фонда, поступившем из Петрограда: «Из главной физической обсерватории Петрограда привезена обширная и весьма ценная библиотека Гершуна, которая поступает в собственность Института». Речь идет о библиотеке Александра Львовича Гершуна (1868–1915), основателя российской оптической промышленности, крупного специалиста в области прикладной оптики, электромагнетизма, радиоактивности.

В этот же день, 17 ноября 1917 года, на заседании Совета института обсуждался вопрос о ремонте книг. В результате было постановлено: «Книги учебной библиотеки переплести все; из книг фундаментальной библиотеки переплести наиболее ценные...» (*Государственный архив Свердловской области, Ф. 1151-р, ОП. 1, Д. 6, Л. 18*).

А еще через несколько дней, 26 ноября 1917 года, Совет института обсуждал сразу ряд вопросов, касающихся библиотеки: была избрана библиотечная комиссия в составе профессоров Я. А. Шохата, Н. В. Галли, С. Н. Петрова, Н. Г. Келля; постановлено принять пожертвование институту от инженера П. А. Дрозжилова, часть денег от которого предназначалась для приобретения книг и изданий для библиотеки. Но особый интерес в данном случае представляет докладная записка библиотекаря М. Г. Гадд о предполагаемой организации библиотеки. Рассмотрев этот вопрос, Совет института вынес постановление: «Принять со следующей поправкой: „Студенты могут пользоваться изданиями фундаментальной библиотеки только в читальном зале; книги из фундаментальной библиотеки выдаются студентам на дом только по рекомендации профессоров Института“» (Государственный архив Свердловской области, Ф. 1151-р, ОП. 1, Д. 6, Л. 22).



А. Л. Гершун



Из постановления Совета института от 26 ноября 1917 года

Таким образом, 26 ноября (9 декабря по новому стилю) 1917 года – день, когда по решению Совета института в библиотеку был разрешен доступ студентам, – можно считать днем ее рождения!

С тех пор вместе с Горным, являясь его неотъемлемой частью, библиотека прошла долгий путь и готовится отметить свой столетний юбилей.

Поступила в редакцию 3 октября 2017 года

THE FOUNDATION OF LIBRARY OF THE URAL STATE MINING UNIVERSITY
(according to the archival documents and newspaper publications at the beginning of the 20th century)

Sil'nykh E. V. – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: library@ursmu.ru

The article illustrates some chapters of history of the creation of library at the Ural State Mining University – the first institution of higher education in the Urals. Some extracts from newspaper publications of the beginning of the 20th century have been introduced, which were dedicated to the gradual development of the library, replenishment of its reserves, which were fundamentally realized for the donations of the citizens of Ekaterinburg. Some materials from the reserves of the State Archive of Sverdlovsk region have been introduced, which include the resolutions of the Institution Council as far as the library is concerned. In connection with the coming anniversary of the Research Library of the Ural State Mining University the attention is stressed on the determination of the date of the library foundation.

Key words: the Research Library of the Ural State Mining University; the history of the library; newspaper publications of the beginning of the 20th century; archive documents; the library organization; replenishment of the reserves of the library.

ПЕРЕЧЕНЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В 2017 ГОДУ

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ		
<i>Акишев А. Н., Лель Ю. И., Ильбульдин Д. Х., Мусихина О. В., Глебов И. А.</i> Технологические решения по вскрытию и отработке глубоких горизонтов Нюрбинского карьера АК «АЛРОСА»	7	4
<i>Анферов Б. А., Кузнецова Л. В.</i> Селективная выемка угольных пластов при комплексном освоении месторождения	7	22
<i>Белин В. А., Валиев Н. Г., Вернигор В. В., Жамьян Ж.</i> Добыча угля и влияние разных типов взрывчатых веществ на самовозгорание угольных масс	2	4
<i>Беркович В. М., Любавина В. А., Максимов А. А.</i> Влияния класса системы подземной разработки на удароопасность горных работ	4	11
<i>Беркович В. Х., Дик Ю. А., Шукишина А. Н.</i> Перспективы вовлечения в добычу и переработку потерянных запасов руд	8	19
<i>Бирючев И. В., Зубков А. В.</i> Способ отработки запасов месторождения на больших глубинах в условиях высокого горного давления	3	13
<i>Голик В. И., Каргинов К. Г., Разоренов Ю. И., Габараев О. З.</i> Принципы комбинирования технологий разработки некондиционных руд	3	4
<i>Голик В. И., Комащенко В. И., Разоренов Ю. И., Валиев Н. Г.</i> Разработка методов эффективной добычи потерянных руд с использованием перекрытий	8	4
<i>Голик В. И., Разоренов Ю. И., Габараев О. З., Каргинов К. Г.</i> Подготовка мощных месторождений наклонными съездами	4	4
<i>Демченко И. И., Муленкова А. О.</i> О возможности размещения перерабатывающего оборудования в забое разреза для получения сортового угля	8	26
<i>Жариков С. Н.</i> Об особенностях производительности карьерного гусеничного экскаватора	1	11
<i>Кантемиров В. Д., Титов Р. С.</i> К вопросу учета и нормирования повышенных потерь полезного ископаемого при добыче	7	13
<i>Копылов К. Н., Решетняк С. Н., Кубрин С. С.</i> Инновационная структура управления выемочного участка угольной шахты	1	5
<i>Котьяшев А. А., Корнилков М. В., Русских А. П.</i> Изучение и оценка структурных изменений при взрывном разрушении скальных массивов в динамике развития асбестовых карьеров	6	17
<i>Кузнецов Д. В., Косолапов А. И.</i> Относительная оценка трудности открытой разработки месторождений в суровых климатических условиях	2	17
<i>Луценко С. А.</i> Определение граничного коэффициента вскрыши, обеспечивающего конкурентоспособность железорудного концентрата на мировом рынке	1	18
<i>Любавина В. А.</i> Исследования целостности пород кровли при отбойке подкровельной зоны рудного тела методом «защитного слоя»	1	24
<i>Михайлов А. В., Лопатюк А. О., Шишляников Д. И.</i> Особенности процесса скоростного фрезерования торфяного массива	2	25
<i>Смирнов О. Ю.</i> Отработка рудных месторождений в условиях повышенной напряженности	7	29
<i>Смирнов Э. В., Чернопазов Д. С., Секунцов А. И.</i> Технология последовательной выемки запасов сильвинитовых пластов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей	2	11
<i>Тырсин А. Н., Азарян А. А.</i> Оптимизация периода эксплуатации высоконагруженной техники на основе анализа средних удельных затрат	5	4
<i>Хоменко О. Е., Ляшенко В. И.</i> Геоэнергетические основы подземной разработки рудных месторождений	8	10

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ		
<i>Александрин Д. В., Петров С. А., Байкин В. С.</i> Комплексное решение по сокращению количества отказов колесно-моторных блоков тяговых агрегатов.....	8	33
<i>Земсков А. Н.</i> Изучение газоносности соляной толщи Гарлыкского месторождения калийных солей.....	7	35
<i>Трушина Г. С.</i> Основные пути эффективного развития предприятий угольной промышленности Кузбасса	6	25
ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ. ПРАВОВЫЕ ВОПРОСЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ		
<i>Бедрина С. А., Еришова Т. Л., Черниченко Е. А.</i> Создание и ведение информационных ресурсов градостроительной деятельности на уровне муниципального образования.....	6	50
<i>Головина Е. М., Германович Ю. Г.</i> Обзор проблем земельного надзора в районах с развитой горнодобывающей промышленностью	6	55
<i>Долгих Ю. А.</i> Основные проблемы обеспечения финансовой устойчивости российских железорудных предприятий.....	1	46
<i>Игнатьева М. Н., Кубарев М. С.</i> Этапность становления системы государственного регулирования природопользования	8	38
<i>Коновалов В. Е., Колчина Н. В., Колчина М. Е.</i> Особенности подготовки документов для государственного кадастрового учета единого недвижимого комплекса горнодобывающего предприятия.....	6	42
<i>Кубарев М. С., Стровский В. Е., Балащенко В. В.</i> Классификация техногенно-минеральных образований как условие управления отходами	6	31
<i>Кубарев М. С., Стровский В. Е., Перегон И. В.</i> Методический подход к оценке эколого-экономической эффективности использования отходов	1	31
<i>Лебедева Ю. В., Лебедева Т. А., Коковин П. А., Арефьев С. А.</i> Научные основы устойчивого землепользования в промышленных районах	4	19
<i>Мельников Н. Н., Бусырев В. М.</i> Основы рационального недропользования.....	7	43
<i>Разовский Ю. В., Рубан М. С.</i> Сверхприбыль недр и других составляющих арктической среды	5	9
<i>Тараненко Н. А.</i> Административная ответственность горного предприятия: составы, условия привлечения	1	39
БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА		
<i>Андрейко С. С., Лялина Т. А.</i> Исследования газовыделений из геологоразведочных скважин на Верхнекамском месторождении калийных солей	2	33
<i>Колесникова Л. А., Филин А. Э.</i> Психологическая устойчивость и охрана труда	4	28
<i>Кубрин С. С., Решетяк С. Н., Иванов Е. С., Дестерёв В. В.</i> Анализ аппаратного обеспечения пылевого контроля угольных шахт	8	46
<i>Мислибаев И. Т., Заиров Ш. Ш., Тухташев А. Б., Норматова М. Ж.</i> Уменьшение пылегазового загрязнения атмосферы при производстве массовых взрывов на карьерах	2	39
<i>Морин А. С., Корзухин И. В.</i> Тепловая подготовка приточного воздуха при трубопроводном проветривании карьера	5	60
ДОБЫЧА НЕФТИ И ГАЗА		
<i>Зинатуллина И. П., Зинатуллин М. Х.</i> Тонкодисперсная составляющая в терригенных коллекторах верхнего девона нефтяных месторождений Республики Татарстан	5	18

