ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР

ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА

ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР

Сборник научных трудов
Выпуск 4 (94)

Екатеринбург
2008

УДК 622.014.3:553.042.004.14
Г36

Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр. — Екатеринбург, 2008. — 302 с. (Сб. науч. тр. / ИГД УрО РАН. — Вып. 4 (94)).
ISBN 5—7691—2008—8.

Сборник посвящен 100-летию со дня рождения Михаила Владимировича Васильева, известного ученого-горняка, организатора и первого директора Института горного дела УФАН СССР (ИГД МЧМ СССР, ИГД УрО РАН), заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, лауреата премии Совета Министров СССР, лауреата Государственной премии Украинской ССР, профессора, доктора технических наук, руководителя уральской научной школы по карьерному транспорту — одному из важнейших разделов горных наук.

Публикуются статьи авторов из академических, проектных, научно-исследовательских и учебных институтов, а также горнодобывающих предприятий различных регионов России, Украины, Казахстана; они охватывают широкий круг актуальных и ныне проблем, разрабатывавшихся М.В. Васильевым и руководимым им институтом.

Сборник рассчитан на широкий круг горных специалистов.

Ответственные редакторы — член-корреспондент РАН **В.Л. Яковлев**, доктор технических наук **А.Д. Сашурин**

ISBN 5—7691—2008—8

Г $\frac{104(08)}{8П6(03)1998}$ БО

© ИГД УрО РАН
Екатеринбург, 2008

Михаил Владимирович Васильев

12 декабря 1908 г. — 4 сентября 1986 г.

О НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННОЙ И ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОФЕССОРА, ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК МИХАИЛА ВЛАДИМИРОВИЧА ВАСИЛЬЕВА

(к 100-летию со дня рождения)

Михаил Владимирович Васильев — известный ученый-горняк, выдающийся горный инженер, внесший значительный вклад в теорию и практику открытых горных разработок по одному из важнейших разделов — карьерному транспорту, создатель уральской научной школы по карьерному транспорту, организатор и первый директор Института горного дела УФАН СССР, позднее ИГД МЧМ СССР, ныне Институт горного дела УрО РАН. Его жизненный путь и творческий рост являются ярким примером для современного поколения студентов, инженеров и молодых ученых, связавших свою судьбу с горным делом, освоением и сбережением богатства недр, развитием минерально-сырьевой базы страны — основы ее социально-экономического развития. Интересно проследить по периодам жизни становление и развитие его личности, деятельности горного инженера, ученого, организатора науки и производства.

1908 — 1931 гг. Интерес к научным исследованиям проявился с юных лет; еще в школьные годы М. В. Васильев занимался самообразованием в области геологии, палеонтологии, принимал участие в работе геологического кружка Рыбинского научного общества. В 18 лет опубликовал свою первую работу «Геологические исследования в Рыбинском крае летом 1926 г.». После окончания в 1928 г. Рыбинского механического техникума продолжал в геологических партиях и отрядах изучение юрских отложений Верхнего Поволжья и изыскание строительных материалов; опубликовал по этим вопросам ряд статей.

1931 — 1936 гг. За годы учебы в Свердловском горном институте многое воспринял от руководителя уральской научной школы горняков-открытчиков проф. Н. А. Старикова, коллег по учебе, ставших впоследствии известными учеными, М. Г. Новожилова, М. Л. Рудакова, П. Э. Зуркова, В. К. Бучнева, Б. В. Фаддеева. Большое влияние на формирование М. В. Васильева как ученого и организатора науки и производства оказал Н. В. Мельников — выдающийся ученый и государственный деятель, академик АН СССР, Председатель Комитета по топливу при Совете Министров СССР, министр СССР, член Президиума АН СССР, с которым М. В. Васильев поддерживал творческие и товарищеские отношения со студенческих лет до конца жизненного пути.

1936 — 1957 гг. Эти годы жизни М. В. Васильева связаны с производственной деятельностью: сменный мастер на Бакальском железном руднике, начальник производственного отдела Волгостроя, строительство оборонительных рубежей в составе армейского управления (гг. Казань — Волгоград); заместитель начальника управления производственными предприятиями и карьерным хозяйством треста «Тагилстрой», главный

инженер союзного треста «Уралсибэкскавация». Производственную работу совмещал с научной и преподавательской деятельностью; в 1954 г. без отрыва от производства защитил кандидатскую диссертацию на тему «Повышение эффективности конвейерного транспорта на открытых горных работах». С избранием в 1957 г. заведующим лабораторией открытых горных работ Горно-геологического института УФАН СССР начинается научно-организационная деятельность М. В. Васильева, которой он занимался до конца жизни (1986 г.).

1957 — 1962 гг. К моменту прихода в 1957 г. в Горно-геологический институт УФАН СССР сложились предпосылки создания на Урале академического института горного профиля:

— развитая многоотраслевая горнодобывающая промышленность Уральского региона, получившая интенсивное развитие в период Великой Отечественной войны и требующая решения широкого круга проблем дальнейшего освоения минерально-сырьевых ресурсов;

— наличие в составе ГГИ УФАН, первым директором которого был выдающийся ученый-горняк академик Л. Д. Шевяков, Горного отдела, где ученые работали по проблемам подземной добычи угля и руд, горных ударов, вентиляции шахт и по открытым горным работам.

Назначение М. В. Васильева в 1958 г. заместителем председателя Президиума УФАН СССР, а в 1959 г. — по совместительству заведующим горным отделом способствовало проведению комплекса мероприятий по созданию условий для организации Института горного дела.

В 1961 г. М. В. Васильев защитил докторскую диссертацию на тему «Основные вопросы развития открытых разработок с автомобильным транспортом».

1962 — 1986 гг. Становление института осложнилось его переводом в 1963 г. из состава АН СССР сначала в ведение Госкомитета по черной и цветной металлургии СССР, а в 1965 г. — в состав Минчермета СССР. В течение последующих двадцати лет институт под руководством М. В. Васильева постоянно развивался количественно (с 78 человек в 1962 г. до 480 к 1980 г.), успешно проводил исследования по широкому кругу проблем открытых горных разработок, подземных работ, рекультивации нарушенных земель, выполнял функции центрального института МЧМ СССР по разработке руд черных металлов, головного в отрасли по ряду научных направлений.

Институту была поручена координация научных исследований по планам отрасли не только отраслевых, но и академических институтов и вузов, были установлены тесные связи с горными предприятиями отрасли не только Урала, Северо-Запада, Центра и Востока России, но и Казахстана, Украины, других союзных республик, а также с заводами — изготовителями новой горной техники.

Наиболее известные публикации М. В. Васильева связаны с решением проблем и развитием важнейшего раздела горной науки — карьерного транспорта. В 1949 г. выходит его первая крупная печатная работа — книга «Карьерный транспорт», где впервые обобщены представления о различных видах карьерного транспорта и даны их оценка, описание транспортной техники того времени, приведены расчеты и освещены пе-

редовые методы организации работы. По инициативе М. В. Васильева при строительстве и эксплуатации карьеров начинает широко внедряться автомобильный транспорт, разрабатываются и применяются более производительные экскаваторные и транспортные схемы. Передовой опыт и результаты проводимых им на строительстве и при эксплуатации предприятий работ систематически освещаются в горных и строительных журналах. С этого времени основным направлением научной деятельности М. В. Васильева становятся исследования по разработке полезных ископаемых открытым способом и в области карьерного транспорта.

В 1959 г. выходит его монография «Автомобильный и тракторный транспорт на карьерах». Эта книга — капитальный труд, в котором рассмотрен комплекс вопросов, связанных с применением и использованием автомобилей и тракторного оборудования на открытых горных работах, обобщен отечественный и зарубежный опыт, разработаны и представлены в оригинальном изложении тяговые расчеты, рассмотрен рациональный режим работы, обслуживания и ремонта технических средств, намечены пути повышения эффективности автотранспорта на карьерах.

Значительным вкладом в научно-техническую литературу явилась его монография «Современный карьерный транспорт» (1960 г.), в которой впервые всесторонне рассмотрены и оценены для различных горно-технических условий основные виды карьерного транспорта, а также основные тенденции технического прогресса транспорта открытых работ.

В 1962 г. выходит из печати следующая большая монография «Научные основы проектирования и эксплуатации автомобильного транспорта на открытых горных разработках», в которой обобщены и систематизированы материалы многолетних теоретических и экспериментальных исследований, практические данные отечественного и зарубежного опыта, технико-экономический анализ и оценка автомобильного транспорта в различных условиях открытых горных работ. В научном отношении по полноте и разносторонности исследования данная монография является самым крупным трудом последних лет в области карьерного транспорта.

В конце 1965 г. выходит из печати монография «Комбинированный карьерный транспорт». В этой книге обобщены материалы по комбинированным видам транспорта, научно обоснованы условия и область их применения, проанализирован зарубежный и отечественный опыт, проектные решения; даны аналитические расчеты и установлена экономическая эффективность отдельных видов транспорта и их комбинаций. Поскольку применение транспортных комбинаций являлось наиболее прогрессивным направлением развития современного карьерного транспорта, монография приобрела большую актуальность и была одобрительно встречена научно-технической общественностью.

В 1972 г. в издательстве «Наука» в соавторстве с В. Л. Яковлевым под редакцией академика Н. В. Мельникова выходит монография «Научные основы проектирования карьерного транспорта», в которой заложены научные основы формирования транспортных систем глубоких карьеров.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ АКАДЕМИИ НАУК СССР

МЕЛЬНИКОВ НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

Президиум Уральского
филиала АН СССР
М. В. Василеву.

Глубокоуважаемый
Михаил Владимирович!

Разрешите сердечно поблагодарить Вас и Президиум Уральского филиала АН СССР за высокую оценку моей работы, поздравление и добрые пожелания, присланные в связи с моим пятидесятилетием.

Большое спасибо Вам, Михаил Владимирович, за то, что Вы нашли время лично поздравить меня.

Хочу заверить Вас в моем горячем стремлении трудиться на благо развития науки и кто знает.

Шлю Вам наилучшие пожелания

Н. Мельников

13 марта
1959 г

Академик
НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ
МЕЛЬНИКОВ

г. Москва, Г-121,
Ростовская наб., 5, кв. 138
дом. тел. Г 7-17-20
служ. тел. Ж 1-90-10
доб. 21-79

«28» ноября 1966 г.

Проф. докт. техн. наук
М. В. Васильеву

Глубокоуважаемый и дорогой
Михаил Владимирович!

Сердечно поздравляю Вас, нашего крупного ученого-открытчика с знаменательной датой 60-летия со дня рождения.

Благодаря своему таланту и исключительной энергии Вы внесли большой вклад в горную науку. Вам принадлежат серьезные исследования и мощная по разработке мероприятий открытым способом.

Многие Ваши работы являются основополагающими для развития горной промышленности и оказали на нее влияние.

Ваша научно-организационная работа, и особенно, становление института горного дела на Урале заслуживает высокой оценки.

Все это дает Вам право считать себя горд благодарным и нужным. Все мы его высоко ценим.

Приятно, что свою великую дань в пользу Вы вносите в расцвете творческих сил.

Желаю Вам самых лучших пожеланий — доброго здоровья, полного благополучия и успехов в работе и дружеских отношений.

Н. Мельников

Вопросы обоснования рациональных автосамосвалов и условий их применения рассмотрены в монографии М. В. Васильева «Эксплуатация карьерного транспорта» (М., Недра, 1979 г.) в соавторстве с В. П. Смирновым и А. А. Кулешовым.

В монографии «Транспорт глубоких карьеров» (М., Недра, 1983 г.) и в коллективной монографии под редакцией М. В. Васильева «Транспортные процессы и оборудование на карьерах» (М., Недра, 1986 г.) систематизированно изложен широкий круг проблем одного из важнейших технологических процессов на карьерах и методов их решения, что является значительным вкладом М. В. Васильева в теорию и практику открытых горных разработок.

Наиболее значительными работами, выполненными непосредственно М. В. Васильевым или под его руководством, являются:

1. Научная оценка целесообразности расширения эксплуатации месторождений и выявление путей интенсификации горного производства на востоке страны (Соколовско-Сарбайское, Качканарское, Бакальское, Орско-Халиловские, Нижне-Тагильские, Кемпирсайские и другие месторождения). Оценка перспективы развития открытого способа разработки, определение масштабов производства, обоснование технического направления и установление основных технико-экономических показателей для ряда намеченных к освоению месторождений (Серовских бурохромистых, Североуральских марганцевых и др.).

2. Разработка основных направлений научных исследований, технического прогресса, новых технологических схем производства, средств комплексной механизации и основного и вспомогательного оборудования для железорудных карьеров, использованных при составлении перспективных планов развития отрасли.

3. Создание научных основ проектирования и эксплуатации автомобильного транспорта на открытых горных разработках, выявление и доказательство больших преимуществ этого вида транспорта, его технико-экономической эффективности и целесообразности широкого применения; разработка новой методики тяговых и эксплуатационных расчетов, а также рациональных режимов работы карьерного автомобильного транспорта. Это способствовало значительному расширению применения на карьерах большегрузного автомобильного транспорта, удельный вес которого в перевозках на рудных карьерах возрос с 15 % в 1950 г. до 45 % в 1966 г.

4. Разработка технического ряда и основных параметров новых большегрузных автомобилей, предложение и внесение коренных изменений и усовершенствований в конструкцию автомашин, обоснование целесообразности выпуска дизель-электрических самосвалов, применения газовых турбин, гидрозамедлителей и других нововведений, положенных в основу при создании карьерных автомобилей на Белорусском, Могилевском и Кременчугском заводах и способствовавших значительному улучшению качества и надежности машин.

5. Обоснование с применением современных научных методов и счетно-вычислительной техники области и границ применения прогрессивных комбинированных видов транспорта, установление основных па-

раметров их технических средств, разработка принципиальных положений теории комбинированного автомобильно-конвейерного транспорта в системе поточного производства, являющейся ведущим техническим направлением открытой разработки рудных месторождений на ближайшее будущее.

6. Предложение новых видов карьерного транспорта и обоснование сферы их применения: автомобильные подъемники, вертолетный транспорт и монорельсовые дороги — с разработкой принципиальных транспортных схем и основных типоразмеров оборудования, нашедших отражение в проектных разработках (автомобильные подъемники — алмазный карьер Айхал) и практическое осуществление (вертолеты — нагорные карьеры Средней Азии).

7. Создание и опытно-промышленные испытания схем циклично-поточной технологии при разработке скальных пород и руд.

М. В. Васильев являлся не только крупным организатором в науке, не только известным ученым, но и основателем научной школы по карьерному транспорту. Его интерес к проблемам транспорта открытых горных разработок, сформировавшийся еще 1950-е годы, не ослабевал практически весь период его творческой деятельности. Защитив в 1954 г. кандидатскую диссертацию по конвейерному, а в 1961 г. докторскую по автомобильному транспорту, М. В. Васильев приступил к созданию творческого коллектива, широко охватывающего проблемы карьерного транспорта. Заражая всех, кто с ним работал, неукротимой энергией, верой в собственные силы, величайшим трудолюбием, М. В. Васильев собирал вокруг себя способную, перспективную молодежь, создавал ей необходимые условия, поручал серьезные работы. При высочайшей требовательности, полной самоотдаче, настоящем творческом горении формировался научный коллектив лаборатории карьерного транспорта, внесший впоследствии заметный вклад в горную науку, теорию и практику. Основное ядро творческого коллектива составили Е. П. Дороненко, В. Л. Яковлев, В. С. Волотковский, Б. В. Яковенко, С. Л. Фесенко, В. М. Попов, В. П. Смирнов, А. А. Котяшев, Г. П. Воробьев, ставшие впоследствии известными специалистами.

Главные направления исследований лаборатории тесно смыкались с проводимым в этот период техническим перевооружением горнодобывающих предприятий, их реконструкцией, развитием транспортных средств, коренным улучшением использования горнотранспортного оборудования. Все это осуществлялось на солидной научной основе, которой стал большой объем комплексных исследований по вопросам проектирования, планирования, организации и управления карьерным транспортом.

В 1973 г. на базе лаборатории организован отдел карьерного транспорта (зав. отделом В. Л. Яковлев). Основой для формирования отдела явилась созданная в 60 — 70-е годы М. В. Васильевым научная школа, включавшая специалистов по автомобильному, железнодорожному, конвейерному и другим видам транспорта. Активная деловая позиция и высокий творческий потенциал коллектива отдела обеспечили его ведущую роль в области карьерного транспорта в отечественной горной на-

уке. В соответствии с приказом по Минчермету СССР № 694 от 31.08.76 г. институт был утвержден головным по научно-техническому направлению «Карьерный транспорт». Широко развернутые научно-исследовательские работы отдела способствовали и во многом определяли формирование технической политики в области транспорта открытых горных работ, обосновывали рациональные направления развития различных видов карьерного транспорта, создание высокопроизводительного оборудования.

В развитии карьерного железнодорожного транспорта период после 70-х годов характеризовался активным поиском новых решений как в области применения, так и в создании нового оборудования. В эти годы были созданы локомотивы с автономным источником питания, тяговые агрегаты переменного и постоянного тока, думпкары грузоподъемностью 105 и 108 т. Отдел активно участвовал в создании и испытании этого оборудования. Выполнен большой объем работ как в теоретическом обосновании параметров транспортных средств, так и выборе рациональных условий и режимов эксплуатации. Существенный вклад внесен в реконструкцию железнодорожного транспорта горнодобывающих предприятий с переводом на тяговые агрегаты постоянного и переменного тока.

Интенсивный рост глубины карьеров, усложнение условий эксплуатации в стесненных условиях выдвинул в ряд наиболее актуальных задачу глубокого ввода железнодорожного транспорта в карьеры. Одним из наиболее перспективных ее решений являлось повышение уклонов железнодорожных съездов и применение внутрикарьерных тоннелей. В условиях тоннелей Сарбайского карьера изучены особенности эксплуатации железнодорожного транспорта, установлен рациональный режим работы тоннелей, их пропускная способность. Определены виды и объемы работ по текущему содержанию и ремонту, разработана структура обслуживания и нормативно-техническая документация. Цикл экспериментальных и теоретических исследований позволил решить ряд задач, связанных с обоснованием технологической и экономической целесообразности применения повышенных уклонов, а также разработать комплекс технических мероприятий для обеспечения высокоэффективной эксплуатации железнодорожного транспорта на уклонах 60 ‰ в глубоких карьерах.

В области карьерного автомобильного транспорта Институтом горного дела проводились исследования и разработки по следующим научным направлениям:

— совершенствование технических средств карьерного автомобильного транспорта большой грузоподъемности, обоснование и оптимизация типоразмерных рядов и разработка ТЭТ на создание новых специализированных автосамосвалов, отвечающих требованиям открытых горных работ;

— исследование и обоснование оптимальных горнотехнических параметров и технологических режимов эксплуатации автосамосвалов большой и особо большой грузоподъемности в рабочей зоне карьера;

— разработка, испытание в промышленных условиях и внедрение рациональных параметров и конструкций автодорог технологического назначения, обеспечивающих эффективную работу автосамосвалов.

В направлении создания и совершенствования карьерных автосамосвалов наиболее значимым в теоретическом плане является цикл работ по испытанию новых моделей автосамосвалов БелАЗ грузоподъемностью 75, 110 и 180 т, импортных автосамосвалов HD-1200, HD-1600M, P-170, разработка ТЭТ на создание автосамосвалов грузоподъемностью 230 — 280 т, дизель-троллейвозов на базе автосамосвала БелАЗ-7519 грузоподъемностью 110 т.

Выполнены «Комплексная программа НИР по развитию технологического автотранспорта на карьерах МЧМ СССР» и «Программа научно-исследовательских работ по нормированию, экономии топлива и смазочных материалов на автотранспорте отрасли».

Комплекс экспериментальных и теоретических работ завершен разработкой норм выработки на транспортирование горной массы автосамосвалами грузоподъемностью от 27 до 120 т, разработкой рекомендаций по эффективной организации в карьерах открытых стоянок технологического автотранспорта и дифференциальных норм расхода ГСМ для автосамосвалов грузоподъемностью от 27 до 120 т, обоснованием условий эффективной эксплуатации на карьерах импортных автосамосвалов HD-1200 (Комацу, Япония, 120 т) и P-170 (Юклид, США, 154 т). Определены рациональные сроки службы автосамосвалов грузоподъемностью 27 — 180 т, получены закономерности и взаимосвязи между сроком эксплуатации (пробегом) и производительностью автомобилей.

Ряд научных разработок, оформленных в виде нормативов, методик и рекомендаций отраслевого и межотраслевого характера, включен в «Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий черной металлургии с открытым способом разработки» института Гипроруда. Комплекс работ по параметрам, конструкции одежд и технологии строительства карьерных автодорог завершен «Руководством по устройству и механизации строительства карьерных автодорог для автосамосвалов грузоподъемностью 27 — 280 т» (1984 г.). Рекомендации по выбору параметров карьерных автодорог вошли составной частью в новые СНиП 2.05.07-85 «Промышленный транспорт», разработанные институтом ПромтрансНИИпроект Госстроя СССР (1986 г.).

Для всех предприятий, эксплуатирующих автомобильный транспорт, рекомендована номенклатура и количество дорожно-строительных машин с учетом объемов работ и структуры технологического автопарка. На ряде ГОКов (Михайловский, Лебединский, Донской, Костомукшский) внедрены разработки по строительству и содержанию автодорог, улучшены условия эксплуатации автотранспорта.

Выполнен цикл работ по повышению надежности большегрузных автосамосвалов и улучшению состояния ремонтного хозяйства отрасли.

Проведена комплексная оценка состояния производственных баз автомобильного транспорта на карьерах. Разработан и утвержден «Перспективный план развития производственных баз карьерного автотранспорта (на период до 2000 года)», в котором, в соответствии с генеральной схемой развития сырьевой базы черной металлургии, определены объемы автотранспортных перевозок и их характеристика, структура парка и основные параметры производственных баз.

Дальнейшие работы направлены на ускорение научно-технического прогресса в области карьерного автомобильного транспорта, создания и внедрения автосамосвалов сверхбольшой грузоподъемности, позволяющих повысить производительность труда в 2 — 3 раза и значительно снизить себестоимость транспортирования горной массы, а также на комплекс исследований, способствующих резкому повышению эффективности карьерного транспорта.