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
<i>Медведев К. Ю., Жук И. В.</i> Апробация модифицированной технологии циклического воздействия на карбонатных коллекторах Речицкого месторождения.....	1	56
<i>Скоков В. В.</i> Генезис и химический состав рассолов Астраханского газоконденсатного месторождения, факторы возникновения и методы борьбы с рапопроявлением.....	2	44
<i>Шишляников Д. И.</i> Исследование силовых и энергетических параметров работы перспективных вентильных двигателей балансирных станков-качалок.....	5	25
СТРОИТЕЛЬСТВО ШАХТ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ		
<i>Викулов В. М., Корнилков М. В., Зотеев О. В.</i> Повышение эффективности конструкций анкерной крепи котлованов при строительстве подземных сооружений.....	1	62
<i>Викулов В. М., Корнилков М. В., Половов Б. Д.</i> Оценка геотехнических рисков при проектировании анкерной крепи котлована.....	4	33
<i>Колчина М. Е.</i> Назначение технической оценки объектов капитального строительства на подработанных территориях.....	6	73
<i>Латышев О. Г., Прищепина Д. В.</i> Фрактальный коэффициент формы подземных выработок.....	8	53
<i>Орлов А. О., Смирнов Ю. Г., Гусак С. А.</i> Основные методические принципы обеспечения безопасности строительства подземных комплексов атомных станций малой мощности в условиях российской Арктики.....	5	31
<i>Соловьев В. А., Антуков В. Н., Котляр Е. К.</i> Охрана крепи шахтных стволов в породах карналлитовой толщи.....	2	57
<i>Соловьев В. А., Антуков В. Н., Тарасов В. В., Котляр Е. К.</i> Охрана сопряжений шахтных стволов с примыкающими выработками в соляных породах.....	3	18
МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И ГЕОДЕЗИЯ		
<i>Акулова Е. А., Титов М. О.</i> Методы получения пространственных данных в современных условиях.....	6	79
<i>Гордеев В. А., Раева О. С.</i> Предварительная оценка точности проекта GPS-построений.....	7	57
<i>Гришко С. В., Букин В. Г.</i> Совместное использование результатов спутниковых определений и высокоточного нивелирования в геодезическом мониторинге.....	7	50
<i>Тайлаков О. В., Коровин Д. С.</i> Построение цифровой модели рельефа открытого угольного склада по данным аэрофотосъемки.....	8	58
ГЕОМЕХАНИКА		
<i>Балек А. Е., Ефремов Е. Ю.</i> Обоснование геомеханических условий подземной разработки алмазного месторождения «Трубка Удачная»..	5	39
<i>Дырдин В. В., Фофанов А. А., Смирнов В. Г., Дягилева А. В.</i> Образование «газового мешка» в зоне опорного давления угольного массива впереди забоя очистной выработки.....	4	41
<i>Жабко А. В.</i> Прочность континуума (твердых тел).....	4	47
<i>Латышев О. Г., Прищепина Д. В.</i> Прогноз деформационных характеристик трещиноватого породного массива.....	1	80
<i>Миренков В. Е.</i> Масштабный фактор в задачах геомеханики.....	3	24
<i>Тагильцев С. Н.</i> Оценка геометрических характеристик верхней границы применимости закона Кулона для анализа условий испытаний горных пород на срез со сжатием.....	1	71
<i>Тагильцев С. Н., Кибанова Т. Н.</i> Гидрогеомеханические структуры растяжения и сжатия в поле современных тектонических напряжений.....	7	63