Основными направлениями исследований в области конвейерного транспорта были:

— повышение эффективности применения конвейерного транспорта путем увеличения эксплуатационной надежности, технического уровня и долговечности основных ленточных конвейеров;

— установление областей целесообразного применения различных видов конвейеров;

— создание конвейерных лент, по своим характеристикам наиболее полно отвечающих условиям транспортирования скальной горной массы на карьерах;

— разработка вспомогательного оборудования, обеспечивающего полную механизацию обслуживания конвейеров.

Одними из первых выполнены исследования по применению ленточных конвейеров для транспортирования скальной горной массы на карьерах. Совместно с НИИРП разработаны конструкции лент для транспортирования скальных пород и руд, в частности, с повышенной поперечной прочностью. Эти конструкции лент имеют в полтора-два раза более высокий срок службы, чем ленты старого типа.

Издано «Руководство по выбору и эксплуатации конвейерных лент на горнорудных предприятиях Министерства черной металлургии СССР», а в последующем — «Методика выбора параметров резинотканевых конвейерных лент для карьеров и дробильных фабрик предприятий черной металлургии при помощи ЭВМ» (1982 г.).

По транспортным системам и применению комбинированных видов транспорта исследования проводились по следующим направлениям:

— разработка научных основ формирования транспортных систем глубоких карьеров;

— разработка научных основ проектирования и эксплуатации комбинированных видов транспорта на карьерах;

— обоснование перспектив развития отдельных видов и систем транспорта и разработка предложений по повышению эффективности их эксплуатации на железорудных карьерах.

К наиболее значимым в научном и практическом плане результатам следует отнести разработку методики выбора вида карьерного транспорта. В 1973 г. методика была издана массовым тиражом и нашла широкое применение при исследованиях и проектировании карьерного транспорта. С ее использованием ИГД МЧМ СССР в содружестве с проектными институтами Гипроруда, Южгипроруда, Уралгипроруда, Уралгипрошахт установлены рациональные технологические схемы транспорта карьеров Оленегорского, Северного, Криворожского, Стойленского, Коршуновского, Качканарского, Полтавского, Ингулецкого и других горно-

обогатительных комбинатов черной металлургии, комбината Ураласбест и ряда других карьеров.

К основным перспективным направлениям исследований отдела, обеспечивающим ускорение научно-технического прогресса на карьерном транспорте, относятся:

1. Обоснование закономерностей формирования транспортных систем крупных глубоких карьеров, установление зоны эффективного применения различных видов транспорта; оценка научно-технического уровня карьерного транспорта отрасли и обоснование путей его повышения.

2. Расширение сферы применения конвейерного транспорта: установление предпочтительных условий и областей применения различных типов конвейеров (крутонаклонных, пластинчатых, ленточно-тележечных, многоприводных) и оптимизация их параметров.

3. Создание автосамосвалов особо большой грузоподъемности, изыскание способов повышения надежности и долговечности автосамосвалов, освоение дизель-троллейвозного транспорта.

4. Глубокий ввод электрифицированного железнодорожного транспорта на нижние горизонты карьеров с использованием повышенных уклонов съездов, внутрикарьерных тоннелей, глубоких траншей внешнего заложения; широкое освоение уклонов путей 50 — 60 ‰ на карьерах; решение задач комплексной механизации строительства и содержания путей на повышенных уклонах.

5. Решение задачи комплексной механизации вспомогательных процессов на карьерном транспорте; создание, испытание и внедрение вспомогательного оборудования, обеспечивающего снижение трудозатрат на обслуживание и ремонт; разработка роботизированной техники ремонта транспортных средств, современных структур производственных баз, обеспечивающих высокий уровень технической готовности транспорта.

За 25-летний период, прошедший со времени создания Института горного дела, научной школой, возглавляемой профессором, доктором технических наук М. В. Васильевым подготовлено около 40 кандидатов и один доктор технических наук. Организованы и проведены конференции, семинары и совещания по проблеме глубоких карьеров, цикличнопоточной технологии; развитие техники и технологии карьерного транспорта, пути создания и эксплуатации транспортных машин и устройств, основные направления совершенствования отдельных видов транспорта и обоснование их применения рассматривались на пяти всесоюзных научно-технических конференциях по карьерному транспорту, состоявшихся в Свердловске в 1959, 1966, 1973, 1978 и 1985 годах. Результаты исследований по карьерному транспорту за этот период опубликованы более чем в 1000 научных статей, 30 книгах и 60 брошюрах, защищены 50 авторскими свидетельствами на изобретения, отмечены премией Совета Министров СССР, Государственной премией УССР, 27 медалями ВДНХ и др. Рост глубины карьеров и масштабов горного производства ставит проблемы транспорта в ряд наиболее актуальных, во многом определяющих эффективность и перспективы открытого способа разработки. Поэтому одной из важнейших наших задач является расширение объема

и повышение качества исследований по проблемам транспорта, укрепление этого научно-технического направления в институте, основанного М. В. Васильевым.

За заслуги в развитии горной науки, достигнутые результаты по совершенствованию горнорудного производства и прогнозированию научно-технического прогресса открытых горных работ в черной металлургии М. В. Васильеву в 1969 г. присвоено звание «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР». В 1982 г. он удостоен звания лауреата премии Совета Министров СССР, а в 1984 г. — лауреата Государственной премии Украинской ССР. Также М. В. Васильев награжден орденами Трудового Красного Знамени, «Знак Почета», девятью медалями Советского Союза, Почетными грамотами.

Председатель Научного совета РАН
по проблемам горных наук,
Советник Президиума РАН,
академик

К. Н. Трубецкой

Член Президиума УрО РАН,
Советник РАН,
член-корр. РАН

В. Л. Яковлев

М. В. ВАСИЛЬЕВ — СОЗДАТЕЛЬ ИНСТИТУТА ГОРНОГО ДЕЛА

Прежде всего я хотел бы отметить, что мы называем М. В. Васильева создателем Института горного дела потому, что по сравнению с кем бы то ни было он сыграл во много раз бóльшую, причем решающую, роль в создании института.

К 1957 г., т. е. к моменту прихода Михаила Владимировича в ГГИ УФАН СССР, уже были некоторые предпосылки для создания академического Института горного дела в Свердловске. Во-первых, это развитая многоотраслевая горнодобывающая промышленность Уральского региона и, во-вторых, наличие в ГГИ УФАН СССР, первым директором которого был академик Л. Д. Шевяков, горного отдела численностью около 30 человек. Горный отдел был создан во главе с д. т. н. Л. Н. Быковым одновременно с ГГИ — в 1939 г. в составе 11 сотрудников. В 1940-х годах он пополнился будущими докторами наук, профессорами К. М. Чарквиани, Л. Е. Зубриловым, К. В. Кочневым, Б. В. Фаддеевым, а в 1950-х годах — рядом других специалистов.

Предпосылки были, а вопрос о создании Института горного дела не решался. Почему?

Во-первых, тематика научных исследований горного отдела не была целеустремленной, сосредоточенной на крупном направлении. Малочисленный отдел занимался многими проблемами помаленьку: подземной разработкой угля и рудных месторождений, открытыми работами и вентиляцией шахт, горными ударами и пожарами от самовозгорания на рудниках. Одним словом, отдел не имел своего научно-технического направления, знамени, под которым можно было бы создавать институт.

Во-вторых, в горном отделе не было лидера — ученого, который бы мог укрепить, сплотить коллектив и повести за собой. Академик Л. Д. Шевяков в 1944 году был переведен в Москву.

И, в-третьих, не решался вопрос о производственных площадях: горный отдел ютился в нескольких комнатах на 4-м этаже здания ГГИ в Почтовом переулке, поэтому дирекция ГГИ и Президиум УФАН вполне обоснованно считали вопрос о создании Института горного дела несозревшим.

Но вот в 1957 году по конкурсу на должность заведующего новой лабораторией открытых работ горного отдела избирается к.т.н. Михаил Владимирович Васильев. Ознакомившись с тематикой отдела и других институтов горного профиля, он приходит к выводу, что главным направлением исследований отдела должны стать открытые работы, так как, с одной стороны, они развивались в то время очень бурно и требовали решения многих вопросов, а с другой стороны, явным было отставание в развитии науки и создании научных учреждений по этому направлению.

Этот прогрессивный, отвечающий потребностям производства вывод Михаила Владимировича нашел признание и поддержку в дирекции ГГИ, в Президиуме УФАН СССР и постепенно, не без борьбы, и в коллективе горного отдела, в котором преобладали подземщики. Были также замечены и признаны неутомимая, прямо-таки юношеская энергия, исключительное трудолюбие, работоспособность и большие организаторские способности Михаила Владимировича. Уже в следующем, 1958, году он назначается заместителем председателя Президиума УФАН СССР, а в начале 1959 года — заведующим горным отделом (по совместительству). Михаил Владимирович резко активизирует деятельность горного отдела, его связи с производством, практическую направленность и внедрение НИР. Вовсю разворачиваются исследования по открытым работам.

Научный и организаторский авторитет Михаила Владимировича особенно сильно вырос после проведенных им выездных сессий Президиума УФАН СССР в Оренбурге и Перми и защиты в 1961 году докторской диссертации на тему «Основные вопросы развития открытых разработок с автомобильным транспортом». Установились новые и укрепились имевшиеся деловые контакты со многими руководителями горных предприятий и промышленности Урала, центральных ведомств, с ведущими учеными академии наук, вузов, отраслевых горных институтов.

Куклин И. С., к.т.н.,
зам. директора Института с 1977 по 1987 г.

М. В. ВАСИЛЬЕВ — ОСНОВАТЕЛЬ УРАЛЬСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ПО КАРЬЕРНОМУ ТРАНСПОРТУ

Возглавив Институт горного дела, Михаил Владимирович поставил перед собой задачу создать творческий коллектив, способный на высоком научном уровне решать проблемы горнорудного производства. Для этого надо было подготовить научные кадры высшей квалификации. Обладая исключительной работоспособностью, Михаил Владимирович Васильев на личном примере продемонстрировал ускоренную подготовку своей докторской диссертации. Достаточно сказать, что через 3,5 года после прихода в УФАН, несмотря на огромную административную загруженность, он сумел написать и в 1961 году в Институте горного дела Академии наук СССР защитить докторскую диссертацию на тему «Основные вопросы развития открытых разработок с автомобильным транспортом». Этот факт послужил стимулом другим.

В период 1965 — 1984 гг. в институте успешно защитили докторские диссертации П. П. Бастан, Л. Е. Зубрилов, Н. П. Влох, Б. В. Фаддеев, А. Н. Шилин, С. С. Филатов, В. А. Щелканов, В. Л. Яковлев, В. М. Сенук, В. Г. Зотеев. Что касается подготовки кандидатов наук, то с приходом М. В. Васильева в УФАН институт ежегодно пополнялся 10 — 15 новыми кандидатами технических наук.

С ростом института совершенствовалась его структура, создавались новые лаборатории, научно-методические и технические подразделения, обеспечивавшие планирование тематики исследований, внедрение законченных работ в производство и координацию НИР в горнорудном деле отрасли.

М. В. Васильев — один из ведущих ученых в стране по открытой разработке месторождений полезных ископаемых. Под его руководством разработан перспективный прогноз развития и технического перевооружения горнорудных предприятий черной металлургии СССР. Он один из инициаторов и руководителей научно-исследовательских работ по изысканию и созданию циклично-поточной технологии открытой добычи руд, эффективность которой подтверждена практикой.

М. В. Васильеву принадлежит формирование важнейшего раздела горной науки — карьерного транспорта. Опубликованные им монографии по карьерному транспорту являются основополагающим руководством не только в нашей стране, но и за рубежом.

Научная деятельность М. В. Васильева тесно связана не только с горнорудными предприятиями, но и с заводами — изготовителями новой горной техники. Под его руководством сотрудниками института разработаны рекомендации по развитию всех видов карьерного транспорта, даны обоснования его типажа, что служит основой конструирования нового карьерного оборудования.

В общем, в начале 60-х годов стало ясно, что горный отдел Горно-геологического института УФАН СССР взял новое, актуальное научно-техническое направление, могущее сделать честь крупному институту — открытые разработки рудных месторождений. Также стало ясно, что в отделе появился лидер, способный создать и возглавить институт. Благодаря усилиям Михаила Владимировича наметилось и решение вопроса о производственных площадях — строительство здания ИГД и Института энергетики на Первомайской — угол С. Ковалевской. Поэтому ходатайство о создании ИГД было признано вполне обоснованным и нашло поддержку во всех инстанциях — от ГГИ до АН и Совета Министров РСФСР. И в феврале 1962 г. Институт горного дела был создан, его директором назначен д. т. н. Васильев М. В.

Но официальное создание института обозначало только начало весьма трудного реального перерастания горного отдела в институт. Возникали и непредвиденные серьезные осложнения: так, уже в следующем, 1963, году институт, как и многие другие технические институты, был выведен из состава АН СССР и передан в ведение Госкомитета по черной и цветной металлургии СССР, а еще через два года передан Минчермету СССР. При каждой передаче нарушались налаженные контакты, связи, договоренности, многое приходилось начинать с нуля, кое-что безвозвратно утрачивалось. И в такой обстановке только неутомимая энергия, целеустремленность, организованность Михаила Владимировича, его способности и богатый опыт руководителя позволили институту высокими темпами успешно развиваться, решая и внешние, и внутренние проблемы.

Результаты исследований по технологии открытых горных работ и карьерному транспорту, выполненные М. В. Васильевым совместно с учениками, опубликованы в 26 монографиях, 46 брошюрах и 600 статьях. По различным вопросам горнорудного производства за период 1939 — 1987 гг. М. В. Васильевым только в Горном журнале опубликовано 90 статей.

Научную деятельность М. В. Васильев умело сочетал с большой организаторской работой. Он состоял членом научно-технического совета МЧМ СССР и Совета Академии наук СССР по физико-техническим проблемам разработки полезных ископаемых, членом ряда проблемных советов ГКНТ, институтов горного профиля. Михаил Владимирович был председателем Совета по координации научно-исследовательских работ горнорудной подотрасли черной металлургии СССР и многие годы — председателем секции горнодобывающей промышленности и геологии научно-практической конференции Свердловского обкома КПСС.

Михаил Владимирович выполнял редакционно-издательскую работу, являясь председателем редакционного совета издательства «Недра» по Уралу, заместителем редактора шеститомного издания «Оборудование для механизации производственных процессов на карьерах», членом редколлегии ежегодного издания «Шахтный и карьерный транспорт».

Михаил Владимирович был организатором всесоюзных конференций по карьерному транспорту, проводимых в институте, участником многих международных горных конгрессов и конференций, где выступал

с докладами по актуальным вопросам горной науки и горнорудного производства.

В работе юбилейной научно-технической сессии, посвященной 250-летию Высокогорского железного рудника и проведенной в г. Нижнем Тагиле летом 1971 г., принял участие академик Н. В. Мельников, который лично попросил М. В. Васильева взять на себя подготовку и организацию проведения сессии, а также публикацию докладов.

Наибольший интерес представляет доклад Н. В. Мельникова, посвященный уральской школе горняков-открытчиков. Н. В. Мельников убедительно показал, что уральская школа горняков-открытчиков создана заведующим кафедрой СГИ проф. Н. А. Стариковым, который подготовил сотни горных инженеров, и в том числе известных ученых, таких как И. Р. Ворошилин, Н. В. Мельников, М. В. Васильев, П. Э. Зурков, М. Г. Новожилов, Б. В. Фаддеев, С. И. Попов. Таким образом, Н. В. Мельников в своем докладе подвел своеобразный итог 250-летию существования на Урале горнорудного производства, подчеркнул актуальность создания в годы советской власти уральской школы горняков-открытчиков. Для нас важно, что М. В. Васильев относится к первому поколению учеников уральской школы Н. А. Старикова.

Зубрилов Л. Е. проф., д. т. н.,
зав. лабораторией ПГР Института
с 1961 по 1970 г.

ДВАДЦАТЬ ЛЕТ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ С М. В. ВАСИЛЬЕВЫМ

Почти 20 лет моей жизни, прошедшие под непосредственным руководством Михаила Владимировича, вспоминаются как счастливое время. Это был период становления института, формирования творческих коллективов отделов, лабораторий.

Кипучая энергия и незаурядные способности М. В. Васильева позволили быстро создать авторитетный научный коллектив. В основу был положен принцип сочетания академического уровня исследований с практической их ценностью. Признанием значимости института стало его назначение центральным в системе черной металлургии страны. Став центральным НИИ и головным по открытым работам в период строительства крупнейших ГОКов — Коршуновского, Ковдорского, Оленегорского и других, — институт внес существенный вклад в повышение технического уровня проектов и освоение их в производстве. Высокую оценку научным достижениям коллектива неоднократно давали известные ученые — академики Н. В. Мельников, М. И. Агошков, В. В. Ржевский. Невозможно отделить деятельность руководителя от работы научного коллектива. Поэтому высокая оценка достижений института целиком относится и к директору.

Работая непосредственно под руководством Михаила Владимировича, я был проводником его идей, учился у него ставить и решать крупные научно-технические проблемы. Мне нравился его стиль работы — активный, энергичный, деловой. Дело, работа были смыслом его жизни. И в этом он подавал личный пример всем. Интенсивная каждодневная работа без каких-либо исключений.

Его перу принадлежит ряд видных теоретических работ. Книги по карьерному транспорту широко известны и используются специалистами, преподавателями вузов до настоящего времени.

Михаил Владимирович не ограничивался кабинетной работой, он часто выезжал на горные предприятия для оказания помощи в освоении новой технологии. С этой целью был создан филиал института на базе крупнейшего Соколовско-Сарбайского ГОКа.

Отмечая 60-летие Михаила Владимировича, мы подарили ему портативный магнитофон. Ведущие ученые института записали на пленку свои пожелания, поздравления. Пожалуй, лучше всех это выразил А. Н. Шилин, отметивший, что юбиляр не умеет отдыхать. Да, это так. Мы пытались организовать коллективный отдых, как-то в воскресенье выехали на оз. Балтым, но уже через 1,5 — 2 часа Михаил Владимирович начал скучать и рвался домой, к любимой работе. Он не любил отдыхать, но и не мешал. До сих пор наши коллеги проф. А. Ю. Дриженко, А. Г. Шапарь, М. С. Четверик и многие другие очень тепло вспоминают научно-технические конференции в ИГД и коллективные поездки на горные предприятия в Асбест, Первоуральск, Шабры и др.

В работе он был требовательным, порой резким, но не грубым. Иногда «давил» своим авторитетом. Я разделял его взгляды и относился с большой симпатией. Однако иногда не соглашался с ним, спорил, отстаивал свое мнение. Высокий уровень его как руководителя проявлялся в терпимости. Он никогда не мстил за расхождения во мнениях.

Нельзя не отметить умение Михаила Владимировича подбирать и воспитывать кадры. Достаточно назвать широко известных ученых: Б. В. Фаддеева, А. Н. Шилина, П. П. Бастана, С. С. Филатова, Н. П. Влоха, В. М. Сенука, В. Г. Зотеева, В. М. Аленичева, Н. Л. Стахеева, Б. Г. Киенко и многих других. Особенно мощная научная школа была создана М. В. Васильевым по карьерному транспорту. Высокая эффективность отдела карьерного транспорта основана на большой творческой отдаче ведущих работников — В. Л. Яковлева, С. Л. Фесенко, В. П. Смирнова, В. С. Волотковского и многих других.

Отмечая очередной юбилей М. В. Васильева, мы видим, что высказанная им в период становления института идея о сочетании фундаментальной науки с практической полезностью решений успешно реализуется в последние годы. Это видно по отчетам, а также публикациям итогов работы в периодической печати. Продуктивность сочетания науки и практики подтверждается быстрым ростом кадров высшей квалификации. Докторские диссертации защитили многие научные работники ИГД.

М. В. Васильев — безусловно самобытная личность, крупный ученый и организатор науки. Со временем и на расстоянии особенно рельефны крупные достижения и не вспоминаются сиюминутные огорчения.

Хочется поблагодарить руководство института за постоянную добрую память о Михаиле Владимировиче Васильеве. Память о предшественниках поднимает современников на новый, более высокий уровень познания, что и подтверждается эффективностью работы коллектива.

Щелканов В. А., проф., д. т. н.,
зам. директора Института с 1964 по 1978 г.

СОДРУЖЕСТВО С М.В. ВАСИЛЬЕВЫМ В НАЧАЛЕ ТВОРЧЕСКОГО ПУТИ

Впервые встретиться с Михаилом Владимировичем и познакомиться мне посчастливилось летом 1954 года на Высокогорском руднике, где я руководил учебно-ознакомительной практикой студентов-открытчиков Свердловского горного института. Это было интересное и замечательное время. Мы все были молоды, полны надежд и энтузиазма. За несколько месяцев до этого я защитил кандидатскую диссертацию «Применение мощных автосамосвалов на открытых горных работах». Это была одна из немногих в послевоенные годы кандидатская диссертация по открытой разработке и, бесспорно, первая по проблеме карьерного транспорта. Массовый выпуск карьерных автосамосвалов грузоподъемностью 5 т и даже таких мощных, как ЯАЗ-210Е грузоподъемностью 10 т и, тем более, начавшееся производство 25-тонных МАЗ-525 ставили много вопросов на горных предприятиях, стремившихся применять эти, судя по зарубежной практике, очень эффективные транспортные средства. Интерес к ним был большой, и поэтому в эти годы мне приходилось часто выступать с докладами и лекциями.

Так было и в этот раз. Мне предложили выступить перед ИТР рудника. Зал был небольшой, и среди слушателей заметно выделялся явно заинтересованный слушатель, как мне показалось по его внешнему виду. Он выделялся из общей среды не только своим внешним «директорским» видом, одеждой, осанкой, живыми умными глазами, строгими правильными чертами лица, но и тем, что, держа в руках блокнот, он не просто делал заметки, а почти непрерывно записывал.

Затем было немало вопросов, в основном общего плана, познавательных, и, пожалуй, только главный инженер треста «Уралсибэкскавация», как он представился, начал задавать вопросы о режимах движения, тормозных путях, износе шин, расходе горючего, организации ремонта, т. е. по всему диапазону теории и практики карьерного автотранспорта.

После окончания лекции он подошел ко мне, протянул руку, представился: «Васильев Михаил Владимирович. Рад с Вами познакомиться. Хотелось бы многое с Вами обсудить». Я не помню, в тот же или на следующий день мы до позднего вечера беседовали у меня в номере гостиницы, а потом встречались еще раза два или три. Он недавно, как и я, защитил свою кандидатскую диссертацию по конвейерному транспорту на строительных карьерах, а я тоже был в роли «опытного» кандидата наук, только что прошедшего испытание защитой на совете в горном институте. Речь шла о перспективах и проблемах открытых горных работ, карьерного транспорта, о подготовке горных инженеров.

Через несколько лет, когда Михаил Владимирович стал заведующим лабораторией в Горно-геологическом институте УФАНа наши встречи, и деловые, и семейные, стали частыми. Вспоминаю, что меня поразила его

домашняя научно-техническая библиотека, в которой было немало не только книг, которых мне не приходилось ранее встречать даже в списках литературы, но и множество технических журналов давно прошедших лет.

Наше активное творческое содружество в 50 — 60-е годы было вполне естественным, так как в основе его лежали одинаковые научные интересы.

С весны 1958 года Михаил Владимирович готовил, а в начале 1959 года провел Всесоюзную конференцию по карьерному транспорту, а я работал в оргкомитете ученым секретарем. В 1958 г. вместе с М. Г. Новожиловым и С. А. Волотковским, которые в те годы заведовали кафедрами в Днепропетровском горном институте, мне довелось участвовать в рецензировании книги Михаила Владимировича «Автомобильный и тракторный транспорт на карьерах». В 1961 году Михаил Владимирович пригласил меня вместе с Б. В. Фаддеевым к написанию книги «Наклонные подъемники на карьерах», которая была издана Госгортехиздатом через год.

В процессе этих работ я понял, как Михаил Владимирович, работая на производстве и будучи занятым руководителем, сумел написать так много книг и статей. Работоспособность и целеустремленность его были поразительны. Казалось, он работает каждый день, включая выходные, по 24 часа без отдыха. Например, днем обсуждается какой-то вопрос, появляются новые данные, а на следующее утро у него уже готова в основном новая статья или проспект новой брошюры. Для меня работа вместе с ним была прекрасной школой.

В 1957 — 59 гг. я проводил дорожные испытания автосамосвалов МАЗ-525 на Сибайском карьере. На комбинате была сформирована небольшая исследовательская группа с участием работников автотранспортного цеха (Шаганский Р. Л., Лебедев А. М. и др.). На двух или трех автосамосвалах МАЗ-525 были установлены специальные устройства, стреляющие краской при нажатии на тормозную педаль, по всей трассе автодороги были расставлены большие нумерованные щиты, разделяющие участки дороги с различными уклонами. В этой работе немалую помощь нам оказал П. П. Бастан, который, будучи маркшейдером карьера, быстро вник в суть задачи и подсказал много полезного. Так я познакомился еще с одним интересным человеком, творческие и дружеские отношения с которым у нас длятся уже 30 лет.

Работа была интересной и, как всякая экспериментальная, требовала много усилий и времени. Мне приходилось выезжать в Сибай не один раз; как-то, кажется, в январе 1958 года, состоялась наша совместная поездка с Михаилом Владимировичем и его помощником А. Н. Субботиным на Сибайский и Блявинский рудники. Михаил Владимирович очень заинтересовался этими предприятиями, особенно Сибайским комбинатом, где был большой автотранспортный цех, накоплен многолетний опыт эксплуатации автотранспорта и где можно было собрать большой статистический материал по эксплуатационно-ремонтной службе. Я не придавал значения этим вопросам, а он, как опытный производственник, сразу увидел ценный материал для своей новой, очередной книги. Вскоре мы снова вернулись на Сибай и прожили там недели три, объединив

наши усилия. Я в свободное время, особенно вечером, обрабатывал для Михаила Владимировича какие-то статистические материалы, составлял таблицы и строил диаграммы, а он днем во время испытаний, видя нехватку наших сил, сам предлагал свои услуги и нередко с рулеткой в руке измерял вместе с А. Н. Субботиным отметки тормозных путей на дороге или ездил на автосамосвале рядом с водителем и вел хронометраж.

Это был, как мне представляется сейчас, очень активный творческий период в жизни Михаила Владимировича, когда он непосредственно сам «делал науку» своими руками. Позднее, став директором института, членом многих советов и всяких комиссий, он, конечно, не мог уделять много времени такой работе и как-то выразил мне по этому поводу сожаление, вспомнив наше творческое содружество в 50 — 60-е годы.

Хохряков В. С., проф., д. т. н.,
зав. кафедрой РМОС УГГУ (СГИ)
с 1962 по 1997 г.

ОСНОВНЫЕ ПЕЧАТНЫЕ ТРУДЫ М. В. ВАСИЛЬЕВА

МОНОГРАФИИ

Карьерный транспорт / М. В. Васильев. — Свердловск: Металлургиздат, 1949. — 242 с.

Автомобильный и тракторный транспорт на карьерах / М. В. Васильев. — Свердловск: Металлургиздат, 1957. — 432 с.

Современный карьерный транспорт / М. В. Васильев. — М.: Госгортехиздат, 1960. — 320 с.

Наклонные подъемники на карьерах / М. В. Васильев, Б. В. Фаддеев, В. С. Хохряков. — М.: Госгортехиздат, 1962. — 152 с.

Научные основы проектирования и эксплуатации автомобильного транспорта на открытых горных разработках / М. В. Васильев. — Свердловск, 1962. — 332 с. — (Труды / ИГД УФАН СССР. — Вып. 1).

Комбинированный транспорт / М. В. Васильев. — М.: Недра, 1965. — 307 с.

Внутрикарьерное складирование и перегрузка руд / М. В. Васильев. — М.: Недра, 1968. — 182 с.

Транспорт рудных карьеров / М. В. Васильев и др. — Свердловск: Средне-Уральское кн. изд-во, 1968. — (Труды / ИГД МЧМ СССР. — Вып. 19).

Современный карьерный транспорт / М. В. Васильев. — 2 изд., перераб. — М.: Недра, 1969. — 304 с.

Эксплуатация автомобильного транспорта на карьерах цветной металлургии / М. В. Васильев, А. Г. Сисин, Б. А. Тимофеев. — М.: Цветметинформация, 1969. — 80 с.

Моторная тяга поездов на карьерах / М. В. Васильев, С. Л. Фесенко. — Свердловск: Средне-Уральское кн. изд-во, 1971. — (Труды / ИГД МЧМ СССР. — Вып. 32).

Строительство, ремонт и обслуживание автомобильных дорог на карьерах / М. В. Васильев, В. П. Смирнов, А. А. Кудрявцев. — М.: Цветметинформация, 1971. — 82 с.

Научные основы проектирования карьерного транспорта / М. В. Васильев, В. Л. Яковлев. — М.: Наука, 1972. — 202 с.

Автомобильный транспорт карьеров / М. В. Васильев, З. Л. Сироткин, В. П. Смирнов. — М.: Недра, 1973. — 280 с.

Комбинированный транспорт на карьерах / М. В. Васильев. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1975. — 360 с.

Конвейеры большой протяженности на открытых работах / М. В. Васильев, В. С. Волотковский, Г. Д. Кармаев. — М.: Недра, 1977. — 248 с.

Эксплуатация карьерного автотранспорта / М. В. Васильев, В. П. Смирнов, А. А. Кулешов. — М.: Недра, 1979. — 280 с.

Железорудные карьеры / М. В. Васильев, К. М. Штукатуров, А. Ф. Ткачев. — М.: Недра, 1982. — 262 с.

Транспорт глубоких карьеров / М. В. Васильев. — М.: Недра, 1983. — 295 с.

Транспортные процессы и оборудование на карьерах / М. В. Васильев. — М.: Недра, 1986. — 240 с.

БРОШЮРЫ

Свальщик и путевой рабочий открытых разработок / М. В. Васильев. — Свердловск — Москва: Металлургиздат, 1944. — 52 с.

Современная транспортная техника на карьерах / М. В. Васильев. — Свердловск: СГИ, 1959. — 36 с.

Автомобильный транспорт на карьерах цветной металлургии / М. В. Васильев, А. Н. Субботин. — М.: ЦНИИТЭИ цветной металлургии, 1963. — 89 с.

Опыт механизации вспомогательных работ при колесном транспорте в карьерах / В.В. Ржевский, М. В. Васильев, М. В. Туловский, В. В. Истомин. — М.: ЦНИИТЭИ угля, 1964. — 86 с.

Оценка и перспективы развития сырьевой базы черной металлургии Челябинского района / М. В. Васильев, А. С. Вьюхина, Е. П. Дороненко, К. В. Зебзиев. В. М. Лац, Г. В. Парфенов, В. Е. Попов, Д. П. Троицкий, Б. В. Фаддеев, З. Н. Цветаева. — Свердловск: УФ АН СССР, 1964. — 68 с.

Совершенствование автомобильного транспорта и расширение области его применения на открытых горных разработках / М. В. Васильев. — М.: ЦНИИТЭИ уголя, 1964. — 18 с.

Технический прогресс автотранспорта на рудных карьерах / М. В. Васильев. — М.: ЦНИИТЭИ цветной металлургии, 1965. — 105 с.

Внутрикарьерные склады руд / М. В. Васильев. — М.: ЦНИИТЭИ цветной металлургии, 1966. — 82 с.

Карьерные рудоспуски и их эксплуатация / М. В. Васильев, К. Н. Серебренников. — М.: ЦНИИТЭИ цветной металлургии, 1966. — 92 с.

Опыт бульдозерного отвалообразования на рудных карьерах / М. В. Васильев. — М.: ЦНИИТЭИ цветной металлургии, 1966. — 72 с.

Опыт планирования работы карьерного транспорта с использованием математических методов и вычислительной техники / М. В. Васильев, Б. В. Яковенко, В. Л. Яковлев. — М.: Недра, 1966. — 52 с.

Увеличение грузоподъемности карьерных автомобилей / М. В. Васильев, Л. Ф. Гроссов. — М.: ЦНИИТЭИ черной металлургии, 1966. — 3 с.

Эстакадная перегрузка на карьерах / М. В. Васильев. — М.: ЦНИИТЭИ цветной металлургии, 1966. — 108 с.

Горная промышленность Урала за 50 лет советской власти / М. В. Васильев, П. П. Бастан, А. Н. Шилин. — Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1967. — 101 с.

Карьерный автотранспорт за рубежом(Обзор) / М. В. Васильев, Л. В. Конюхов. — М.: ЦНИИТЭИ цветной металлургии, 1968. — 93 с.

Научно-исследовательские работы Института горного дела / М. В. Васильев, В. А. Щелканов. — М.: ЦНИИТЭИ черной металлургии, 1968. — 14 с.

Применение конвейерной транспортировки скальных руд и пород на карьерах черной металлургии / М. В. Васильев. — М.: ЦНИИТЭИ черной металлургии, 1968. — 15 с. — (Сер. 16. — № 7).

Тягачи с навесным оборудованием на рудных карьерах / М. В. Васильев, В. В. Шарин, В. И. Промышленников. — М.: ЦНИИТЭИ цветной металлургии, 1968. — 89 с.

Эксплуатация автомобильного и железнодорожного транспорта на карьерах цветной металлургии / М. В. Васильев, А. Г. Сисин, Б. А. Тимофеев. — М.: Цветметинформация, 1969. — 80 с.

Опыт механизации ремонта железнодорожного подвижного состава на карьерах / М. В. Васильев, Г. А. Скопцов, В. Р. Леонов, С. Л. Фесенко. — М.: ЦНИЭИуголь, 1970. — 59 с.

Опыт эксплуатации автомобильного транспорта на карьерах треста Орджоникидземарганец / М. В. Васильев, Г. Л. Середа, В. М. Цыганов, Б. В. Яковенко. — Киев: УкрНИИНТИ, 1970. — 31 с.

Перспективы применения большегрузных самоходных скреперов на открытых рудных разработках / М. В. Васильев, Е. П. Дороненко, Ю. И. Жернаков. — Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1970. — 22 с.

Повышение эффективности автомобильного транспорта на карьерах черной металлургии / М. В. Васильев, В. П. Смирнов, А. А. Котяшев. — М.: ЦНИИТЭИЧМ, 1970. — 22 с. — (Сер. 16. — № 3).

Конвейерный транспорт на горнорудных карьерах за рубежом / М. В. Васильев. — М.: ЦНИИТЭИ черной металлургии, 1971. — 37 с. — (Сер. 1. — № 4).

Механизация вспомогательных работ на карьерах цветной металлургии / М. В. Васильев, Ю. Д. Гулевицкий, Я. Н. Дехтярев, Е. Б. Замятин, В. Н. Иванов, Б. К. Путятин, А. Л. Подсосов. — М.: Цветметинформация, 1971. — 106 с.

Развитие ремонтно-технической базы автомобильного транспорта карьеров черной металлургии / М. В. Васильев и др. — М.: ЦНИИТЭИ ЧМ, 1971. — 23 с. — (Сер.16. — № 4).

Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт автосамосвалов на карьерах / М. В. Васильев, Б. В. Яковенко, В. М. Цыганов. — Днепропетровск: Проминь, 1971. — 84 с.

Обобщение опыта и тенденций развития карьерного автомобильного и железнодорожного транспорта / М. В. Васильев. — М.: Гос. комитет Сов. Мин-ов СССР по науке и технике, 1972. — 35 с.

Создание поточной технологии и техники для добычи полезных ископаемых в скальных породах / М. В. Васильев. — М.: Гос. комитет Сов.Мин-ов СССР по науке и технике, 1972. — 26 с.

Технический прогресс и научные проблемы совершенствования добычи руд черных металлов / М. В. Васильев. — М.: Черметинформация, 1972. — 19 с.

Горнорудные предприятия Югославии / М. В. Васильев. — М.: Черметинформация, 1973. — 45 с.

Конвейерный транспорт на карьерах руд цветных металлов за рубежом / М. В. Васильев. — М.: ЦНИИТЭИ цветной металлургии, 1973. — 52 с.

Организация технической эксплуатации карьерного автомобильного транспорта (Методические указания) / М. В. Васильев, Б. В. Яковенко, А. А. Кудрявцев, А. Н. Трощенко. — М.: Недра, 1973. — 52 с.

Основные направления технического перевооружения предприятий горнорудной промышленности / М. В. Васильев, К. М. Штукатуров. — Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1973. — 15 с.

Совершенствование процессов технической эксплуатации автотранспорта на разрезах / М. В. Васильев, В. Я. Ужанов, А. А. Кудрявцев, Б. В. Яковенко. — М.: ЦНИЭИуголь, 1973. — 60 с.

Усреднение руд в СССР и за рубежом / М. В. Васильев, П. П. Бастан, Е. И. Ключкин, Ю. К. Федосов. — Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1973. — 100 с.

Автосамосвалы особо большой грузоподъемности на карьерах цветной металлургии / М. В. Васильев, В. П. Смирнов, В. Д. Штейн. — М.: Цветметинформация, 1975. — 75 с.

Строительство карьерных автомобильных дорог: ОИ / М. В. Васильев, В. П. Смирнов, В. С. Торов. — М.: ЦНИИТЭИ ЧМ, 1975. — 27 с. — (Сер. 1. Горнорудное производство. — № 3).

Совершенствование организации транспортных работ на карьерах: учеб. пос. / М. В. Васильев, Б. В. Яковенко, Б. А. Егин, А. К. Сухов, Л. Ф. Гроссов. — Л.: ЛГИ, 1976. — 68 с.

Состояние и пути совершенствования транспорта горнорудных карьеров СССР: ОИ / М. В. Васильев, В. С. Волотковский, М. Г. Потапов, В. П. Смирнов, Б. Н. Тартаковский, Б. В. Фаддеев, Б. В. Яковенко, В. Л. Яковлев. — М.: Черметинформация, 1976. — 33 с. — (Сер. 1. Горнорудное производство. — № 2).

Эксплуатация большегрузных карьерных автосамосвалов на Ингулецком ГОКе: ЭИ / М. В. Васильев, В. М. Епимахов, В. В. Цизман, А. А. Кудрявцев. — М.: ЦНИИТЭИ ЧМ, 1977. — 36 с. — (Сер. 1. — № 3).

Опыт и проблемы внедрения ЦПТ на рудных карьерах / М. В. Васильев, А. Г. Сисин. — М.: Цветметинформация, 1979. — 18 с.

Совершенствование технологических схем транспорта на железорудных карьерах СССР: ОИ / М. В. Васильев, В. Л. Яковлев, В. Л. Попов, Г. П. Воробьев. — М.: Черметинформация, 1980. — 29 с.

Анализ состояния и опыт работы зарубежных железорудных предприятий с открытым способом разработки (США, Канада, Австралия): ОИ / М. В. Васильев, А. И. Павлов, Г. А. Онуфриева. — М.: Черметинформация, 1981. — 59 с.

Внедрение больших уклонов на железнодорожном транспорте карьеров / М. В. Васильев, С. Л. Фесенко, В. Л. Яковлев и др. — М.: Недра, 1975. — 80 с.

Вскрытие и разработка глубоких железорудных карьеров в СССР и за рубежом: ОИ / М. В. Васильев, А. Ф. Ткачев, В. И. Прибылев. — М.: Черметинформация, 1981. — 39 с. — (Сер. 1. Горнорудное производство. — № 1).

Опыт открытой разработки рудных месторождений США / М. В. Васильев, Ф. И. Вереса, И. Ф. Граур, Л. А. Мизерницкий, В. А. Щелканов. — М.: Недра, 1981. — 154 с.

Совершенствование технологических автодорог на железорудных карьерах: ОИ / М. В. Васильев, Е. П. Шевченко, В. П. Смирнов, В.С.Торов. — М.: Черметинформация, 1981. — 37 с.

ЦПТ на зарубежных карьерах: ОИ / М. В. Васильев, А. А. Котяшев, А. И. Павлов, Г. А. Онуфриева. — М.: Черметинформация, 1983. — 55 с. — (Сер. 1. Горнорудное производство. — № 5).

Рациональные сроки службы карьерных автосамосвалов: ОИ / М. В. Васильев, В. П. Смирнов, Ю. В. Стенин. — М.: ЦНИИцветмет экономики и информации, 1984. — 28 с.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНСТИТУТА ГОРНОГО ДЕЛА УрО РАН

С. В. Корнилков, А. В. Глебов, А. А. Панжин

В своей деятельности Институт горного дела УрО РАН прежде всего основывается на богатом опыте предшествующих лет и накопленных традициях почти 70-летней истории. Сегодня Институт признан одной из наиболее крупных и устойчивых научно-исследовательских организаций, выполняющей широкий круг исследований по различным аспектам горного производства и обоснованию стратегии освоения минерально-сырьевых ресурсов Урала.

Изменения, произошедшие в Российской академии наук в последние годы, связаны прежде всего с реализацией пилотного проекта ее реструктуризации, принятием и утверждением нового устава РАН, ориентирующим академические организации не только на проведение фундаментальных исследований, но и на доведение их результатов до практического использования в народном хозяйстве. Коллектив ИГД УрО РАН в достаточной степени адаптировался к этим изменяющимся условиям. Во многом этому способствовал тот факт, что ветераны института являются яркими представителями школы М.В. Васильева, с честью выдержавшими трудные годы экономического кризиса, удержавшими от распада и развившими основные направления научной деятельности института, являющиеся его визитной карточкой.

Основными научными направлениями фундаментальных исследований являются:

— разработка теоретических основ стратегии освоения и комплексного использования минерально-сырьевых ресурсов;

— создание научных основ новых технологий разработки глубокозалегающих месторождений;

— исследование проблем геомеханики и разрушения горных пород.

Основные научные результаты, полученные работниками института за последнее десятилетие, важны не только для российской, но и мировой горной науки:

— *в области развития и поддержания сырьевой базы Урала* разработаны научные основы стратегии освоения минерально-сырьевых ресурсов и генеральные направления преодоления кризисных ситуаций в условиях значительного дефицита традиционных для Урала полезных ископаемых; разработаны концептуальные основы долгосрочного прогнозирования развития добычи минерального сырья как основы устойчивого развития горнопромышленных комплексов, а также геополитической и экономической безопасности государства в сложных природных и горно-геологических условиях;

— *исследованиями в области геодинамики горного массива* установлены величины и направления векторов современного поля природных и техногенных напряжений по линии сочленения крупнейшего в мире евразийского континента; разработаны теоретические и прикладные ас-

пекты использования характеристик внешнего природно-техногенного поля напряжений, имеющего тенденцию к периодическому изменению, и их влияния на напряженно-деформированное состояние конкретных объектов георесурсного потенциала Урала, их инфраструктурных комплексов и крупных урбанизированных агломераций;

— *исследованиями в области горной геомеханики* впервые доказано, что в волновом поле, возбуждаемом вблизи тектонического нарушения массива горных пород, присутствуют слабозатухающие периодические колебания, что дает основание отнести массив, вмещающий такое тектоническое нарушение, к сейсмически активной среде. Выявлены цикличные полигармоничные короткопериодные современные геодинамические движения, концентрирующиеся в зонах тектонических нарушений различных рангов, разработаны методики выделения консолидированных блоков, определяющих параметры напряженно-деформированного состояния массива при отработке месторождений;

— *исследованиями в области геотехнологии (открытой и подземной), а также управления качеством минерального сырья* предложена теория и методы формирования карьерного и подземного пространства, обеспечивающие высокоэффективное и безопасное извлечение полезных ископаемых при минимальном отрицательном воздействии на окружающую природную среду и ландшафтном техногенном воздействии на литосферу; исследованы технологические аспекты ресурсосбережения при разработке глубокозалегающих месторождений ограниченной длины с внутренним отвалообразованием; обоснованы условия применения новых типов транспортных машин: гусеничных автосамосвалов, троллейвозов, автосамосвалов с комбинированной энергоустановкой — и разработаны основные технические условия на их изготовление; разработан комплекс мероприятий и технологий, обеспечивающих рациональное освоение недр за счет селективной отгрузки на фабрику легко- и труднообогатимых руд и внедрения комбинированных методов переработки сырья с использованием гидрометаллургических процессов, новых синтезированных институтом реагентов типа АИФ, генератора для электроимпульсной обработки сырья, модернизированных флотационных машин колонного типа; на основе эффекта возникновения потенциалов на электродах, помещенных в ионогенную среду, разработан не имеющий аналогов в мире способ генерации электроэнергии перерабатываемым сырьем;

— *исследованиями в области разрушения горных пород* установлена степень влияния различных факторов на эффективность взрывного разрушения массива с использованием новых многокомпонентных взрывчатых веществ, обеспечивающих широкий диапазон изменения энергии взрыва; исследован механизм воздействия взрывного разрушения на прибортовой массив пород при короткозамедленном инициировании зарядов; выявлены закономерности, раскрывающие механизм разрушения горных пород блокированным и комбинированным сколом на вторую, предварительно образованную, свободную поверхность при шарошечном и комбинированном ударно-вращательном бурении. Разработана методика получения информации о структурных особенностях и свойст-

вах пород в массивах взрываемых блоков методом многоволновой сейсмометрии.