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
<i>Харисов Т. Ф.</i> Исследования конвергенции породных стенок ствола в условиях запредельного состояния призабойного массива.....	5	46
ЭКОЛОГИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА		
<i>Амосов П. В., Бакланов А. А., Маслобоев В. А.</i> Результаты оценки загрязнения атмосферы при пылении хвостохранилища (на базе трехмерного моделирования).....	6	87
<i>Далатказин Т. Ш., Харисов Т. Ф.</i> Исследования последствий затопления Турьинского медного рудника	8	65
<i>Ершова Т. Л., Бедрина С. А.</i> Проблемы и перспективы развития инженерных сетей городов.....	3	31
<i>Хохряков А. В., Цейтлин Е. М., Москвина О. А., Ларионова И. В.</i> Прогнозирование концентраций загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды	4	56
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И МОДЕЛИ		
<i>Зобнин Б. Б., Боровков В. А.</i> Обоснование критериев управления развитием рудничной компрессорной установки	6	95
<i>Латышев О. Г., Франц В. В., Прищепа Д. В.</i> Моделирование и прогноз прочности при сдвиге горных пород по трещине.....	2	50
РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД. БУРОВЗРЫВНОЕ ДЕЛО		
<i>Бовин К. А., Гилев А. В.</i> Обоснование рациональных режимных параметров бурения горных пород долотами режуще-вращательного действия	6	101
<i>Жариков С. Н.</i> Взаимосвязь процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения массива горных пород	2	62
<i>Жариков С. Н.</i> Определение зависимостей между процессами добычи при открытой разработке рудных месторождений	7	78
<i>Заиров Ш. Ш., Норматова М. Ж.</i> Разработка конструкции и параметров скважинных зарядов взрывчатых веществ при контурном взрывании для получения устойчивых откосов уступов	2	68
<i>Заиров Ш. Ш., Норматова М. Ж., Равшанова М. Х.</i> Определение оптимальных параметров подпорной стенки при массовых взрывах на карьерах	4	72
<i>Крапивина И. С.</i> Экономические аспекты проведения строительных горных выработок.....	3	51
<i>Мислибаев И. Т., Тухташев А. Б., Гиязов О. М., Солиев Б. З.</i> Изменение прочности массива горных пород в зависимости от конструкции забоек скважинных зарядов взрывчатых веществ	3	45
<i>Насиров У. Ф., Очилов Ш. А., Равшанова М. Х.</i> Теоретические исследования механизма дробления скальных горных пород при взрывании высоких уступов	3	38
<i>Насиров У. Ф., Тухташев А. Б., Очилов Ш. А., Равшанова М. Х.</i> Определение эффективных параметров парнооближенных скважинных зарядов при производстве массовых взрывов на высоких уступах.....	4	64
<i>Норов Ю. Д., Заиров Ш. Ш., Нутфуллоев Г. С., Таджиев Ш. Т., Равшанова М. Х.</i> Конструкция скважинного заряда взрывчатых веществ с кумулятивным эффектом	7	70
МЕХАНИЗАЦИЯ ГОРНЫХ РАБОТ. ГОРНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ		
<i>Андреева Л. И.</i> Применение методов оценки технического состояния горной техники на горнодобывающем предприятии	4	78
<i>Бейсембаев К. М., Решетникова О. С., Телиман И. В., Артемова А. А.</i> Особенности проектирования манипуляторов горных машин	7	87