Начиная с 1999 — 2000 гг. значительно расширилась практическая реализация результатов фундаментальных исследований. Институт широко внедряет их как на предприятиях России (УГМК-холдинг: Гайский и Учалинский ГОКи; Евраз-холдинг: Высокогорский и Качканарский ГОКи; Нижнетагильский МК, АК «Алроса», комбинат «Магнезит», ОАО «Норильский никель», ОАО «Бурятзолото», ОАО «Карельский окатыш», Яковлевский рудник, Белоярская АЭС, ОАО «Взрывпром», ОАО «Волгабурмаш» и «Уралбурмаш», ОАО «Турбомоторный завод», ФГУП КБТМ и пр.), так и в ближнем зарубежье: Беларусь (РУПП «БелАЗ»), Казахстан (Донской ГОК), Узбекистан (Навоийский ГМК, рудник Мурунтау), Монголия (рудник Эрденет), Украина (Полтавский и Центральный ГОКи).

В последнее время в институте широко развиваются комплексные исследования, выполняемые несколькими его лабораториями с привлечением сторонних организаций. Подготовлен и согласован с Ростехнадзором РФ технологический регламент подземной отработки запасов трубки «Удачная» (АК «Алроса») с применением систем с обрушением, разрабатывается обоснование для проекта вскрытия рудника. Создана и защищена программа поддержания минерально-сырьевой базы комбината «Магнезит» до 2015 г., предусматривающая повышение степени комплексности и интенсивности эксплуатации, а также переработки минерального сырья. Разработаны технико-экономические показатели отработки Гаринского железорудного месторождения и южно-якутского железорудного узла, основанные на новых подходах к комплексному использованию недр и комплексному освоению территорий в сложных условиях. Разрабатывается технологический регламент отработки Эльгинского месторождения угля (Южная Якутия), сопровождающийся инженерно-геологическими изысканиями территории будущей промплощадки. С целью повышения степени извлечения полезного ископаемого из недр, уровня безопасности и экономичности подземной разработки выполняются геодинамические, геомеханические и технологические исследования для ОАО «Бурятзолото».

Совершенствуется методика оценки и мониторинга короткопериодных сейсмических колебаний, характеризующих текущее напряженно-деформированное состояние подрабатываемого массива, а также площадок строительства ответственных зданий и сооружений разного назначения, с целью предотвращения возникновения и развития техногенных катастроф. Методика базируется на использовании приборов спутниковой геодезии и создаваемой для этого объемной наблюдательной станции. Такие станции созданы и действуют на большинстве шахт Урала.

Развивается и совершенствуется методика технологического аудита горных предприятий, устанавливающего степень соответствия применяемой техники и технологии сложившимся горно-геологическим условиям ведения горных работ. На основании аудита угольных предприятий ОАО СУЭК разработана методика обоснования предельного срока службы карьерных автосамосвалов. По результатам исследований усло-

вий эксплуатации карьерного автотранспорта на глубоких горизонтах кимберлитовых карьеров Якутии разработано техническое предложение на создание гусеничного транспортного средства. Обоснованы основные технические параметры и конструктивные схемы гусеничных самосвалов грузоподъемностью 30 — 40 т.

Институтом совместно с Качканарским ГОКом разработан способ усиления конструкции моторных думпкаров тяговых агрегатов EL-20 на основе замены их хребтовых балок на хребтовые балки EL-10 и соответствующей реконструкции их тормозной системы. Опытно-промышленные испытания модернизированного тягового агрегата показали высокую работоспособность и эксплуатационную безопасность, что позволило рекомендовать их серийную реконструкцию. Разработаны, согласованы и утверждены программы и методики экспертизы технических устройств с истекшим сроком службы тяговых агрегатов и вагонов-самосвалов 2ВС-105.

Проведены исследования, в результате которых установлена целесообразная форма породоразрушающих зубьев и наиболее рациональные расстояния между ними для шарошечных долот, применяемых при бурении взрывных скважин. Данная конструкция основана на новом механизме разрушения при бурении, предусматривающем переход от принципа выкола лунок к принципу комбинированного скола. Испытания новой конструкции при бурении крупнозернистых гранитов Нижне-Тагильского карьероуправления и крупнозернистых диаллаговых пироксенитов Качканарского ГОКа показали, что она обеспечивает уменьшение непроизводительного перетирания пород в забое скважины и увеличение скорости бурения в 1,4 — 1,5 раза.

Осуществлена модернизация применяемых на Качканарском ГОКе смесительно-зарядных машин для приготовления водосодержащих взрывчатых веществ в процессе заряжания обводненных скважин по непрерывному режиму на основе применения смесителей проходного типа, рамочно-пропеллерных мешалок и перистальтических насосов. В результате модернизации давление взрывчатой смеси на подающем шланге доведено до 4 — 5 кг/см^2, что обеспечило надежное формирование колонки заряда методом подачи «под столб воды», физическую стабильность смеси и сохранение ее взрывчатых свойств до 7 суток.

Разработано устройство, предназначенное для экспрессного анализа аналитических проб железосодержащих материалов крупностью до 1 мм по массовой доле магнетитового железа, принцип действия которого основан на измерении магнитных свойств материала пробы, нормировании их по ее массе и вычислении с помощью микроконтроллера значения содержания $Fe_{маг}$ в соответствии с уравнением корреляционной связи для данного материала пробы.

Разработан принципиально новый метод индукционного контроля массовой доли железа в конвейерных рудопотоках с точностью, соизмеримой с точностью химического анализа, при априори слабой связи информативных сигналов на входе алгоритма с определяемым показателем качества. Метод предусматривает использование датчиков МВ-5, внедренных на ГОКах России, Украины и Казахстана по лицензии и при научном руководстве ИГД УрО РАН.

На месторождениях, где существует связь между химическим и гранулометрическим составами руды, рекомендована технология разделения ее на кондиционную и некондиционную составляющие за счет сегрегации на грохотильных пунктах. Расширяются работы по прогнозированию качественного состава руд и пород с использованием геофизических методов (комбинат «Магнезит», ОАО «Ураласбест»).

Институт поддерживает тесные творческие связи со многими вузами, академическими и отраслевыми институтами страны, ближнего и дальнего зарубежья. Особенно тесны связи с Уральским государственным горным университетом, совместно с которым создан Научно-образовательный центр ИГД УрО РАН, и институтом НИИОГР (г. Челябинск), на базе которого создан филиал Института, занимающийся проблемами экономики, организации, управления и технологии горного производства.

Особенности новых экономических условий требуют реального объединения усилий науки и производства. Одной из основных проблем академической науки является разрозненность научных коллективов различных регионов и организаций, способных решать стратегические задачи на уровне всей страны. Решить данную проблему возможно, отдав приоритеты разработке интеграционных проектов и комплексных междисциплинарных программ УрО РАН и других отделений академии наук.

Одной из важнейших стратегических задач социального и экономического развития Уральского федерального округа и страны, как полагают специалисты института, является комплексное решение проблем расширения и поддержания его минерально-сырьевой базы как основы инновационного развития и вывода на мировой уровень металлургического и машиностроительного комплексов Урала. В связи с этим ИГД УрО РАН на перспективу планирует выступить в качестве инициатора, координатора или соисполнителя исследований, направленных на решение одной или нескольких народнохозяйственных задач («Энергетическая безопасность Урала», «Легированные стали Урала», «Урал промышленный — Урал Полярный» и т. п.).

В результате комплексных исследований и при реализации такого подхода, уже поддержанного Институтом геологии и геохимии, Институтом экономики, Институтом металлургии и Институтом промышленной экологии УрО РАН, только в области горного дела ожидается внедрение инновационных технологий, предусматривающих:

— расширение сырьевой базы предприятий за счет повышения интенсивности и эффективности эксплуатации недр (степени селективности и полноты отработки, вовлечения в разработку техногенных образований и т.п.);

— создание необходимых условий для комплексного использования добытого полезного ископаемого с целью извлечения ценных компонентов, в том числе ранее считавшихся попутными и неизвлекаемыми, и переработки техногенных месторождений, эффективность эксплуатации которых возрастает по мере естественного удорожания природного сырья;

— внедрение новых технических средств и технологий для добычи и переработки полезных ископаемых, обеспечивающих повышение производительности труда и безопасности производства;

— снижение негативных последствий разработки минерального сырья за счет системной оценки развития техносферы во взаимодействии с природной и социальной средой и разработки мер по предотвращению техногенных катастроф и негативных последствий ведения горных работ.

Совместная деятельность института с проектными организациями (Урагипроруда, Урагипрошахт, Механобр-инжиниринг, Якутнипроалмаз, Гипроруда, НИПИГормаш и др.) обеспечивает разработку целевых проектов для горнодобывающих предприятий, создание условий для выпуска и испытаний нового горнодобывающего оборудования и бурового инструмента, повышение методического уровня и научного обеспечения горного производства.

Институт тесно сотрудничает с учеными и специалистами академической, отраслевой и вузовской науки в области организации и проведения конференций, семинаров и школ. Стало традиционным участие сотрудников института в «Неделе горняка» (МГГУ, ИПКОН РАН), в семинарах по проблемам освоения территорий в сложных условиях и геомеханики (ИГД СО РАН, ИГД ДВО РАН, ИГДС СО РАН, ГИ УрО РАН), по проблемам геоинформатики (ГоИ КНЦ РАН). Заключены договоры о партнерстве и сотрудничестве с ИГД им. Кунаева и Карагандинским политехническим университетом (Казахстан). Установились тесные контакты с научными, опытно-конструкторскими и научно-исследовательскими подразделениями промышленных предприятий РУПП «БелАЗ», АК «АЛРОСА», КБТМ (г. Омск), УКБТМ Уралвагонзавода и других. Стала традиционной и будет проведена третий раз конференция по проблемам недропользования, организуемая Советом молодых ученых нашего института. В октябре 2009 г. в г. Екатеринбурге пройдет III Уральский горно-промышленный форум, организуемый при поддержке правительства Свердловской области. Ожидаемый форум, как и предыдущие, получившие высокую оценку, представляет собой выставочно-конгрессное мероприятие, ряд выставок, конференций, круглых столов и деловых встреч.

Кадровая политика института и принятые коллективом меры позволили увеличить количество молодых научных сотрудников с **8,7 %** (в 2000 г.) до **36,6 %** (в 2007 г.). Одновременно уделяется большое внимание обеспечению преемственности, сохранению лучших традиций и поддержанию кадровых сотрудников — ветеранов института. Планируется расширение Научно-образовательного центра ИГД УрО РАН, созданного в 2007 году для повышения квалификации сотрудников и подготовки кадров высшей квалификации не только для собственных нужд, но и для предприятий горнодобывающего комплекса.

Накопленные в последние годы научные и кадровые структурные изменения позволяют перейти в сложившихся условиях ***к инновационной направленности исследований института***. На рисунке показана общая схема взаимодействия научной и научно-организационной работы коллектива института, направленной на решение поставленных ему задач и скорейшее доведение их до практического применения. Главным системообразующим звеном в организации исследований являются фундамен-

Инновационная структура Института горного дела УрО РАН

тальные поисковые работы, целевые программы РАН, интеграционные проекты РАН и гранты РФФИ, обеспечивающие развитие теоретических основ и принципов решения современных прикладных проблем горнодобывающей промышленности.

Апробация и полупромышленные испытания теоретических разработок обеспечиваются наличием центров, доводящих научные результаты до конкретного потребителя. В настоящее время в институте на базе имеющихся лабораторий уже действуют: центр коллективного пользования (ЦКП) «Уральский центр геомеханических исследований природы техногенных катастроф в районах добычи полезных ископаемых», технический центр экспертизы и неразрушающего контроля оборудования, центр разрушения горных пород, проектный центр, центр экспертизы потерь при недропользовании, центр экспертизы промышленной безопасности. Организованы и оснащаются центры изучения физико-механических свойств горных пород и центр оперативного экологического мониторинга.

Третьим уровнем научно-производственной инфраструктуры института являются его инновационные предприятия: Инновационно-экспертный центр, Уральский институт геомеханики, центр «Взрыв-испытания», фирма «Аэро», хоздоговорная инновационная группа автоматического контроля качества железорудного сырья и пр., обеспечивающие расширение области использования полученных научных результатов до стадии коммерциализации разработок. Все уровни ин-

новационной структуры института должны оснащаться самым современным оборудованием.

Материально-техническая база института ежегодно пополняется и совершенствуется. Все подразделения института в достаточной мере укомплектованы средствами современной оргтехники и техническими средствами для исследований.

При поддержке РФФИ существенно расширен ЦКП «Уральский Центр геомеханических исследований природы техногенных катастроф в районах добычи полезных ископаемых». В настоящее время он оснащен: современными высокочастотными комплексами спутниковой геодезии GPS фирм Trimble (США) и Zeiss (Германия) (точность определения координат ±(1 — 5) мм при базах измерения до 60 — 100 км для одночастотных и до 1000 — 2000 км для двухчастотных приемников); высокочастотными цифровыми электронными нивелирами и тахеометрами фирм Trimble (США) и Sokkia (Япония) для нивелирования I и II класса с погрешностями 0,3 — 0,6 мм/км; комплексами электрометрических исследований и спектрально-сейсморазведочного профилирования массива горных пород. Закуплен и освоен комплекс наземного лазерного сканирования Trimble GX, обеспечивающий получение высокоточных трехмерных моделей породных массивов на открытых и подземных горных работах.

Перспективный план развития материально-технической базы научных исследований, утвержденный Ученым советом ИГД УрО РАН, включает:

— создание и оснащение аналитической и диагностической аппаратурой центра оперативного экологического мониторинга состояния воздушной среды, воды и почвы горнопромышленных регионов;

— развитие и обновление приборной базы автоматизированной системы мониторинга напряженно-деформированного состояния выработанного пространства с использованием индуктивных, ультразвуковых и лазерных технологий, аппаратурой сейсморазведочного профилирования массива горных пород;

— оснащение центра изучения физико-механических свойств горных пород оборудованием, фиксирующим статические и динамические нагрузки при трехосном напряженно-деформированном состоянии пород, центробежной установкой для моделирования процессов разрушения породных массивов в условиях различных гравиметрических нагрузок, а также атомно-абсорбционным спектрометром Varian с системой микроволнового растворения проб для самостоятельного экспресс-анализа химического состава горных пород;

— расширение приборной базы технического экспертного центра за счет приобретения современных газоанализаторов, лазерных и ультразвуковых приборов неразрушающего контроля, создание передвижной измерительно-диагностической лаборатории для исследования параметров транспортных систем карьеров;

— модернизацию и дооснащение испытательным оборудованием центра разрушения горных пород в динамических условиях и испытания новых видов взрывчатых веществ.

КАЧКАНАРСКИЙ ГОК — БАЗОВОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ РАЗРАБОТОК ИНСТИТУТА ГОРНОГО ДЕЛА

В. П. Бобров

Начало истории сотрудничества ОАО «Качканарский горно-обогатительный комбинат «Ванадий» и Института горного дела УрО РАН было положено сразу же после создания института под руководством директора М. В. Васильева в 1962 году. В 1965 году ИГД стал Центральным институтом Министерства черной металлургии СССР, а Качканарский ГОК — базовым предприятием для института. В то время руководители Минчермета СССР (зам. министра В. С. Виноградов) и Главруды (П. Е. Следзюк, Л. К. Антоненко, И. Ф. Граур и др.) считали, что работа ИГД будет признана успешной, если Качканарский ГОК будет выполнять план по добыче руды и выпуску качественной товарной продукции. М.В. Васильев и ученые института всегда поддерживали творческие связи с руководителями и специалистами комбината: Е. А. Канделем, С. Л. Мясником, В. В. Власихиным, М. Г. Толочко, Н. Я. Ереминым и др.

В 60-е — 80-е годы прошлого века сотрудничество ИГД и Качканарского ГОКа было наиболее тесным и охватывало практически все переделы горного производства: транспорт, буровзрывные работы, управление качеством руды, развитие горных работ на Главном, Западном и Северном карьерах, устойчивость бортов карьеров, экскаваторные работы.

По проблеме транспорта исследования под руководством М. В. Васильева, В. Л. Яковлева, С. Л. Фесенко, Б. К. Путятина и др. проводились в следующих направлениях:

— освоение эффективной эксплуатации тяговых агрегатов Е1-10 и экскаваторов ЭКГ-8 в условиях комбината;

— обоснование замены тяговых агрегатов EL-10 на отечественные тяговые агрегаты ОПЭ1Б;

— решение проблемы безопасности эксплуатации подвижного состава железнодорожного транспорта на повышенных уклонах путем применения композиционных тормозных колодок;

— обоснование необходимости применения на карьерах комбинированного автомобильно-железнодорожного транспорта;

— схемы путевого развития и организация движения локомотивосоставов;

— механизация путевых работ.

Значительную долю занимают исследования ИГД, направленные на повышение качества буровзрывных работ, поскольку они осложнены высокой вязкостью пород и обводненностью массива. В области буровых работ под руководством И. Н. Сидорова, Р. И. Сухова и др. были проведены исследования способов повышения эффективности шарошечного бурения скважин, в том числе рациональных режимов бурения, внедрения станков для бурения наклонных скважин, износостойкости шарошечных долот. Также были выполнены поисковые работы, касаю-

щиеся возможности применения нетрадиционных способов бурения скважин (Г. Н. Хрущев и др.), в том числе станками огневого бурения, плазменными струями, проведены экспериментальные работы по повышению степени дробления крупноблочных железных руд путем предварительного их ослабления электрическим током промышленной частоты.

В области взрывных работ исследования проводились в следующих направлениях:

— создание и испытание новых взрывчатых веществ (водонаполненных, эмульсионных) для взрывания обводненных скважин (П. С. Данчев, В. П. Ветлужских, В. М. Павлютенков);

— механизация взрывных работ, в том числе приготовление ВВ в смесительно-зарядных машинах (И. С. Куклин, А. С. Маторин);

— разработка эффективной технологии дробления трудновзрываемых пород (В. М. Сенук, Э. П. Артемьев, Б. А. Гилев, В. Н. Рождественский).

Проблеме управления качеством руды в 1970 — 1976 годах были посвящены работы П. П. Бастана, А. В. Гальянова по усреднению руд и нормированию потерь и разубоживания на Качканарском ГОКе.

Ряд научных работ ИГД представлен исследованиями технологии, параметров и развития горных работ на карьерах Качканарского ГОКа:

— влияние высоты уступа на производительность экскаваторов и буровых станков (С. И. Бурыкин);

— сокращение сроков подготовки новых горизонтов при использовании автотранспорта (А. Ф. Ткачев, В. И. Прибылев);

— обеспечение безопасной технологии ведения экскаваторных работ (Б. Г. Киенко, И. С. Денисов, А. В. Яковлев);

— научное сопровождение строительства и эксплуатации опытно-промышленного участка циклично-поточной технологии на Главном карьере (М. В. Васильев, В. А. Щелканов, А. Н. Шилин, В. В. Шарин, В. А. Панов и др.);

— устойчивость бортов карьеров (М. Л. Рудаков, В. Г. Зотеев, В. В. Комаров).

Не остались без внимания ученых ИГД вопросы экономики, планирования и организации горного производства. Периодически проводился анализ основных технико-экономических показателей Качканарского ГОКа и сопоставление их с проектными, на основе чего разрабатывались мероприятия по обеспечению проектных показателей, повышению эффективности использования трудовых ресурсов, совершенствованию техники, технологии и организации горных работ (Ю. И. Жернаков, К. М. Штукатуров, А. Ф. Ткачев).

В 90-х годах прошлого века из-за сложностей переходного для экономики страны периода связи между Качканарским ГОКом и ИГД ослабли, но с началом XXI века взаимовыгодное сотрудничество возобновилось. В последние годы сотрудники ИГД УрО РАН провели на карьерах комбината ряд исследований, которые дали положительные результаты. В частности, рекомендации по параметрам уступов на предельном контуре Западного и Северного карьеров внедряются в проект, который вы-

полняет АО «Уралгипроруда», на всех карьерах ОАО «Ванадий» внедряются рекомендации по параметрам БВР, в которых на основе рассчитанных и экспериментально подтвержденных увеличенных интервалов замедления между скважинными зарядами изменен порядок взрывания технологических блоков для улучшения дробления массива и снижения выхода негабарита, что очень важно для комбината.

В настоящее время сотрудники ИГД УрО РАН проводят исследования на комбинате по следующим направлениям:

— обоснование устойчивых углов погашения уступов и бортов Главного карьера;

— исследование параметров буровзрывных работ при постановке уступов в предельное положение и отбойке приконтурных целиков;

— исследование и разработка параметров буровзрывных работ, повышающих эффективность дробления и перемещения горной массы;

— изучение деформационного поведения северо-западного борта Главного карьера.

Перед ОАО «Ванадий» стоит ряд других проблем, которые требуют научного решения, в частности, задача достижения производственной мощности 65 млн. т сырой руды в год с привлечением в отработку Собственно-Качканарского месторождения, что требует реконструкции обогатительной фабрики, а также разработки технологии и параметров ведения горных работ, оптимизации транспортной схемы, обеспечивающих интенсификацию добычи в действующих карьерах. Надеемся, что в решении вышеуказанных задач ученые ИГД УрО РАН примут самое непосредственное участие. Выражаем благодарность за огромный вклад сотрудников ИГД в развитие КГОКа и надеемся на дальнейшее взаимовыгодное и долголетнее сотрудничество.

ОАО «КОМБИНАТ «МАГНЕЗИТ» И ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, МНОГОЛЕТНИЙ ОПЫТ СОТРУДНИЧЕСТВА

П. Н. Лузин, А. В. Спирченков, С. В. Семкичёв

На протяжении десятков лет ОАО «Комбинат «Магнезит» сотрудничает с Институтом горного дела Уральского Отделения Российской академии наук. Научные достижения, разрабатываемые методические документы и практический опыт сотрудников института и нашего предприятия активно внедрялись в производство от стадии проектирования горнодобывающего производств до получения готовой продукции.

Наиболее весомый вклад институт внес в развитие открытых горных работ на нашем предприятии. Проведено много научных исследований, созданы методические рекомендации по технологии, границам и режимам ведения горных работ, позволившие выбирать оптимальные варианты развития карьеров предприятия. Так, например, в одной из НИР «Способ разработки, целесообразные границы и режим горных работ на Никольском месторождении (Западной и Центральной залежей) магнезита», выполненной в 1976 г., Институт рекомендовал вскрывать месторождение внутренней траншеей с петлевой формой трассы, располагаемой по лежачему борту залежи, и развивать работы от контакта висячего бока в направлении к периферии по всей длине рудного тела. Работы в районе рудного тела рекомендовалось вести подуступами высотой 6 метров. Переход с 12-метрового уступа на 6-метровый подуступ позволил значительно снизить потери и разубоживание полезного ископаемого, особенно в районе его контакта с пустой породой. Результаты этой научно-исследовательской работы использовались при проектировании Никольского карьера.

В выполненной в 1979 г. работе «Выбор и обоснование техники и технологии отработки глубоких горизонтов (до 400 м) Карагайского карьера» рекомендовалось вскрывать месторождение внутренними съездами по лежачему боку рудной залежи с общим развитием горных работ в южном направлении. Оптимальная производительность карьера при данной технологии 2,4 — 2,5 млн. т в год. Определен целесообразный вариант границ Карагайского карьера глубиной 351 м и размерами по поверхности 1480×1140 м. Были рассмотрены границы карьера глубиной до 427 м как перспективные и предложено в пределах данной площади не строить крупных зданий и сооружений и не располагать отвалы вскрышных пород. Предложено применение на вскрышных работах 24-метрового уступа для более эффективного использования экскаваторов ЭКГ-8И.

Большие исследования проведены в области буровзрывных работ, их сейсмического воздействия на здания и сооружения. Большинство карьеров комбината располагались в непосредственной близости от промышленных зданий и жилого массива города Сатка. Предложенные институтом технологии позволили сохранить производственные здания и жилой фонд города. Проведенные исследования по устойчивости горных пород, заоткоске скальных уступов, оптимизации углов погашения карьера позволили значительно сократить объем вскрышных пород и макси-

мально извлечь полезное ископаемое из недр, повышая эффективность горных работ.

В 1987 г. выполнены исследования и даны рекомендации по сейсмобезопасной технологии ведения взрывных работ на Мельнично-Паленихинском карьере комбината «Магнезит». Определено, что на расстоянии 20 — 35 м от охраняемых объектов промплощадки необходимо создание дополнительной поверхности разгрузки на взрываемом блоке, что позволило вести взрывные работы без уменьшения уступа. Были также определены допустимые массы зарядов в ступени для различных диаметров скважин при взрывании на две поверхности разгрузки (обычный забой) и при наличии дополнительной поверхности разгрузки (отрезной щели) на расстоянии, не превышающем СПП. Это позволило сохранить промплощадку на прежнем месте при отработке приконтурной зоны. Согласно проектной документации, промплощадка выносилась за пределы опасной зоны проведения взрывных работ.

В 1989 г. проведены инструментальные замеры интенсивности воздействия сейсмических и ударных воздушных волн при массовых взрывах в Карагайском карьере на Саткинский металлургический завод с целью определить степень воздействия на охраняемые объекты. Рекомендовано изменить направление детонации во взрываемом блоке в противоположную сторону от металлургического завода, при проведении взрывных работ учитывать метеорологические условия (влажность, температуру воздуха, направление и скорость ветра) как фактор, влияющий на распространение ударно-воздушных волн. Определена скорость ветра в направлении охраняемого объекта, при которой проведение взрывных работ не рекомендуется.

В 1992 г. разработаны рекомендации по безопасному взрыванию на Мельнично-Паленихинском карьере. По результатам экспериментальных исследований воздействия ударной воздушной волны на охраняемые объекты вблизи карьера дано заключение с методикой расчета допустимых зарядов в зависимости от расстояния, условий взрывания в очаге, допустимого избыточного давления и метеоусловий.

Институт внес значительный вклад в сохранение экологической обстановки района. Проведенные исследования по устойчивости отвалов на подтопленном основании предопределили разработку рациональных режимов и технологии складирования пустых пород в выработанное пространство отработанных карьеров. Перемещено более 100 млн. $м^3$ вскрышных пород. Это позволило в течение многих лет не занимать дополнительные земельные участки под внешние отвалы, сократив длину транспортировки вскрышных пород, приведя в первоначальное состояние рельеф местности. Исследования и работы в области рекультивации отвалов позволяют восстановить нарушенную горными работами земную поверхность.

Решением вопроса об отработанных площадях (отвалах), находящихся в лесной зоне, является изучение процесса самозарастания отвала. В научно-исследовательской работе «Исследование и определение целесообразности и объемов работ по рекультивации и ландшафтному оформлению южной и северной части Степного отвала» АО «Магнезит» в 1994 г. институтом определены направления и приемы технических этапов рекультивации. Оценено состояние территории нарушенных земель, предложено на

начальном этапе провести планировку поверхности отвала, затем нанести слой кислого торфа и осуществить посев растений для создания травяного покрова. После проведения мероприятий, предложенных институтом, на поверхности отвала был создан сплошной травяной покров.

Ряд научно-исследовательских работ был направлен на совершенствование системы управления качеством сырья, снижение потерь полезного ископаемого и наиболее полное использование природного качества магнезитов. Совершенствование системы опробования и контроля качества сырья, а также ведение горных работ в режиме целевой рудоподготовки позволили повысить извлечение магнезита, снизить потери при добыче из недр и максимально эффективно использовать добытое магнезитовое сырье.

В отчетах по НИР «Разработка мероприятий по стабилизации выхода марки “МИ”» и «Разработка и внедрение рекомендаций по ведению горных работ в режиме целевой рудоподготовки для повышения извлечения марки “МИ”», выполненных в 1992 и 1993 годах решены вопросы по эффективности усреднения руды на складах. Определен эффективный способ сортировки магнезитового сырья по крупности с учетом взаимосвязи грансостава с его химическим составом, грохочением материала на специализированных перегрузочных пунктах, позволяющий добиться как снижения CaO в кусковом магнезите по отношению к исходной рудной массе, так и повышения однородности качества сырья.

В НИР «Совершенствование системы опробования и контроля качества сырья с целью повышения эффективности управления технологическими процессами добычи и переработки», выполненной в 1999 г., рекомендовано для повышения представительности пробы разделить тщательно перемешанную пробу на несколько равных частей с последующим химанализом каждой части. Увеличить количество точечных проб материала с конвейерной ленты при формировании технологической пробы для потоков с низкой изменчивостью качества сырья $\sigma = 0{,}2 \div 0{,}3$ % до 2 с изменчивостью качества сырья $\sigma = 0{,}4 \div 0{,}6$ % до 4 и с высокой изменчивостью качества сырья $\sigma =$ более 1 % до 10 — 12 отсечек. Рекомендовано внедрение непрерывного контроля качества сырья конвейерных потоков на основе геофизических методов опробования. Опыт применения рентгено-радиометрического метода контроля качества периклазовых порошков в ЦМП-2 показал перспективность использования данного способа опробования на других потоках с крупностью материала 40 — 0 мм.

Институт внес весомый вклад и в развитие подземных горных работ: разработано технологическое задание на систему разработки, выполнены проекты отдельных добычных блоков. При строительстве шахты были выявлены проявления повышенного горного давления. Лабораторией геодинамики и горного давления института были разработаны соответствующие рекомендации по безопасному ведению горных работ в этих условиях. Сотрудниками лаборатории на постоянной основе осуществляется контроль над проявлениями горного давления и разрабатываются рекомендации по безопасной эксплуатации шахты.

Плодотворное сотрудничество с институтом продолжается и в настоящее время. Разрабатываются программы перспективного развития предприятия, ведутся работы по сохранению минерально-сырьевой базы предприятия и сохранению природного качества сырья.

БАКАЛЬСКИЕ РУДНИКИ В XXI ВЕКЕ

И. П. Захаров

Добыча железных руд Бакальскими рудниками с 1757 года — важная страница в трехвековой истории горнозаводского Урала, в развитии металлургической индустрии России. За период разработки Бакальских месторождений металлургическим заводам отгружено 218 млн. т товарной руды, из которой выплавлено около 100 млн. т качественного металла.

Южноуральские железорудные месторождения Бакальской группы представлены сидеритовыми рудами, приуроченными к осадочным комплексам верхнего протерозоя. Залежи имеют пластообразную форму и достаточно большие размеры. Запасы сидеритов по сумме категорий $A+B+C_1+C_2$ составляют окколо 1 млрд. т. Основная масса карбонатных руд содержит 28 — 32 % Fe, 8 — 10 MgO, 1,8 — 2,0 MnO и 33 — 35 % потерь при прокаливании, которые выделяются в интервале температур 600 — 900 °С в виде углекислого газа. Содержание вредных для металлургии примесей серы и фосфора незначительно. Верхние части залежей сидеритов окислены и превращены в бурые железняки, которые в большинстве своем отработаны.

Добыча железной руды на предприятии ведется как открытым, так и подземным способом. В эксплуатации находится 2 карьера и шахта Сидеритовая. Текущие объемы производства по карьерам и шахте на сегодняшний день распределены с преимуществом карьерных выработок. Однако с постепенной выработкой карьеров основная часть карбонатных железных руд будет добываться из шахты. Шахтная руда содержит существенно меньше железа из-за загрязнения алюмосиликатными сланцами. Использование склада усреднения руды подземной добычи на промышленной площадке рудоподготовительного комплекса позволит вывести из переработки влагоемкую и бедную сидеритовую руду фракции 0 — 10 мм, а использование схемы магнитной сепарации в полях высокой напряженности и радиометрическая сепарация позволяет повысить содержание железа в сырой руде до 32 %.

Термическая обработка в интервале 700 — 1000 °С обеспечивает декарбонизацию сидеритов, магнезита и кальцита, увеличивая за счет удаления газообразной углекислоты содержание железа с 30 — 32 % до 44 — 46 %. В обожженном материале рудные зерна представлены преимущественно магнитным магнезиоферритом и отделены от алюмосиликатов. Это позволяет применить к обожженному сидериту магнитную сепарацию обычной напряженности и поднять содержание железа в концентрате до 50 — 52 %. Термическая обработка сидеритов в интервале 1100 — 1200 °С в присутствии восстановителя (тощие угли, регенерирующий газ) позволяет получать продукт с содержанием железа 60 — 65 %.

Предварительное обогащение исходной сидеритовой руды рентгенорадиометрической и магнитной сепарацией, окислительный и восстановительный обжиг, а также другие способы получения концентрата, науч-

ные проработки получения из сидеритовых руд металлизованных брикетов позволяют рассматривать Бакальские месторождения надежной сырьевой базой металлургических предприятий Урала на многие десятилетия. Дополнительная минерально-сырьевая база ООО «Бакальское рудоуправление», дочернего предприятия ОАО «ММК», формируется вовлечением в отработку Теченского месторождения магнетитовых руд, а также проведением поисковых работ на железные руды на территориально близких участках. Руда Теченского месторождения, расположенного в Сосновском районе Челябинской области, будет вскрыта в 2009 г. В 2011 г. карьер должен выйти на проектную ежегодную добычу 2250 тыс. т железной руды. На промышленной площадке предприятия планируется ее дробление и предварительное обогащение. Обогащенный продукт в количестве 1215 тыс. т с содержанием около 52 % железа будет передаваться металлургам на протяжении почти 25 лет.

ЗАО «Геофизическое научно-производственное предприятие Аэрогеофизика» в 2007 г. выполнила аэрогеофизические работы на сопредельных территориях Челябинской области и Республики Башкортостан. Основная задача съемки состояла в анализе магнитных аномалий современными методами интерпретации, с построением объемных моделей и оценкой положения верхней и нижней кромок магнитных тел, определении их пространственной морфологии, сопоставлении магнитных и электрических разрезов. На территории, примыкающей к Бакальскому району, спрогнозирована возможность открытия около 640 млн. т магнетитовых руд на глубине залегания до 500 м; распределение прогнозов в отдельных объектах колеблется от десятков до сотен миллионов тонн.

Мероприятия по реконструкции производства на промышленной площадке Бакальского рудоуправления, строительство нового горнодобывающего предприятия на базе Теченского месторождения и перспективные работы заложены в Долгосрочной инвестиционной программе ООО «Бакальское рудоуправление» на 2007 — 2012 гг.

Выполнение принятой акционерами к реализации долгосрочной программы развития ООО «Бакальское рудоуправление» с объемами вложений 4,5 млрд. рублей позволит производить ежегодно около 3 млн. т товарного продукта с содержанием железа 51 — 52 %. Стабильная работа Бакальских рудников будет обеспечена на долгие годы.

О СОСТОЯНИИ И ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ ОАО «ВЫСОКОГОРСКИЙ ГОК»

С. А. Напольских

Высокогорский горно-обогатительный комбинат — старейшее предприятие Урала, которое включает в себя производственные площадки, расположенные в городе Нижний Тагил, примерно в 130 км к северу от Екатеринбурга, и в городе Кушва, в 50 км к северу от Нижнего Тагила.

Основными направлениями деятельности комбината являются добыча железной руды подземным и открытым способами, известняка открытым способом, переработка добываемых полезных ископаемых и производство доменного агломерата. В составе комбината три шахты и два карьера по добыче железной руды, карьер по добыче известняка, два обогатительных цеха, агломерационная фабрика и ряд вспомогательных подразделений.

В настоящее время добыча железной руды ведется при разработке трех железорудных месторождений подземным и открытым способами — Высокогорского, Естюнинского и Гороблагодатского, отрабатываемых соответственно шахтами Магнетитовая, Естюнинская, Южная, Главным и Центральным карьерами. Добыча известняка производится открытым способом при отработке Гальянского месторождения флюсовых известняков.

По шахте Магнетитовая горные работы ведутся на горизонтах –450, –530 и –610 м (максимальная глубина 840 м). Горизонт –450 м находится в стадии доработки. По горизонту –530 м ведутся добычные работы в геологическом блоке 21 и строительные работы по участку ВРЗ по вскрытию оставшихся порядка 4 млн. т запасов железной руды. Полный срок освоения участка 2010 год. На горизонте –610 м окончены горнокапитальные работы по вскрытию, введен в эксплуатацию первый выемочный блок. В связи с отсутствием дробильно-скипового комплекса на горизонте –610 м, добытая руда с этого горизонта выдается в вагонетках на дробильно-скиповой комплекс горизонта –450 м и далее на-гора. Первоначальным проектом предусматривалось добытую руду на горизонте –530 м перепускать на горизонт –610 м и также выдавать на горизонт –450 м. Данная схема выдачи руды непроизводительна и является сдерживающим фактором поддержания производственной мощности шахты. Для сохранения производительности шахты в 2005 г. был запущен в работу на горизонте –530 м дробильно-конвейерный комплекс, состоящий из малогабаритной дробилки финской фирмы «Норд Берг» и бутобоя Раммер.

Объем оставшихся вскрытых запасов, с учетом вскрытия участка ВРЗ гор. –530 м, составит 9,8 млн. т, отработку которых планируется закончить к 2015 г. Вскрытие Высокогорского месторождения ниже горизонта –610 м признано экономически нецелесообразным.

Шахта Эксплуатационная разрабатывала Лебяжинское железорудное месторождение. В августе 2008 г. закончены добычные работы в связи с исчерпанием запасов собственно Лебяжинского месторождения. В настоящее время проводятся работы по консервации шахты с целью возможной отработки в будущем запасов руды глубоких горизонтов и Южно-Лебяжинской зоны общим объемом 74 млн. т.

Шахта Естюнинская является перспективной по запасам железных руд. Балансовые запасы Естюнинского участка 155 млн. т и Ново-Естюнинского участка 107 млн. т до горизонта –1000 м.

В настоящее время объем добычи составляет 1116 тыс. т. Горные работы по добыче руды ведутся на горизонтах –120; –180 и –240 м. Пусковой комплекс 1-й очереди горизонта –240 м сдан в эксплуатацию в конце 2002 г. На горизонте –120 м ведется доработка двух оставшихся выемочных блоков, горизонт –180 м находится в стадии максимального развития. В 2007 г. произведен капитальный ремонт скиповой установки с заменой подъемной машины. Это позволило к концу этого года вывести производительность шахты на проектную мощность, которая составляет 1,2 млн. т в год. Объем оставшихся вскрытых запасов на начало года составит 7,8 млн. т. Для поддержания производственной мощности шахты необходимо в следующем году завершить вскрытие запасов 2-й очереди горизонта –240 м. В результате объем вскрытых запасов составит 14,5 млн. т железной руды, а возможный срок окончания отработки вскрытых запасов 2020 год. В перспективе приступить к вскрытию горизонта –300 м и запасов Ново-Естюнинского участка в этаже (–120) — (–240) м. Предложения по возможным вариантам вскрытия направлены в управляющую компанию для составления перспективной программы развития.

В 2003 г. в состав комбината вошло горнодобывающее подразделение — шахта Южная, которая отрабатывает запасы железных руд Гороблагодатского месторождения. В 2004 г. на шахте осуществлено строительство дробильно-скипового комплекса на горизонте –320 м и вскрытие запасов на горизонте –240 м. Шахта вышла из депрессивного состояния, из года в год наращивала свою мощность и к началу 2009 г. выходит с производительностью 1,6 млн. т. В 2009 г. планируется начать вскрытие горизонта –320 м. Шахта будет иметь порядка 20 млн. т вскрытых запасов железной руды при 70 млн. т балансовых.

В настоящее время дорабатываются открытым способом оставшиеся запасы железных руд в Главном карьере, выявленные при ведении геологоразведочных работ силами комбината. Отработка знаменитого Меднорудянского месторождения приостановлена из-за затруднений в ведении горных работ в условиях городской застройки гражданскими и промышленными объектами. Вынос из зоны влияния горных работ этих объектов — дополнительные затраты, влияющие на экономическую целесообразность отработки данного месторождения. Интерес представляет предложение администрации музея горнозаводского дела включить карьер в состав музейного комплекса, но данный проект требует немалой спонсорской помощи.

Центральный карьер разрабатывает центральную часть Гороблагодатского месторождения. До вхождения в состав ВГОК добыча руды в карьере практически была прекращена. Горные работы велись по производству вскрыши для переработки на щебень сторонней организацией. В настоящее время проектной группой горного проектирования ВГОК выполнен проект реанимации карьера и в 2009 г. объем добычи должен составить 300 тыс. т руды. Всего в проектном контуре карьера находится порядка 6,8 млн. т балансовых запасов руды. Специалистами ВГОК подготовлено ПТЭО, предусматривающее техническое перевооружение карьера с заменой экскаваторного и бурового оборудования на высокопроизводительное с автоном-

ным приводом и увеличением производственной мощности свыше 5 млн. т горной массы. Данный проект получил понимание в управляющей компании и после ряда согласований будет реализован.

Гальянское месторождение известняков разрабатывается одноименным карьером. Производство определяется спросом и составляет 1,2 — 1,3 млн. т в год. В 2005 г. был приобретен буровой станок ROKL-6, заменивший морально и физически устаревшие два станка СБШ.

В области взрывного дела следует отметить, что ВГОК полностью перешел на производство массовых взрывов на подземных и открытых работах и при проходке выработок с применением СИНВ-Ш, а на вторичном дроблении — на электрический способ с применением электродетонаторов с трансформаторным узлом защиты типа ЭД-24. Эти электродетонаторы защищены от источников постоянного тока напряжением до 500 В и переменного тока частотой 50 Гц напряжением до 400 В. Электродетонаторы не чувствительны к блуждающим токам до 500 А, к зарядам статического электричества до 35 кВ. С сентября текущего года ЭД-24 применяется и на проходческих работах.

На маркшейдерских работах внедрена спутниковая система определения координат, многофункциональный электронный тахеометр с выводом готовой информации в графическом виде, для замера контуров выработанного пространства на подземных работах используется безотражательный лазерный дальномер.

Горные работы ведутся в тесном сотрудничестве с учеными Института горного дела УрО РАН, наладившими научный мониторинг в области сдвижения, горного давления и взрывных работ на горнодобывающих подразделениях комбината.

Добываемая руда перерабатывается в обогатительных подразделениях комбината:

— в Высокогорском обогатительном цехе обогащается руда шахт Магнетитовая, Естюнинская и Эксплуатационная с получением концентрата с содержанием железа до 65 %;

— на ДОФ-4 получают промпродукт из руды шахты Южная и Центрального карьера;

— на УМО Лебяжинского аглоцеха из гороблагодатского промпродукта получают концентрат с содержанием железа до 65 %.

В Лебяжинском аглоцехе спекается конечный товарный продукт — агломерат с содержанием железа до 58 %. Также в небольших объемах производится марганцевый агломерат. Основным потребителем агломерата является наш традиционный партнер — НТМК.

Следует отметить, что на ОАО «ВГОК» произведена модернизация обогатительного передела с целью снижения издержек производства:

— на участке дробления Высокогорского обогатительного цеха и ДОФ-4 рудника Гороблагодатский замена дробилок на более совершенное оборудование (дробилки фирмы «Sandvik»); модернизация магнитных сепараторов с заменой магнитных систем с высоким магнитным полем; замена низкоэффективных вибрационных грохотов на более производительные грохота;

— на участке мокрого обогащения ВОЦ модернизация с внедрением грохотов Деррик.

УДК 622.014.3:553.042.004.14

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ КЛАСТЕРЫ — МУЛЬТИПЛИКАТОР ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Н. П. Косарев, В. Н. Макаров

В свете решений Госсовета РФ «О стратегии развития России до 2020 года» и «О региональной инвестиционной политике» роль уральской академической, отраслевой и вузовской горной школы в области инновационного недропользования приобретает качественно новое значение и требует новых подходов к формированию механизма комплексного развития и диверсификации горно-промышленного комплекса. В основе инновационного развития горнодобывающего и металлургического комплексов России, обеспечения реальной конкурентоспособности недропользования лежит реальная интеграция науки, образования и бизнеса через государственно-частное партнерство. При этом важнейшим аспектом модернизации государственного управления является проведение эффективной региональной политики, комплексного развития и диверсификации экономики территорий, создание сети инновационных территориально-производственных комплексов, в том числе и на Урале. Для решения указанной проблемы потребуется принципиально иное качество управления научно-исследовательскими и проектно-конструкторскими работами, предприятиями и изменение значительной части используемых технологий практически всего парка машин и оборудования, что является основой коренного роста производительности труда и ресурсоэффективности. Необходимо четко сформулировать конкурентные преимущества территорий, приоритеты инвестиционной политики с учетом специфики своих природных и социально-экономических факторов. Наиважнейший фактор, влияющий на привлечение инвестиций — это необходимость реализовать именно кластерный подход как инструмент привлечения целевых инвестиций, эффективно усиливающий влияние инвестиционного мультипликатора на темпы экономического развития регионов.