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
<i>Лукашук О. А., Летнев К. Ю., Комиссаров А. П.</i> Определение режимов работы двигателей главных механизмов одноковшового экскаватора	5	52
<i>Макаров В. Н., Потапов В. Я., Макаров Н. В., Патракеева И. Ю.</i> Критериальные уравнения аэрационной стратификации в полочных сепараторах.....	5	59
<i>Мамасаидов М. Т., Исманов М. М., Жораев А. Х.</i> Определение рациональных параметров канатного рабочего органа камерезной машины.....	4	86
<i>Саитов В. И.</i> Оптимизация комплекса средств механизации горных предприятий.....	1	86
<i>Старков Л. И., Шишлянников Д. И., Максимов А. Б.</i> Устройство для крепления резца на исполнительном органе горного комбайна.....	3	60
<i>Юдин А. В., Шестаков В. С.</i> Выбор оборудования и оценка схем мобильных карьерных комплексов при отработке закарстованных месторождений.....	1	92
ГОРНАЯ МЕХАНИКА		
<i>Борисов Ф. И., Морин А. С., Бровина Т. А.</i> Карьерные водоотливные установки с путевым расходом в зонах орошения автодорог.....	3	65
<i>Казаков Б. П., Мальцев С. В., Семин М. А.</i> Способ оптимизации параметров работы нескольких главных вентиляторных установок для проектирования энергоэффективных режимов проветривания рудников сложной топологии.....	1	101
<i>Островский В. Г., Зверев В. Ю.</i> Стенд для испытания ступеней электроцентробежных насосов нефтяных промыслов.....	7	102
<i>Таугер В. М., Волков Е. Б., Холодников Ю. В.</i> Скиповая пневмоподъемная установка повышенной энергоэффективности.....	2	77
<i>Таугер В. М., Казаков Ю. М., Волков Е. Б., Кожевников А. О.</i> Кинематика скипа в спускном трубопроводе пневмоподъемной установки.....	7	96
ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ РАБОТ		
<i>Медведева М. Л., Кузьмин С. В., Кузьмин И. С., Шманев В. Д.</i> Причины возникновения коротких и однофазных замыканий на землю в сетях горных предприятий.....	5	65
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ		
<i>Бабочкин Г. И., Шпрехер Д. М., Колесников Е. Б.</i> Аппаратура диагностирования технического состояния шахтного электромеханического комплекса.....	8	74
<i>Кочетков В. П., Курочкин Н. С.</i> Динамика экскаваторного электропривода переменного тока с комбинированной оптимальной системой управления.....	1	109
ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫЙ ТРАНСПОРТ		
<i>Ляшенко В. И., Франчук В. П.</i> Повышение эффективности активации компонентов твердеющей закладочной смеси в установках вибрационного трубопроводного транспорта.....	4	92
<i>Юдин А. В., Шестаков В. С.</i> Разработка, выбор оборудования и оценка схем карьерных комплексов для сухой очистки сырья от глинистых включений.....	3	73
РУДОПОДГОТОВКА И ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ		
<i>Волков П. С.</i> Экспериментальное определение изменения относительной погрешности при введении операции обогащения в схему рудоподготовки.....	5	89