Основу кардинального роста бюджетной эффективности Свердловской области определяет диверсифицированное недропользование, являющееся при этом базой стратегической безопасности РФ. Инвестиционная привлекательность горно-металлургического машиностроения обусловлена значимостью программ по развитию минерально-сырьевой базы РФ, фондоемкость которых, по экспертным оценкам, с 2011 года составит более 40 млрд. рублей в год. Именно поэтому реализация механизма инновационного управления в области недропользования приобретает качественно новое значение для формирования механизма комплексного развития и диверсификации региональной экономики реальной интеграции науки, образования и бизнеса через государственно-частное партнерство, обеспечения реальной конкурентоспособности недропользования.

Локомотивом реальной интеграции образования, науки и производства, эффективного перехода к инновационному недропользованию и диверсификации горного машиностроения, в силу геополитической значимости, для нас может служить мегапроект «Урал промышленный — Урал Полярный», нашедший поддержку не только главы государства, но и всероссийской политической партии «Единая Россия». Основными целями этого проекта, с докладом по которому на седьмом съезде партии «Единая Россия» выступал полномочный представитель Президента Российской Федерации в Уральском федеральном округе П. И. Латышев, являются: освоение геостратегически значимой территории, радикальное улучшение сырьевой базы экономики, повышение конкурентоспособности металлургической промышленности и машиностроения. Сложно переоценить значимость государственной промышленной политики в разработке и реализации проекта, формировании материально-сырьевых запасов, создании транспортно-энергетической, инновационной и социальной инфраструктуры, обеспечении рационального инвестиционного климата, эффективности подготовки кадров как целевого ориентира системы управления человеческими ресурсами. Именно мегапроект «Урал промышленный — Урал Полярный» станет полигоном реальной рефлексии между стратегическими целями формирования инновационного недропользования и средствами их реализации.

Парадигма момента заключается в необходимости формирования интегрированного системообразующего механизма функционирования реально эффективных субъектов и объектов инновационной деятельности в сфере недропользования и принятия научно обоснованных управленческих решений на геостратегическом уровне в условиях объективного противоречия между риском, объемом финансирования, сроком внедрения, уровнем инновации, правовым нигилизмом по отношению к интеллектуальной собственности, что, в принципе, и будет основой комплексного освоения недр региона.

Главные усилия на стадии формирования механизма реализации проекта «Урал промышленный — Урал Полярный» должны быть направлены на глобальную интеграцию образования, науки и производства и, прежде всего, на тех направлениях, которые обеспечивают реализацию стратегии инновационного использования недр. Указанный проект акцентирует уникальность России, позволяя занять ей особое место в мировом хозяйстве, взяв на себя роль важнейшей инфраструктурной и энергетической системы. И в этой области требуются новые технологии экономики, а именно технологии знаний и способов их внедрения. Именно на этой парадигме и должен базироваться объективный интерес к интеграции образования, науки и производства, формированию механизма государственно-частного партнерства, позволяющего обеспечить транстерриториальный синергизм масштаба [2].

Интеллектуальный суверенитет проекта «Урал промышленный — Урал Полярный» как одно из звеньев обеспечения экономического суверенитета России должен основываться на двух основополагающих принципах. Первый — базирование на традиционных научных и прак-

тических ценностях — продукте многолетней деятельности ведущих российских научных горных школ как основе разумного эффективного консерватизма. И второй — стратегия развития инновационного недропользования с диверсификацией горнопромышленного и машиностроительного комплекса как структурообразующего элемента комплексного подхода и конкурентоспособности на основе качества. При этом понятие «качество» следует рассматривать в широком понимании как результативность научных исследований и их внедрения в практику ведения горных работ и как качество принимаемых управленческих решений. Инновационная стратегия реализации проекта «Урал промышленный — Урал Полярный» — лучший катализатор его конкурентоспособности.

Наиболее эффективный механизм государственного управления инновационными процессами основан на использовании программно-целевых методов, в основе которых лежит системность, рефлексивность и отход от отраслевого принципа. Адекватная указанным принципам стратегия инновационного развития в области недропользования предполагает системную интеграцию научно-технической сферы в процессы экономического и социального развития территории. Данная интеграция позволяет сформировать систему региональных институтов, создающих мощные стимулы для генерирования научно-технической сферой устойчивого потока эффективных нововведений. Наиболее рациональной формой таких институтов должны стать локальные программно-целевые протокластерные структуры, предназначенные для реализации конкретных инновационных проектов с формированием добавленной стоимости. Они должны включать в себя академические и отраслевые институты, вузы, промышленные предприятия горного профиля и структуры, осуществляющие реализацию государственной промышленной политики в области недропользования, и стать эффективным механизмом реализации государственно-частного партнерства в рамках проекта «Урал промышленный — Урал Полярный». В качестве позитивного примера формирования инновационной инфраструктуры развития территории можно привести создание «Западно-Сибирского центра нефти и газа», ориентированного на развитие всех стадий инновационного цикла — от формализации идеи до передачи технологии в серийное производство и развитие бизнеса.

Доля машиностроительной продукции в промышленном производстве УрФО за переходный период снизилась с 24 до 8,8 %, а его экспортная составляющая уменьшилась в 8 раз. При этом наиболее негативной тенденцией следует считать более чем десятикратное снижение инвестиций в основной капитал машиностроительных предприятий и недостаточную эффективность механизма внедрения инновационных разработок, соответствующих мировому уровню, в технологию, продукцию горного и обогатительного машиностроения как основу диверсификации недропользования. В условиях глобализации снижение конкурентоспособности экономики страны и региона, рост угрозы экономической безопасности во многом связан со снижением конкурентоспособности горно-промышленного комплекса страны и региона.

Система недропользования региона в глобальном диверсифицированном понимании этого термина не соответствует современным потребностям инновационной экономики:

— качеству и объемам научно-исследовательских работ и опытно-конструкторских разработок, их трансферту в недропользование;

— качеству образовательной среды, воспитывающей интеллектуальную горно-промышленную элиту общества.

Причины сложившегося положения во многом обусловлены:

— недостаточной развитостью и противоречивостью нормативной базы, не позволяющей эффективно оказывать государственную поддержку по формированию кластерных структур государственно-частного партнерства;

— отсутствием полного технологического цикла инновационной структуры в технопарках, их интеграции с крупными промышленными предприятиями горно-промышленного комплекса;

— неразвитостью механизма реализации научных исследований, финансируемых из федерального и областного бюджета, в горно-промышленный комплекс Урала для обеспечения повышения эффективности использования бюджетных средств;

— неэффективностью механизма рационального и эффективного использования невостребованных ресурсов крупных и убыточных предприятий;

— распылением материальных и интеллектуальных ресурсов, технологической деградацией в области диверсификации недропользования;

— износом основных фондов материальной базы диверсификации недропользования;

— дезинтеграцией взаимодействия академической, отраслевой науки вузов и предприятий горно-промышленного комплекса;

— отсутствием системного планирования общих стратегий и проектов, ориентированных на инновационные направления в недропользовании;

— неэффективностью трансферта новых знаний, опытно-конструкторских разработок в недропользовании.

В настоящее время подошла к исчерпанию сырьевая экспортно-ориентированная модель развития, на которую долгое время делала ставку Россия. Эксперты отмечают, что экономический рост последних пяти лет, на три четверти обусловленный благоприятной внешней конъюнктурой на мировых рынках топлива и сырья, не привел ни к диверсификации, ни к модернизации производства. Поэтому центральной проблемой ближайшего времени должен стать переход к новой модели экономического роста, прежде всего за счет инвестиционно-инновационных источников экономики. На встрече с представителями крупного российского бизнеса, состоявшейся 6 февраля 2007 г., В. В. Путин подчеркнул, что нужно сделать качественные шаги от простой эксплуатации природных ресурсов к их глубокой переработке. Истощение разведанных запасов природных ресурсов и несовершенство технологий их переработки уже сегодня ставят под угрозу развитие энергетики, металлургии и других производств. Новые методы разведки полезных ископаемых, комплекс-

ная переработка и обогащение руд, разработка новых способов извлечения ценных минералов и иные проблемы освоения и использования минерально-сырьевых ресурсов в настоящее время следует отнести к первостепенным по своей значимости задачам социально-экономического развития России.

Огромное значение решение этих проблем имеет для Свердловской области, которая является самым богатым регионом РФ по запасам минерального сырья. Здесь открыто более 12000 месторождений, представлены практически все элементы системы Менделеева. Доля Свердловской области в общероссийской добыче важнейших видов минерального сырья: 97 % ванадия, 71 бокситов, 61 асбеста, 23 железной руды и 6 медной руды. Вместе с тем минерально-сырьевая база Свердловской области почти по всем видам полезных ископаемых, кроме титано-магниевых руд, не обеспечивает устойчивого развития металлургических предприятий без завоза сырья извне. Особенно острым является дефицит хромовых и марганцевых руд, на грани исчерпания запасы медных руд. Обеспеченность запасами железных руд составляет: Качканарский ГОК — 65 — 67 лет, Высокогорский ГОК — более 30 лет, Богословское рудоуправление — 35 — 36 лет, Первоуральское рудоуправление — 25 — 28 лет [1]. Остры актуальные проблемы — разработка многофункциональных технологических комплексов обеспечения промышленной и экологической безопасности горных работ, утилизации техногенных отходов, диверсификации процессов добычи и переработки минерального сырья. Кроме того, экономика недропользования столкнулась с проблемой изменения схемы финансирования воспроизводства минерально-сырьевой базы РФ, поскольку в значительной части поисково-разведочные работы осуществляются за счет средств предприятий — разработчиков недр. Сохранение рентабельности горнодобывающих производств в этих условиях требует разработки и освоения новых высокоэффективных методов ведения полного комплекса горных работ и диверсификации добываемого сырья.

Комплексное решение этих проблем за счет формирования государственной политики в инновационном недропользовании, использование имеющихся в его распоряжении правовых, организационных, административных и иных ресурсов позволит существенно повысить инновационную активность научно-производственного комплекса, обеспечить рост конкурентоспособности продукции горно-промышленного комплекса Урала. В своем выступлении на седьмом съезде председатель партии «Единая Россия» Б. В. Грызлов отметил, что за предстоящие десять лет нам нужно провести полную модернизацию промышленности. Наши сегодняшние позиции должны стать исходной точкой для территориального развития и диверсификации экономики; добыча минерального сырья должна производиться с применением отечественной техники и отечественных технологий; необходимо стимулировать переработку сырья в России и увеличение доли высокотехнологичных товаров с высокой добавленной стоимостью. Ситуацию может исправить только целостная государственная политика, государство обязано играть здесь решающую роль. Нынешняя ситуация такова, что требуется общегосударственная координация.

Именно в этом заключается миссия уральского горно-промышленного научно-технологического парка «ИнтелНедра», призванного формировать эффективный механизм реализации региональной промышленной политики в горнодобывающем и металлургическом секторах экономики. Будучи по существу особой экономической зоной, он ориентирован на стимулирование и достижение конечного результата в инновационной деятельности путем создания инновационной инфраструктуры в форме программно-целевых протокластерных структур. Это способствует функционированию механизма государственной поддержки частного предпринимательства в области недропользования в комплексе с сервисным обслуживанием инновационных предприятий. Он обеспечивает разработку и внедрение технологических процессов недропользования и наукоемкого, в том числе импортозамещающего, горного оборудования в режиме транснационального научно-технологического франчайзинга и аутсорсинга. Стратегическая цель научно-технологического парка «ИнтелНедра» заключается в формировании системно- и предметно-замкнутой инновационной инфраструктуры, включающей в себя все необходимые элементы инновационного технологического процесса от генерации идеи до ее коммерциализации, организации промышленного производства с формированием добавленной стоимости.

Интересы государства и региона при реализации интеллектуальной собственности будут обеспечиваться путем расширения конкурентоспособности горно-промышленного сектора экономики, увеличения налогооблагаемой базы, бюджетной эффективности и повышения занятости населения. Именно такой подход к интеллектуальной собственности как одному из определяющих компонентов инновации позволяет в рамках действующего законодательства формировать программно-целевые протокластерные структуры, позволяющие эффективно взаимодействовать государственному и частному капиталу с максимальной экономической отдачей на конечный результат в недропользовании.

НТП «ИнтелНедра», будучи самодостаточной по компетенциям управляющей компанией протокластеров, объединенных в инфраструктуру Уральского горномашиностроительного кластера (УрГМК), позволит обеспечить на базе инновационного целеполагания и системы инновационного стратегического управления эффективное функционирование технологической цепи, производящей добавленную стоимость, поскольку соответствует современной модели инновации, учитывающей не только вертикальные взаимосвязи, но и сложную симбиозную взаимозависимость в системе интеллектуальный продукт — его коммерциализация, обеспечивающую достижение транснационального синергизма масштаба. При этом основой динамичного развития протокластера является частная инициатива субъектов инновационной деятельности. Обеспечение оптимального сочетания частной инициативы, частных интересов бизнеса, с одной стороны, и стратегических целей региона, с другой стороны, является основополагающей функцией управляющей компании для обеспечения эффективного инновационного недропользования. В результате этого принципиально новые инновационные технологии и техника, обеспечивающие мировой уровень роста производительности

труда и ресурсоэффективности, станут результативным бизнес-процессом равноправного взаимодействия соинвесторов — государства, научных учреждений, бизнеса. При этом нематериальные активы, создаваемые научными учреждениями, будут равноправными рыночными активами, как и материальные активы, создаваемые бизнесом, обеспечат соответствующий правовой механизм обязанностей и прав научных учреждений и ученых, равно как и бизнесменов, и станут основополагающим стратегическим инструментом мотивации их инновационного поведения.

Совершенствование федеральных законов о субъектах экономической деятельности позволит создать инновационные научно-производственные кластеры в форме государственно-частных корпораций с федеральными центрами науки и высоких технологий (ФЦНВТ) как центрами стратегического управления конкурентоспособностью на основе качества. Управляющая структура кластера обеспечит четкую комплексную постановку задач, индикативное планирование, критерии оценки результатов и объемы требуемых ресурсов, ответственность за соответствие технологий и продукции в части ресурсосбережения и роста производительности труда.

Гармонизация федеральной и региональной инвестиционных стратегий путем реализации рефлексивного механизма системного, матрично-интегрированного финансирования фундаментальных и прикладных НИР с выходом на технологии и технику обеспечит рост производительности труда и эффективности использования ресурсов с достижением требуемого роста ВРП, капитализации нематериальных активов в рамках соответствующих кластеров.

Проект создания УрГМК соответствует приоритетам социально-экономического развития РФ, стратегии диверсификации экономики и направлен на реализацию следующих важнейших задач государственной социально-экономической политики РФ:

- активизация инновационной деятельности в недропользовании и его технологическом фундаменте — горно-металлургическом машиностроении,
- модернизация и повышение конкурентоспособности горнодобывающих и металлургических производств, горного машиностроения;
- разработка, внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий, их трансферт и капитализация нематериальных активов в недропользовании;
- повышение промышленной и экологической безопасности горно-металлургического комплекса;
- развитие сектора малого высокотехнологичного предпринимательства;
- подготовка управленческих инженерно-технических кадров для инновационного бизнеса в недропользовании.

Актуальность проекта обусловлена особой важностью для Урала и РФ в целом модернизации горнодобывающих и металлургических производств, создания благоприятных условий для формирования в стране высокотехнологичного горномашиностроительного кластера как фунда-

мента для развития горного дела, а также развития инновационной инфраструктуры как основы формирования эффективной инновационной системы РФ в целях обеспечения устойчивого роста экономики, обеспечения стратегической безопасности и технологической независимости.

Мировой рынок горнодобывающей техники устойчиво растет на 8 — 10 % ежегодно. По данным «Hitachi», в 2006 г. объем этого рынка составлял 21 млрд. долл., а в 2009 г. он составит уже 27 млрд. Крупнейшими странами-производителями являются Германия, Япония и США. Россия — один из главных потребителей горнодобывающей техники. В 2007 г. российский рынок горного оборудования приблизился к 200 млн. долл. На сегодняшний день значительная часть бурового и иного оборудования для шахт, ГОКов, нефте- и газодобывающих предприятий приобретается за валюту за рубежом.

УрГМК будет способствовать решению важной экономической проблемы — импортозамещению горного оборудования.

Уральский горнопромышленный научно-технологический парк «ИнтелНедра» (НТП «ИнтелНедра») как интеллектуальный функционал УрГМК будет способствовать активизации инновационной деятельности по наиболее актуальным для горно-промышленного комплекса Свердловской области и страны в целом направлениям развития недропользования. Особую значимость реализация проекта имеет для обеспечения технологической независимости горного машиностроения РФ. Реализация проекта позволит решить следующие задачи (см.рисунок):

— коренной подъем социально-экономического развития муниципальных образований, имеющих на своей территории машиностроительные предприятия, путем создания муниципальных протокластеров, инновационного недропользования в режиме научно-технологического франчайзинга и аутсорсинга с крупными промышленными предприятиями и инвесторами в рамках государственно-частного партнерства;

— повышение конкурентоспособности горномашиностроительного комплекса и бюджетной эффективности Уральского региона;

— включение в региональную научно-образовательную стратегию вузов региона как локомотив экономики социальной сферы и образования региона в недропользовании;

— концентрация на НТП «ИнтелНедра» и УрГМК ресурсов бизнеса, средств федерального, региональных и местных бюджетов в области недропользования;

— повышение качества подготовки специалистов, научно-исследовательских работ и опытно-конструкторских разработок до уровня мировых требований;

— создание условий для трансферта знаний, технологии, опытно-конструкторских разработок в недропользовании;

— обеспечение диверсификации горно-промышленного комплекса, как основы эффективного инновационного недропользования.

Таким образом, НТП «ИнтелНедра», аккумулируя и используя совокупный научный, производственный и инфраструктурный потенциал, совместно с управляющей компанией УК УрГМК, создаваемой в рамках ГЧП, способны решать все многообразие задач горно-промышленного

Сильные стороны проекта

- Наличие научно-технического инновационного и инфраструктурного потенциала, серьезного научного задела
- Соответствие специализации УрГМК потребностям горно-промышленного комплекса
- Поддержка органами власти региона
- Устойчивые научные и деловые связи НТП «ИнтелНедра» с ведущими исследовательскими организациями и предприятиями горной промышленности
- Наличие опытно-промышленной базы НТП «ИнтелНедра»
- Опыт создания инновационных предприятий
- Образовательный потенциал НТП «ИнтелНедра» как база для подготовки и переподготовки кадров для горного дела

Слабые стороны

- Высокая стоимость ряда инновационных проектов
- Недостаточность собственных финансовых средств для реализации проекта
- Нехватка опыта продвижения инновационных проектов на рынки
- Высокая чувствительность проектов
- Отсутствие у ряда предприятий и муниципальных образований опыта работы в инновационном недропользовании

Благоприятные возможности

- Формирование с помощью НТП «ИнтелНедра» и УрГМК базы для технико-технологической модернизации горнодобывающего комплекса
- Наличие спроса на продукцию предприятий УрГМК
- Решение задач импортозамещения горного оборудования
- Укрепление связей науки с производством

Угрозы для реализации проекта

- Конкуренция со стороны зарубежных производителей техники для горных работ
- Потребность в значительных инвестициях по ряду проектов
- Недостаточная заинтересованность в проекте со стороны частных инвесторов
- Рост инфляции

SWOT — анализ реализации проекта создания УрГМК

комплекса — от поиска и разведки полезных ископаемых до производства конечной наукоемкой продукции, ее коммерциализации, а также подготовки высококвалифицированных кадров, предоставления инжиниринговых и консалтинговых услуг. Сформулировав на базе «ИнтелНедра» основные направления научно-технической политики в инновационном недропользовании, развития концепции создания многофункциональных технологических комплексов, охватывающих недропользование как единое технологическое пространство, с учетом элементов научно-технологического франчайзинга, аутсорсинга, УК УрГМК сможет разработать инвестиционно привлекательные для собственников крупных горнодобывающих предприятий проекты инфраструктурной перестройки машиностроительных предприятий региона. Это обеспечит их объединение по принципу государственно-частного партнерства в рамках межотраслевых протокластерных структур, способных производить многофункциональные технологические комплексы инновационного недропользования мирового уровня. С учетом приоритетов государственной экономической политики в области обеспечения технологической независимости, промышленной и экологической безопасности приоритетным направлением следует считать создание многофункциональных технологических комплексов промышленной и экологической безопасности как органической составляющей инновационного недропользования.

Таким образом, решение триединой задачи: совершенствование и гармонизация законодательства в недропользовании, совершенствова-

ние инновационной инфраструктуры предприятий региона, формирование научно-производственных кластеров — позволяет обеспечить комплексное освоение недр и глубокую диверсификацию горно-промышленного комплекса, тем самым существенно повысив научно-техническую, социальную и бюджетную эффективность региона.

Уральский горнопромышленный научно-технологический парк «ИнтелНедра» как составная часть инновационной инфраструктуры Большого евразийского университетского комплекса совместно с ведущими вузами Москвы и Санкт-Петербурга обеспечит эффективное внедрение в горное машиностроение технологий двойного назначения; заложит основу формирования на Урале федерального центра науки, высоких технологий и техники, экологически безопасной разработки месторождений и добычи полезных ископаемых для обеспечения ответственности за выход на рынок конкурентного наукоемкого горного оборудования, осуществление капитализации интеллектуальной собственности. При этом главные усилия на стадии формирования механизма реализации проекта «Урал промышленный — Урал Полярный» должны быть направлены на глобальную интеграцию образования, науки и производства и, прежде всего, на тех направлениях, которые обеспечивают реализацию стратегии инновационного использования недр.

Создание и обеспечение функционирования на базе научно-технологического парка «ИнтелНедра» программно-целевых протокластеров обеспечат подготовку высококвалифицированных востребованных специалистов с оптимальным сочетанием корпоративной культуры, креативности и компетентности, а также формирование современной экспериментальной базы для проведения научных исследований по заказам бизнеса в области разработки инновационных технологий, обеспечивающих эффективную реализацию процесса диверсификации горно-промышленного комплекса как материальной основы освоения приполярного и полярного Урала, получения новых конкурентоспособных продуктов.

Литература

1. *Бурыкин С. И.* Анализ состояния и направлений развития горнодобывающей промышленности Среднего Урала / С. И. Бурыкин // Горный журнал. — 2007. — № 11. — С. 4 — 6.

2. *Шохин А. Н.* Государственно-частное партнерство / А. Н. Шохин // Национальные проекты. — 2006. — № 3. — С. 86 — 89.

УДК 622.346:622.271.3

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ОТКРЫТОЙ ДОБЫЧИ ХРОМИТОВЫХ РУД НА УРАЛЕ

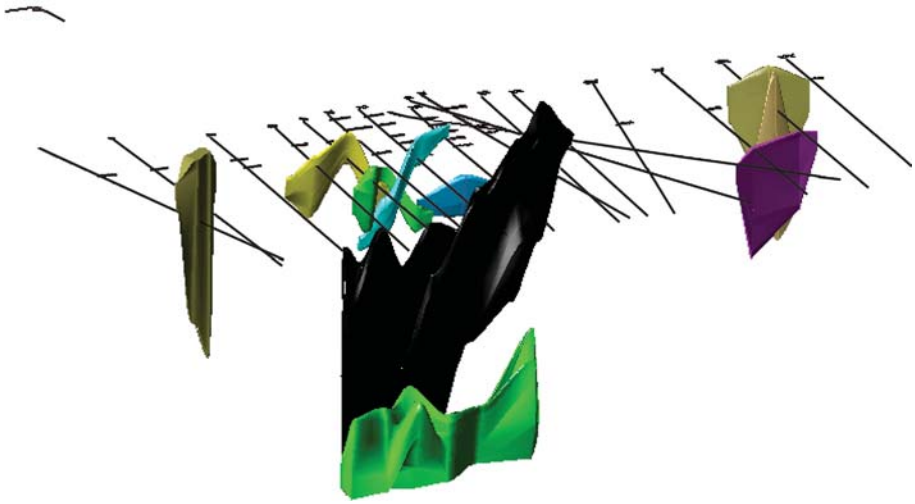
С. В. Корнилков, А. Д. Стариков, С. В. Исаков, В. Л. Беляев, О. В. Мусихина, А. Л. Костин

С конца 30-х и до середины 50-х годов прошлого века на территории Свердловской области осуществлялась добыча хромитовых руд. Ее прекращение связано с освоением Кемпирсайского ультраосновного массива и строительством на его базе Донского ГОКа, который в течение многих лет является основным поставщиком хромитовых руд для большинства ферросплавных производств не только России, но и Казахстана. Все возрастающий дефицит хромитового сырья требует расширения его добычи на Урале. Помимо шахты Сарановская, активно расширяющей свою минерально-сырьевую базу за счет пересмотра кондиций на полезное ископаемое, совершенствования процесса обогащения, а также вовлечения в открытую разработку валунчатых руд, необходимо возобновлять добычу хромитов и в Свердловской области на месторождениях Алапаевского и Ключевского ультраосновных массивов, а также месторождениях Качкинской группы и центральной части Восточно-Тагильского массива. Анализ геологических и горнотехнических условий залегания этих месторождений свидетельствует о том, что они во многом схожи.

Месторождения и рудопроявления Алапаевского ультраосновного массива (до 64) характеризуются следующими параметрами. Форма рудных тел северной группы линзообразная, южной — жилообразная. Размеры линзообразных тел по простиранию до 200 — 250 м, по падению до 100 — 120 м, мощность до 6 м; жилообразных тел по простиранию до 150 м, по падению до 50 м, мощность до 2,5 м. Судя по количеству подсчитанных запасов руды на разведанных объектах (от 60 до 75,5 тыс. т на проявлениях и от 119 до 350 тыс. т на месторождениях), все они относятся к мелким. Вмещающие породы представлены преимущественно серпентинитами, реже дунитами. Контакты рудных тел с вмещающими породами по большей части месторождений резкие, но встречаются и постепенные переходы (месторождение Курмановское). Инженерно-геологическая неоднородность вмещающих пород и руд обусловлена проявлением трещиноватости и, особенно, наложенными процессами выветривания.

На рисунке представлены условия залегания месторождения III Поденный рудник, являющиеся характерными и свидетельствующими о том, что форма хромитовых рудных тел и их взаиморасположение весьма сложны и для их геологического уточнения необходимы значительные затраты.

Курмановское месторождение относится ко 2-й группе сложности по геологическому строению. На месторождении, занимающем склоновое приводораздельное положение, подземные воды вскрыты скважинами



Результаты геоинформационного моделирования условий залегания месторождения хромитовых руд III Поденный рудник

на значительной глубине — от 17,5 до 21,3 м на абсолютных отметках от +186 на северо-западе до +182 м на юго-востоке. Уклон потока имеет в целом восточное направление, среднее его значение 0,0064. Непосредственно к площади месторождения с севера примыкает Курманово болото.

Запасы хромитовой руды при глубине оценки 52 м составляют 271 тыс. т при среднем содержании оксида хрома 13,86 %.

Месторождение хромитов III Поденный рудник, представленное несколькими рудными телами с углом падения 65 — 80°, мощностью 1 — 4 м и глубиной залегания от поверхности 12 м, в целом благоприятно для открытой разработки. Рельеф на участке месторождения сильно нарушен проводившимися ранее подземными работами с частичной закладкой выработанного пространства вмещающими породами. Рудные выходы расположены в неширокой (около 40 м) полосе, вытянутой в субширотном направлении. Расстояние между крайними выходами около 600 м. Глубина залегания уровня подземных вод по месторождению, по данным 1937 — 1938 гг., составила в среднем 31 м, что подтверждается данными эксплуатации месторождения.

По состоянию на 1 декабря 2002 г. запасы хромитовой руды месторождения III Поденный рудник категории разведанности C_1 составляют 82 872 т. В границах отработки месторождения наличествуют запасы руд категории C_2 и ресурсы P_1.

Месторождения Ключевского массива относятся к мелким и в настоящее время находятся на консервации. Преимущественное распространение на месторождениях Ключевской группы бедных вкрапленных руд определило в свое время специфику и проблемы их разработки. Это выразилось в одновременной эксплуатации множества разобщенных, разбросанных на большой площади мелких карьеров. Весь Ключевской

массив по геологическим условиям разбит на три части: северную, центральную и южную. Северная часть массива представлена Пьяноборской группой месторождений и рудопроявлений. Хромшпинелиды данных месторождений характеризуются низким содержанием оксида хрома (до 40 %) и высоким содержанием глинозема (20 — 25 %). Оруденение центральной части представлено небольшой группой разрозненных мелких месторождений и рудопроявлений (Поскотинское, Покосное и др.) в окрестностях д. Ключи. По своим параметрам месторождения близки к Северо-Ключевским. Руды Южно-Ключевских месторождений легко обогащаются.

Суммарные прогнозные запасы по Южно-Ключевской группе, по оценкам разных авторов, составляют 15 — 45 млн. т хромитовой руды при глубине оценки до 300 м. Однако приведенные значения запасов отвечают ресурсам P_2. В качестве наиболее перспективных участков, пригодных для проведения опытно-производственных работ, считаются следующие месторождения и рудопроявления: Шмелевское II, Первомайское I, Мусорный карьер.

На участке Шмелевский II выявлены четыре рудные линзы с содержанием оксида хрома 8,33 — 25,78 %. Подсчет запасов производился до глубины 12 — 15 м. Однако до глубины 130 м прослежена Центральная залежь участка, имеющая пластообразную форму. Ориентировочные запасы Шмелевской рудной зоны в целом до глубины 200 м и с учетом убогой вкрапленности составляют от 1 до 3 млн. т руды.

Рудная зона участка Первомайский I шириной до 40 м и протяженностью 110 м с общим простиранием 240° представляет собой серию маломощных рудных тел пласто- и линзообразной формы мощностью от 0,5 до 10,0 м. Общее падение рудной зоны под углом 65 — 70° на северо-запад. Рудные полосы чередуются с безрудными, мощность последних 1 — 8 м.

Геологоразведочными работами было прослежено оруденение на глубину до 80 м. На глубине 45 м рудная зона пересекается пологозалегающей линзообразной жилой тальк-карбонатных пород мощностью 5 — 10 м. Перспектив на запасы по глубине нет. Уровень грунтовых вод вскрыт на глубине 20 м от поверхности. *Участок Мусорный карьер* расположен в 270 м к востоку от месторождения Первомайское I. Он занимает площадь около 2400 м^2 с параметрами 80×30 м. В настоящее время участок представляет собой заросший кустарником и мелколесьем старый карьер и отвалы пустых пород.

Общее простирание рудной зоны 250°, протяженность, по разным данным, от 60 до 100 м. Рудная зона представляет собой пластообразную залежь общей мощностью 18 — 40 м. При этом наблюдается отчетливая тенденция увеличения мощности по падению. До глубины 25 — 30 м рудная зона состоит из трех рудных тел мощностью 2,6; 2,4 и 10,0 м со средним содержанием оксида хрома 16,7; 17 и 11,8 %, соответственно. Рудные тела имеют крутое падение (55 — 87°). Наиболее перспективными для отработки являются месторождения южной части Ключевского массива. В целом запасы, готовые к отработке, по нашим данным, оцениваются в более чем 500 000 т.

Месторождения хромитовых руд центральной части Восточно-Тагильского массива расположены на территории муниципального образования г. Красноуральск.

Уровень грунтовых вод на месторождении Кутузовское-I 60 м, на месторождении Петровское-I около 40 м. Рудные тела выходят на поверхность, мощность рыхлых пород вскрыши не превышает 5 м. К неблагоприятным условиям относятся незначительные запасы хромитов на обоих месторождениях и отсутствие перспектив их прироста.

Месторождения Качкинской группы расположены на территории муниципального образования г. Верхняя Пышма Свердловской области. Эксплуатировались эпизодически с конца прошлого века и особенно интенсивно в 1935 — 1941 гг. Они однотипны и обычно представлены группой рудных тел в количестве от 3 до 12 на расстоянии 30…200 м друг от друга. Форма рудных тел довольно разнообразная, преобладающая — линзы. Простирание рудных тел составляет преимущественно 300 — 350°, падение крутое 50 — 90° на северо-восток, реже на запад. Размеры рудных тел в пределах 3 — 55 м по простиранию и 0,5 — 15,0 м по мощности. По падению они прослеживаются от 5 до 15 м, иногда более.

Наибольший объем эксплуатационных работ выполнен на месторождении Качка III. В отгружаемой потребителям руде содержание оксида хрома составило 38,18 %, окиси железа 13,88 %, кремнезема 5,99 %. В пределах месторождения на протяжении 0,5 км в меридиональном направлении установлены семь выходов рудных тел на дневную поверхность, расстояние между ними от 40 до 200 м. Размеры выходов в плане варьируют от 15×10 м до 80×4…12 м, угол падения 70 — 80°, глубина выклинки от 20 до 45 м, средняя мощность рудных тел от 3 до 14 м.

В верхней части месторождения породы выветрелые, более разрушенные и менее прочные и по прочности относятся к полускальным (до глубины 10 — 12 м). Коэффициент крепости этих пород не более 3 по шкале Протодьяконова. Ниже 10 — 12 м от поверхности располагаются невыветрелые скальные породы крепостью 8 — 11 по шкале Протодьяконова.

Анализ горно-геологических и природных условий залегания месторождений хромитовых руд позволяет сделать следующие общие заключения.

1. Природные условия размещения проанализированных месторождений во многом идентичны: залежи размещаются, как правило, в лесных массивах (смешанные леса с преобладанием хвойных пород), рельеф поверхности на площади отработки равнинный или увалисто-равнинный, месторождения размещаются на площадях, незначительно удаленных от транспортных магистралей, и могут быть достаточно быстро освоены.

2. Практически все месторождения ранее отрабатывались. Условия залегания всех рудных тел весьма сложные, имеются значительные нарушения сплошности рудного массива, залежи относительно маломощные, вмещающие породы крепкие (коэффициент крепости 10 — 12 по шкале Протодьяконова), требуют, как и полезное ископаемое, буровзрывных работ при подготовке массива к экскавации.

3. Контакты рудных тел с вмещающими породами по большей части месторождений резкие, но встречаются и постепенные переходы (месторождение Курмановское). Инженерно-геологическая неоднородность вмещающих пород и руд обусловлена проявлением трещиноватости и, особенно, наложенными процессами выветривания. Отработка месторождений, как правило, сопровождается выемкой значительных объемов вскрыши.

4. Обводненность верхней части залежей незначительная, подземные воды размещаются на глубине до 12 — 20 м (до 30 — 60 м). Тем не менее отработка каждого месторождения должна сопровождаться мероприятиями по осушению.

5. Климатические условия ведения горных работ также однотипны — с суровой снежной зимой и жарким, часто дождливым летом. Глубина снежного покрова достигает 1 — 2 м. Глубина промерзания почвы на открытых местах до 1,5 — 2,0 м. Первый снег выпадает в октябре. Сходит снеговой покров в апреле.

6. Хромиты залегают в благоприятных для отработки гидрогеологических и горнотехнических условиях; представлены в основном бедными легко- и среднеобогатимыми рудами вкрапленного типа со средним содержанием оксида хрома 10 — 15 % (в редких случаях до 35 — 38 %).

При эксплуатации хромитовых месторождений Свердловской области приоритетным на сегодняшний день является открытый способ разработки, наиболее экономически целесообразный по горнотехническим и горно-геологическим условиям залегания разведанных рудных тел.

Анализ выполненного авторами комплекса работ, основанного на предварительных оценках рудной базы, разработке конкурсных ТЭП и проектной документации, свидетельствует о том, что при эксплуатации уральских месторождений хромитов открытым способом возможно применение типовых решений, основанных на цикличной технологии отработки с применением мобильных станков УРБ-5А-2Д и аналогичных для взрывной подготовки горной массы к выемке; гидравлических строительных экскаваторов — обратных лопат с небольшой вместимостью ковша (до 1,5 — 2,0 м^3); автосамосвалов грузоподъемностью 10 — 20 т при транспортировке горной массы, обеспечивающих движение по съездам с уклоном до 10 — 11 % при вскрытии нижних горизонтов.

Принятая схема комплексной механизации и условия залегания месторождений определяют отработку месторождений хромитовых руд 2 — 3 уступами высотой 4 м каждый. При отработке рудных тел рекомендуется разбивать их на подуступы высотой до 2 м с целью снижения возможных потерь и разубоживания. При подходе к конечному контуру карьерной выемки рабочие уступы переводятся в погашенное состояние группами по 3 — 4 уступа (12 — 16 м). Такая конструкция погашенного борта обеспечивает минимальный текущий объем вскрышных работ и средний коэффициент вскрыши, который в зависимости от условий залегания может колебаться в большом диапазоне — от 0,5 м^3/т (Качка III) до 21,54 м^3/т (III Поденный рудник).

Особенностью месторождений хромитовых руд Свердловской области являются их малые размеры, поэтому ширина карьера по поверхнос-

ти может варьировать от 100 — 150 м до 180 — 200 м. Длина карьерного поля определяется длиной залежи по простиранию и для месторождений такого типа может составлять от 100 до 800 — 900 м; глубина большинства отрабатываемых и перспективных для отработки открытым способом Алапаевских месторождений при этом составляет 50 — 70 м при устойчивом угле откоса бортов 40 — 45°. Вычисления, проведенные для карьеров Качкинской и Ключевской групп, свидетельствуют о том, что их предельная глубина составляет 25 — 40 м. Карьер, отрабатывающий месторождение Кутузовское-I, имеет предельную глубину 45 м.

Срок отработки карьеров такого типа составляет обычно 5 — 10 лет. Основными технологическими показателями интенсивности разработки являются темпы годового понижения и скорость подвигания фронта работ, которые составляют для анализируемых групп карьеров по добыче хромовых руд ориентировочно от 4 — 6 и 30 — 50 м/год, соответственно.

Характерной особенностью практически всех известных уральских месторождений хромитов является наличие на них рудных ресурсов низких категорий разведанности, пример — III Поденный рудник. Наличие и вероятность фактического подтверждения в его технических границах объемов руды, оцениваемых ресурсами P_1, во многом определяет эффективность отработки всего месторождения. В табл. 1 приведена количественная оценка вариантов возможной проектной глубины открытой разработки месторождения III Поденный рудник, отличающихся глубиной разработки, учитываемыми при расчетах объемами руды и конструктивными особенностями погашенных бортов карьеров. При полном подтверждении оцененных ресурсов P_1 средний коэффициент вскрыши по карьеру снизится в 1,4 — 1,5 раза, а соответственно, и эффективность отработки может быть значительно повышена. Этот пример свидетельствует о том, что *весьма существенным фактором обоснования границ карьера, особенно при эксплуатации сложноструктурных хромитовых месторождений, является фактор риска неподтверждения запасов, который существеннейшим образом, наравне с ценой на производимое полезное ископаемое, влияет на эффективность отработки месторождения и главные параметры горных работ.*

Следующим существенным фактором, определяющим эффективность отработки бедных вкрапленных хромитовых руд Урала, является бортовое содержание Cr_2O_3 при подсчете запасов на стадии обоснования кондиций. Для установления экономической целесообразности отработки месторождений хромитовых руд Свердловской области в качестве типичного нами рассмотрен пример обоснования временных разведочных кондиций Курмановского месторождения. При составлении ТЭО кондиций в основу положены вычисленные геологические запасы хромитовых руд, определенные по трем вариантам бортового содержания Cr_2O_3 — 5, 10 и 15 %. Для исключения значительного количества многовариантных технико-экономических расчетов на первой стадии обоснования главных параметров карьера, в том числе его экономически допустимой глубины, была произведена укрупненная экономическая оценка; критерий оценки — максимум чистого дисконтированного дохода (табл. 2). При глуби-

Таблица 1

Основные технологические параметры вариантов отработки карьера III Поденный рудник

Показатель	№ варианта (глубина отработки, м)					
	1 (74)	2 (74)	3 (66)	4 (66)	5 (66)	6 (74)
Погашаемые уступы	10 м (гор. 226 – 216) 32 м (гор. 216 – 184) 20 м (гор. 184 – 164) 8 м (гор. 164 – 156) 4 м — ниж. черпание	10 м (гор. 226 – 216) 20 м (гор. 216 – 204) 20 м (гор. 204 – 184) 20 м (гор. 184 – 164) 8 м (гор. 164 – 156) 4 м — ниж. черпание	10 м (гор. 226 – 216) 20 м (гор. 216 – 196) 32 м (гор. 196 – 164) 4 м — ниж. черпание	10 м (гор. 226 – 216) 20 м (гор. 216 – 196) 20 м (гор. 196 – 176) 12 м (гор. 176 – 164) 4 м — ниж. черпание	**10 м (гор. 226 – 216)** **20 м (гор. 216 – 196)** **20 м (гор. 196 – 176)** **12 м (гор. 176 – 164)** 4 **м — ниж. черпание**	10 м (гор. 226 – 216) 20 м (гор. 216 – 196) 20 м (гор. 196 – 176) 20 м (гор. 176 – 156) 4 м — ниж. черпание
Углы погашения бортов, град:						
северный борт	48 – 52	45 – 49	52	50	**49**	49
южный борт	53 – 52	50 – 49	52	50 (47)	**51**	51
Площадь карьера по верху, га	4,34	4,99	3,93	4,41	**4,06**	5,2

ОБЪЕМЫ

Категория запасов	C_1+P_1	C_1	C_1+P_1	C_1	C_1+P_1	C_1	C_1+P_1	C_1	C_1+P_1	C_1	C_1+P_1	C_1
ОТРАБОТАНО НА 1.12.2002 г.												
Горная масса, м^3	278500	278500	278500	278500	278500	278500	278500	278500	**278500**	**278500**	278500	278500
Руда, т	2793	2793	2793	2793	2793	2793	2793	2793	**2793**	**2793**	2793	2793
ОСТАТОК НА 1.12.2002 г.												
Горная масса, м^3	1016452	1016452	1175747	1175747	828639	828639	1020559	1020559	**1049948**	**1049948**	1409589	1409589
Руда, т	90460	64620	90460	64620	76219	55447	76219	55447	**76219**	**55447**	97531	64620
Руда, м^3 (G = 3,7)	24449	17465	24449	17465	20600	14986	20600	14986	**20600**	**14986**	26360	17465
Вскрыша, м^3	992003	998987	1151298	1158282	808039	813653	999959	1005573	**1029348**	**1034962**	1383229	1392124
Средний коэффициент	10,97	15,46	12,73	17,92	10,60	14,67	13,12	18,14	**13,51**	**18,67**	14,18	21,54

**В табл. 1, 2, 3 жирным шрифтом выделен вариант глубины карьера, принятый проектом к реализации.*

Таблица 2

Основные параметры карьера при различном бортовом содержании Cr_2O_3

Показатель	Ед. изм.	Глубина отработки месторождения, м						
		12	28	36	40	52	76	100
Бортовое содержание 5 %								
Срок оценки	лет	6	9	10	10	**12**	14	17
ЧДД при E = 20 %	млн. руб.	32,1	40,0	37,1	35,4	**37,0**	–15,4	–50,6
ИД	ед.	2,90	3,08	2,66	2,49	**1,87**	0,76	0,29
Срок окупаемости инв.	лет	1	1	2	2	**2**	—	—
Бортовое содержание 10 %								
Срок оценки	лет	5	6	7	8	**10**	12	13
ЧДД при E = 20 %	млн. руб.	28,3	31,7	35,5	37,3	**41,1**	14,5	–15,7
ИД	ед.	2,47	2,44	2,60	2,67	**2,82**	1,38	0,76
Срок окупаемости инв.	лет	1	1	1	1	**1**	4	—
Бортовое содержание 15 %								
Срок оценки	лет	4	6	6	6	**6**	7	7
ЧДД при E = 20 %	млн. руб.	28,5	38,8	37,5	36,9	**35,1**	30,1	–15,6
ИД	ед.	2,60	3,10	2,88	2,79	**2,56**	2,11	0,73
Срок окупаемости инв.	лет	1	1	1	1	**1**	2	—

Примечание. Полные экономические расчеты по вариантам и годам отработки выполнены с применением ПП «Ural Mining Invest».

не отработки месторождения 52 м и бортовом содержании Cr_2O_3 10 % величина ЧДД максимальна. Однако расхождение в экономических оценках внутри выделенного интервала находится в пределах допустимой погрешности вычислений. Дальнейшие уточненные технико-экономические расчеты показали, что значения эффективности отработки при бортовом содержании Cr_2O_3 5 и 10 % также сопоставимы, поэтому к утверждению принято бортовое содержание 5 %. Обобщенная характеристика вариантов подсчета запасов приведена в табл. 3.

При экономическом обосновании расчетная цена 1 т сырой руды определена исходя из действующих цен с учетом выхода и качества хромитового концентрата и среднего содержания оксида хрома.