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
<i>Ефремова Т. А., Цыпин Е. Ф., Овчинникова Т. Ю., Мамонов С. В., Елизаров Д. Б.</i> Рентгенорадиометрическая сепарация полиметаллической руды	7	113
<i>Козин В. З., Комлев А. С.</i> Определение случайной погрешности отбора проб при использовании автоматических анализаторов.....	7	107
<i>Козин В. З., Комлев А. С., Водовозов К. А.</i> Погрешности технологического баланса на обогатительных фабриках.....	5	74
<i>Козин В. З., Комлев А. С., Волков П. С.</i> Эффективность использования операций обогащения в схемах подготовки проб.....	3	83
<i>Марасанов В. М., Дылдин Г. П.</i> Математическое описание процесса дробления в щековой дробилке	8	82
<i>Рахмеев Р. Н., Войлошиков Г. И., Федоров Ю. О., Чикин А. Ю.</i> Результаты испытаний рентгенорадиометрического сепаратора для обогащения алмазосодержащих концентратов.....	5	80
ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА		
<i>Аликулов Ш. Ш.</i> Интенсификация технологических процессов подземного выщелачивания урана из слабопроницаемых руд.....	1	117
<i>Аликулов Ш. Ш.</i> Математическое моделирование фильтрации растворов подземного выщелачивания урана из слабопроницаемых руд.....	5	95
<i>Багазеев В. К., Валиев Н. Г., Старцев В. А.</i> Определение физико-механических свойств суглинистых пород россыпей.....	7	126
<i>Блинков О. Г., Дмитриев В. Т., Боярских Г. А.</i> Использование плазменной технологии для упрочнения элементов шарошечных буровых долот	3	88
<i>Лизункин В. М., Бабелло В. А., Лизункин М. В., Бейдин А. В.</i> Оценка деформируемости раздробленных скальных пород Стрельцовского рудного поля.....	2	84
<i>Миренков В. Е., Евстигнеев Д. С.</i> Феноменологическая модель деформирования горных пород в окрестности трещины.....	7	120
<i>Хочунов Э. А.</i> Роль поверхностно-активных веществ в разрушении руд при объемном деформировании	2	93
ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА		
<i>Абатурова И. В., Савинцев И. А., Борисихина О. А., Козлов В. С.</i> Закономерности формирования физико-механических свойств пород золоторудных месторождений	8	92
<i>Богомолов А. В.</i> Применение магниторазведки и электроразведки на золото-кварц-сульфидных месторождениях Амурской области	4	101
<i>Вишнев В. С.</i> Использование поля токов электрической железной дороги для изучения геоэлектрического разреза.....	2	100
<i>Гуляев А. Н.</i> Область возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений на Среднем Урале	6	109
<i>Ратушняк А. Н., Байдинов С. В., Теплухин В. К.</i> Индукционный каротаж скважин в процессе бурения.....	3	93
ГОРНОТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА		
<i>Каюмова А. Н.</i> Особенности экспертизы промышленной безопасности строительной документации для районов развития опасных природных и техноприродных процессов.....	8	102
ВЫСШЕЕ ГОРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ		
<i>Кардапольцева В. Н.</i> Некоторые аспекты высшего образования в контексте современной культуры	2	106

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
ПРОБЛЕМЫ ГОРНЫХ НАУК		
<i>Лебедев Ю. В., Кокарев К. В., Арефьев С. А., Крылов В. Г.</i> Ассоциативные связи в сфере недропользования	8	108
ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГОРНОГО ДЕЛА		
<i>Курлаев Е. А.</i> Уральское серебро.....	5	102
ИНФОРМАЦИЯ. ХРОНИКА. РЕЦЕНЗИИ		
Институту горного дела УрО РАН – 55 лет	1	122
Поздравляем с юбилеем Анатолия Григорьевича Протосеню	2	112
<i>Представляем новую книгу. Г. И. Архипов «Минеральные ресурсы горнорудной промышленности Дальнего Востока. Стратегическая оценка возможностей освоения»</i>	7	131
<i>Сильных Е. В.</i> Рождение библиотеки Горного (по материалам архивных документов и газетных публикаций начала XX века)	8	116
К ЮБИЛЕЮ КАФЕДРЫ ГЕОДЕЗИИ И КАДАСТРОВ		
<i>Кленко В. Л., Коновалов В. Е.</i> Николай Георгиевич Кель – первый заведующий кафедрой геодезии.....	6	4
<i>Коновалов В. Е.</i> Второе рождение. Кафедре геодезии и кадастров УГГУ – 100 лет.....	6	8

Р е д а к ц и я
Главный редактор М. В. Корнилков
Зам. главного редактора О. Г. Латышев, М. Г. Бабенко
Ответственный секретарь Л. А. Решеткина
Редакторы Л. Г. Соколова, А. А. Зайкова

Перевод И. В. Шайхутдиновой

Компьютерная верстка Ю. Б. Швецовою

Подп. в печать 04.12.2017. Дата выхода в свет 22.12.2017
Формат 70 x 108 1/16. Печать офсетная
11,2 усл. печ. л., 10,2 уч.-изд. л. Тираж 500 экз. Заказ 6044
Цена свободная

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-57227 от 12.03.2014

Редакция «Изв. вузов. Горный журнал»
620144, г. Екатеринбург, ГСП, ул. Куйбышева, 30, тел.(факс) (343) 257-65-59
E-mail: gornij_journal@ursmu.ru
<http://mj.ursmu.ru>

Типография ООО «Издательство УМЦ УПИ»
620078, г. Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2

Индекс 70367

ISSN 0536-1028. Известия высших учебных заведений. Горный журнал, № 8, 2017.