Таблица 3

Обобщенная характеристика вариантов подсчета запасов

Показатель	Ед. изм.	Значения по вариантам		
Бортовое содержание Cr_2O_3	%	**5**	10	15
Геологические запасы	т	**491,5**	265,3	99,5
Промышленные (балансовые) запасы	тыс.т	**310,80**	194,62	90,89
Объемный вес руды	т/м^3	**2,88**	2,95	3,09
Среднее содержание Cr_2O_3 в руде	%	**12,979**	16,308	21,35

Аналогичные укрупненные расчеты, выполненные для карьеров Ключевской группы, свидетельствуют о том, что бортовое содержание в указанных рудах также составляет 5 %, а среднее содержание Cr_2O_3 в добываемых рудах колеблется в пределах 13 — 15 %. Содержание Cr_2O_3 в рудах Качкинской группы и Восточно-Тагильского региона несколько выше и составляет 20 — 25 %.

Результаты выполненных работ и оценок позволяют сделать следующие основные выводы.

1. Запасы отдельных хромитовых месторождений Урала невелики, в основном преобладают мелкие месторождения, однако оценка ресурсов каждого из рассматриваемых регионов свидетельствует о реальной возможности организации эффективной добычи. Месторождения размещаются на площадях, незначительно удаленных от транспортных магистралей, и могут быть достаточно быстро освоены. При отработке карьеров возможно применение типовых технологий добычи.

2. Среднее содержание оксида хрома в подавляющем количестве разведанных запасов — низкое, руды отнесены к категории бедных. Технико-экономические расчеты свидетельствуют о том, что бортовое содержание руд Свердловской области рационально устанавливать на уровне 5 — 7 %. Руды месторождений Свердловской области со средним содержанием Cr_2O_3 12 — 15 % могут быть использованы в огнеупорной и химической промышленности и как сырье для производства феррохрома при условии их обогащения.

3. Рекомендуемые параметры кондиций на хромитовые руды Свердловской области для рассмотренных условий могут быть охарактеризованы следующими значениями: бортовое содержание Cr_2O_3 (определено технико-экономическим расчетом) 5 %; минимальная мощность рудных тел определяется технологическими возможностями и параметрами ведения БВР при отбойке рудных тел и рабочими параметрами выемочного оборудования и составляет 1 м; максимально допустимая мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд 2 м; предельно допустимый коэффициент вскрыши (определен технико-экономическим расчетом) 13 — 14,5 $м^3$/т; максимальная глубина подсчета запасов (определена технико-экономическим расчетом) — до 100 м.

4. Условия залегания месторождений позволяют организовать их открытую разработку. При этом предельная глубина карьеров оценивается в 50 — 70 м. Суммарная производительность таких карьеров по горной массе не превышает 400 — 450 тыс. $м^3$/год, по руде 10 — 25 тыс. т/год.

5. Весьма существенным фактором в обосновании границ карьера, особенно при эксплуатации сложноструктурных хромитовых месторождений, является фактор риска неподтверждения запасов, который существеннейшим образом, наравне с ценой на производимое полезное ископаемое, влияет на эффективность отработки месторождения и главные параметры горных работ.

УДК 622.271

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОТКРЫТОЙ ДОБЫЧИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СИБИРИ

В. Н. Опарин, А. Р. Маттис, В. И. Ческидов

Анализ тенденций развития мирового сообщества свидетельствует, что в XXI веке будет продолжаться рост потребления минерально-сырьевых ресурсов с соответствующим дальнейшим развитием горнодобывающих отраслей промышленности. Западные эксперты прогнозируют, что в предстоящие 50 лет объемы горного производства возрастут по меньшей мере в 4 — 5 раз. Интенсивно идущие в последние годы процессы глобализации минерально-сырьевых баз, а также национальные интересы многих стран должны быть определяющими при реализации выдвинутой в 1992 г. ООН концепции сбалансированного развития мира [1].

В России открыто и разведано около 20 000 месторождений различных полезных ископаемых, из которых более трети освоены промышленностью. Валовая стоимость разведанных и оцененных российских запасов полезных ископаемых составляет порядка 28 триллионов долларов, а их прогнозный потенциал оценивается в 140 трлн. долларов [2]. Крупные и уникальные месторождения (около 5 % в общем перечне) содержат почти 70 % всех выявленных запасов и обеспечивают половину объемов добычи минерального сырья. Минерально-сырьевой потенциал России в целом достаточен для проведения эффективной и независимой экономической политики.

Основной объем запасов минерального сырья сосредоточен в восточных регионах страны: более 75 % топливно-энергетических ресурсов (нефти 69 %, газа 91, угля 61), основные запасы золота, платины, цветных металлов, алмазов и других важнейших полезных ископаемых [3]. Горнопромышленный комплекс Сибири это:

— основа обеспечения национальной безопасности;

— один из крупнейших мировых производителей многих видов минерального сырья, около 80 % которого экспортируется, обеспечивая стабильные валютные поступления;

— капиталоемкая и наукоемкая отрасль, играющая важную роль в новых экономических условиях страны и выступающая, с одной стороны, в качестве потребителя высокотехнологичных товаров и услуг, с другой — поставщика важнейших стратегических ресурсов и материалов;

— одна из немногих отраслей, обеспечивающих относительно благоприятный торговый баланс России;

— поставщик более 70 % объема грузов, перевозимых железнодорожным и водным транспортом;

— работодатель для значительной части трудоспособного населения и основа экономической жизнеспособности подавляющего большинства городов и поселков;

— источник большого количества рабочих мест для россиян не только в области разведки, добычи и обогащения полезных ископаемых, но и в сфере технологических и экономических услуг, ряде других обрабатывающих и вспомогательных секторов (транспорт, машиностроение, строительство).

Важной особенностью уникальной сибирской минерально-сырьевой базы является то, что большая часть составляющих ее запасов полезных ископаемых может разрабатываться наиболее эффективным и безопасным открытым способом. В настоящее время этим способом в Сибири добывается свыше 90 % руд черных и цветных металлов, более 65 % угля, весь объем алмазов, золота, платины и строительных материалов. По оценке ученых и специалистов, в перспективе удельный вес открытого способа в общем объеме добычи твердых полезных ископаемых будет неуклонно возрастать.

В настоящее время в ведущих горнодобывающих регионах (Кемеровская область, Красноярский край, республика Хакасия) функционирует порядка 60 угольных разрезов производственной мощностью от 0,1 до 27,5 млн. т угля в год и 5 железорудных карьеров мощностью от 0,8 до 2,7 млн. т сырой руды в год. На разрезах повсеместно применяются углубочные системы разработки с использованием в качестве выемочного оборудования на вскрышных и добычных работах механических и гидравлических экскаваторов с ковшами вместимостью до 32 м^3 в комплексе с автосамосвалами грузоподъемностью до 320 т и, в меньшей степени, с железнодорожным транспортом. Конвейерный транспорт на открытых работах имеет пока ограниченное распространение (разрезы Талдинский в Кузбассе и Березовский-1 в Канско-Ачинском бассейне). Вместе с тем с переходом большинства кузбасских разрезов на глубину более 200 — 300 м, все активнее обсуждается вопрос их перевода на циклично-поточную технологию с автомобильным транспортом на нижних горизонтах и конвейерным — для выдачи горной массы на поверхность. Гидромеханизированный способ разработки вскрышных пород, достаточно широко применявшийся ранее на угольных разрезах, в настоящее время также имеет ограниченное применение из-за сокращения на разрезах объемов рыхлых вскрышных пород. На участках с углами падения пластов до 15° на отработке нижних междупластий продуктивной толщи используется бестранспортная технология с непосредственной перевалкой вскрышных пород в выработанное пространство драглайнами с ковшами вместимостью 10 — 40 м^3 и длиной стрелы до 90 м. На железорудных карьерах также в основном применяются транспортные системы разработки с использованием карьерных экскаваторов и автомобильного транспорта.

В соответствии с «Энергетической стратегией России на период до 2020 года» 75 — 80 % планируемой общероссийской добычи угля (400 — 430 млн. т в 2020 г.) намечается производить открытым способом. При этом ведущее значение сохранится за Кузнецким и Канско-Ачинским угольными бассейнами, на месторождениях которых предусматривается ввод более 70 % новых производственных мощностей [4]. Дальнейшее развитие открытой угледобычи предполагается и на других месторожде-

Потенциал открытой угледобычи в сибирских регионах

Регион, бассейн	Количество участков для открытой угледобычи	Ориентировочные промышленные запасы, млн. т	Возможная мощность разрезов (от—до/суммарная), млн. т/год
Кемеровская и Новосибирская области, Кузнецкий, Канско-Ачинский (западная часть), Горловский бассейны	42	25 180	0,1 — 60/470
В том числе:			
каменноугольные	25	6650	0,1 — 30/145
буроугольные	17	18 530	10 — 60/325
Красноярский край, республики Хакасия, Тыва, Канско-Ачинский (восточная часть), Тунгусский бассейны. Месторождения: Бейское, Чаданское, Каа-Хемское, Черногорское, Изыхское	90	63 675	0,2 — 55/1168
В том числе:			
каменноугольные	20	3348	0,2 — 20/58
буроугольные	70	60 327	2 — 55/1110
Всего	132	88 855	0,1 — 60/1638
В том числе:			
каменноугольные	45	9998	0,1 — 30/203
буроугольные	87	78 857	2 — 60/1435

ниях Сибири. По прогнозным оценкам, приведенным в таблице , для открытой добычи угля в рассматриваемых регионах может быть задействовано более 150 месторождений и участков с ориентировочными промышленными запасами 94 млрд. т углей различного марочного состава, в том числе 12 млрд. т каменных и 82 млрд. т бурых [5].

На базе этих запасов возможно строительство угольных разрезов единичной мощностью от 0,1 до 60 млн. т в год. При этом суммарная мощность предприятий открытой угледобычи может быть доведена до значений, удовлетворяющих потребности народного хозяйства в энергетических углях по любому из возможных сценариев развития экономики страны. В среднесрочной перспективе сохранится тенденция наращивания открытой угледобычи каменных углей в Кузнецком и Минусинском бассейнах, на востоке — в Якутии (с вовлечением в отработку Эльгинского месторождения). Масштабное освоение уникальных запасов (более 100 млрд. т для открытых работ) канско-ачинских бурых углей следует, очевидно, ожидать после разработки и промышленной проверки современных эффективных технологий энергогенерации и глубокой переработки углей для получения конечных продуктов с высокой потребительской стоимостью (жидкие продукты, полукокс, брикеты и т.д.). Для покрытия потребности в коксующихся углях, с учетом их залегания на больших глубинах, потребуется соответствующее развитие также подземного способа добычи и, в первую

очередь, на месторождениях Кузбасса и республики Тыва (Элегестское, Межегейское месторождения).

Одним из основных направлений повышения эффективности и экологической безопасности открытой угледобычи является коренное изменение технологического и экономического уровня горного производства за счет внедрения ресурсосберегающих технологий и нового поколения технических средств.

Применяемые в настоящее время на пологопадающих и наклонных месторождениях Кузбасса продольные углубочные системы разработки, обеспечивая достаточно высокие технико-экономические показатели в начальный период эксплуатации разреза, имеют, вместе с тем, ряд серьезных недостатков [6]: а) неуклонный рост объемов вскрыши на протяжении всего срока последующей эксплуатации разреза; б) увеличение (с понижением горных работ) расстояния транспортирования горной массы, что ведет к значительному росту эксплуатационных затрат; в) изъятие значительных земельных площадей под внешние отвалы (на наклонных и крутопадающих месторождениях во внешних отвалах размещается до 100 %, а на пологопадающих от 20 до 65 % вскрышных пород). Как показывают исследования, существенно уменьшить влияние этих недостатков возможно за счет внедрения систем разработки с разнонаправленным (продольно-поперечным) подвиганием фронта горных работ и максимальным использованием техногенного ресурса выработанных карьерных пространств.

В ИГД СО РАН разработан метод выбора рационального порядка разработки пологопадающих месторождений двумя очередями с внутренним отвалообразованием на основе новых принципов формирования и развития карьерного пространства [7]. Использование метода позволяет: минимизировать объем карьерного технологического пространства, обеспечивающего эффективное и безопасное ведение горных работ без снижения заданной мощности разреза; разместить практически весь объем вскрышных пород в пределах поля разреза; снизить затраты на внутрикарьерный транспорт за счет сокращения (в 1,1 — 1,3 раза) расстояния транспортирования горной массы; вести рекультивацию нарушенных земель в процессе ведения горных работ.

Выполненными совместно с ИГД УрО РАН и ИГДС СО РАН исследованиями установлено, что значительный экономический и природоохранный эффект в определенных горно-геологических условиях угольных и других месторождений твердых полезных ископаемых может быть достигнут также за счет расширения области применения безвзрывных технологий разработки массивов горных пород с использованием экскаваторов с ковшом активного действия, машин послойного фрезерования и компактных роторных экскаваторов с повышенным усилием резания [8]. В качестве основных объектов для безвзрывной разработки с использованием созданных к настоящему времени машин могут быть выделены: массивы горных пород с пределом прочности на сжатие до 60 — 80 МПа; сложноструктурные залежи, требующие селективной выемки; месторождения и участки, на которых ограничено или невозможно применение буровзрывного способа рыхления массива

(близость населенных пунктов, промышленных объектов и инженерных коммуникаций, размещение в заповедных зонах, повышенные требования к качеству добываемого сырья и т. д); техногенные залежи сырья; выполнение специальных работ (разнос бортов, заоткоска уступов при постановке бортов в конечное положение и др.). Анализ горно-геологических условий месторождений различных полезных ископаемых Урала и Сибири свидетельствует о том, что применение этих технологий возможно практически во всех горнодобывающих отраслях промышленности. По предварительной оценке, в этих регионах с использованием рассматриваемых технологий может отрабатываться до 35 — 40 % общего объема извлекаемых в настоящее время горных пород.

Одним из главных условий устойчивого развития предприятий металлургического комплекса России является наличие надежной сырьевой базы. Эта проблема весьма актуальна для сибирской и уральской металлургии, испытывающей дефицит руды из собственных источников и вынужденной завозить ее из отдаленных районов. В то же время в Западной Сибири имеется ряд крупных железорудных месторождений, освоение которых, наряду с интенсификацией работ на действующих карьерах, позволило бы удовлетворить потребность в руде на длительную перспективу ведущих российских металлургических комбинатов. В числе этих месторождений, пригодных для отработки открытым или открыто-подземным способом, следует отметить Белорецкое и Инское месторождения магнетитовых руд в Горном Алтае с балансовыми запасами руды, соответственно, 370 и 200 млн. т (со средним содержанием железа до 31 — 45 %) и Бакчарское месторождение бурых железняков в Томской области с прогнозными запасами руды более 110 млрд. т, в том числе около 40 млрд. т для открытой добычи (среднее содержание железа 30 — 46 %). По предварительной оценке, на базе Белорецкого и Инского месторождений возможно создание горно-обогатительного комбината производственной мощностью по добыче руды до 15 млн. т в год. На участке Бакчарского месторождения с запасами руды около 3 млрд. т может быть организован карьер производственной мощностью до 50 млн. т руды в год. Исходя из строения продуктивной толщи и состава слагающих ее слабых осадочных пород, разработка месторождения может производиться по поточной технологии с использованием высокопроизводительного горно-транспортного оборудования (роторных экскаваторов и ленточных конвейеров, средств гидромеханизации).

При кажущихся на первый взгляд удовлетворительном состоянии и в целом благоприятной перспективы открытой угледобычи необходимо выделить ряд наиболее значимых факторов, снижающих инвестиционную привлекательность ресурсного потенциала сибирских регионов:

* Слабая освоенность значительной части вовлекаемых в отработку месторождений и большая их удаленность от основных потребителей угольной продукции, усугубляемая ограниченной пропускной способностью магистральных транспортных коммуникаций.

* Недостаточно удовлетворительная структура угольных запасов по марочному составу углей с преобладанием бурых и дефицитом наиболее востребованных марок каменных углей (СС, К, Ж).

* Не отвечающая современным требованиям сложившаяся по отдельным регионам в годы плановой экономики малоэффективная структура потребления угольных ресурсов. Это касается, прежде всего, использования высокозольных экибастузских углей на Урале и в Омской области вместо имеющихся в достаточных объемах высококачественных канско-ачинских и кузнецких углей.

Негативные последствия имеют также сложившиеся в последние годы общероссийские тенденции. В большинстве горнодобывающих отраслей нарушен процесс воспроизводства минерально-сырьевой базы, объемы геологоразведочных работ не обеспечивают восполнение отрабатываемых запасов полезных ископаемых. Начиная с 90-х годов прошлого столетия добыча абсолютного большинства видов минерального сырья обеспечивается, в основном, созданным ранее заделом запасов.

В силу природно-географических и горно-геологических условий рентабельность разработки многих отечественных сырьевых ресурсов остается ниже мировой. В результате переоценки, исходя из современной рыночной конъюнктуры, оказались за гранью рентабельности, например, по железной руде 27 % запасов, олову 67, молибдену, никелю и вольфраму до 55, золоту до 40.

Возрастающее значение для отраслей горнопромышленного комплекса приобретают проблемы разработки и внедрения новейших организационно-технологических мероприятий и наукоемких, ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий по всему циклу горного производства — от добычи через обогащение (или металлургический передел) до производства конечной продукции, а также использования вторичного сырья.

В числе важнейших задач повышения эффективности и конкурентоспособности горнодобывающих и перерабатывающих предприятий является обеспечение их новой современной горной техникой, которое, как правило, сегодня решается (из-за развала отечественного горного машиностроения) путем закупки дорогостоящих западных аналогов, не всегда соответствующих конкретным горно-геологическим условиям разрабатываемых месторождений. Актуальность этой проблемы обусловлена, прежде всего, значительным износом действующего горно-транспортного оборудования, достигающего 70 — 80 %. В связи с этим назрела острая необходимость в «реанимации» отечественного горного машиностроения. Определенные сдвиги в этом направлении имеются, но они явно недостаточны для кардинального решения проблемы.

В горнопромышленном комплексе Сибири, наряду с решением организационно-технологических проблем, требуется коренное изменение стратегии развития. Прежде всего это касается более четкого государственного регулирования производственной и инвестиционной деятельности, налогообложения, денежно-кредитной политики. В последние годы государственное управление недропользованием в стране, а соответственно, и в Сибири, осуществлялось и продолжает осуществляться по ведомственно-отраслевому принципу, без постоянного мониторинга потребностей и возможностей минерально-сырьевого потенциала российских регионов.

Формирование общероссийской системы управления уникальным минерально-сырьевым потенциалом Сибири и России в целом требует серьезного совершенствования программно-целевого метода государственного регулирования с целенаправленным научно-техническим обеспечением осуществляемых мероприятий, как это и предусматривается соответствующими правительственными решениями [9]. К числу наиболее значимых проблем относятся следующие:

1. Разработка (с участием науки, недропользователей и потребителей) национальной научно-технической программы повышения эффективности добычи и переработки полезных ископаемых, предусматривающей:

— техническое перевооружение действующих предприятий (в первую очередь производящих стратегически важные ресурсы и устойчиво работающие в условиях рынка) и создание новых высокоэффективных производственных мощностей на месторождениях с наиболее благоприятными горно-геологическими условиями;

— создание новой техники и технологий, обеспечивающих существенное улучшение показателей горного производства, снижение его ресурсоемкости и негативного воздействия на природную среду, повышение качества и конкурентоспособности конечной продукции;

— глубокую переработку и комплексное использование минерального сырья;

— долгосрочный прогноз потребления и стратегию добычи важнейших минерально-сырьевых ресурсов.

2. Формирование государственной системы управления минерально-сырьевым потенциалом, имея в виду:

— единый постоянный учет и мониторинг запасов всех минерально-сырьевых ресурсов (независимо от их принадлежности);

— совершенствование систем экспертизы запасов полезных ископаемых и лицензирования объектов недропользования;

— стимулирование инновационной деятельности предприятий горнопромышленного комплекса по переходу на ресурсосберегающие, экологически безопасные технологии, рациональное и комплексное использование минерального сырья.

3. Дальнейшее развитие фундаментальной горной науки и прикладных исследований, а также подготовка ученых и инженеров горного профиля, отвечающих современным требованиям инновационного преобразования отраслей горнопромышленного комплекса.

Литература

1. *Опарин В. Н.* Горные науки на рубеже веков: состояние, проблемы, перспективы развития / В. Н. Опарин // Проблемы и перспективы комплексного освоения месторождений полезных ископаемых криолитозоны: труды Международной научно-практической конференции: в 3 т.: т. 1. / ИГДС СО РАН и др. — Якутск: ИМЗ СО РАН, 2005. — С. 11 — 19.

2. *Литвиненко В. С.* Возможности минерально-сырьевого потенциала России / В. С. Литвиненко // Записки горного института. — № 11. — СПб., 2002.

3. *Опарин В. Н.* О роли и проблемах горнопромышленного комплекса Сибири / В. Н. Опарин, В. И. Ческидов // Наукоемкие технологии добычи и переработки полезных ископаемых: труды IV научно-практической конференции. — Новосибирск. — 2005.

4. Энергетическая стратегия России на период до 2020 г. — М., 2003.

5. *Ческидов В. И.* К вопросу использования потенциала открытой добычи угля в восточных регионах России / В. И. Ческидов // ФТПРПИ. — 2007. — № 4. — С. 98—105.

6. Природоохранные технологии открытой добычи угля с использованием выработанного карьерного пространства. Ч.I Анализ существующих систем разработки месторождений / С. Г. Молотилов и др. // ФТПРПИ. — 2006. — № 6. — С. 111 — 118.

7. Природоохранные технологии открытой добычи угля с использованием выработанного карьерного пространства. Ч. II Метод выбора рационального порядка разработки пологопадающих пластовых месторождений / С. Г. Молотилов и др. // ФТПРПИ. — 2007. — № 1. — С. 64 — 74.

8. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых / А. Р. Маттис и др; отв. ред. В. Н. Опарин. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. — 337 с.

9. Основы государственной политики в области использования минерального сырья и недропользования: Распоряжение Правительства РФ от 21.04.2003.

УДК 622. 001.89

НАУКА В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ГОРНОРУДНОЙ ОТРАСЛИ

В. Г. Близнюков, И. В. Баранов

В 2008 г. исполнилось 75 лет со дня образования Государственного предприятия «Научно-исследовательский горнорудный институт» (до 1990-х годов — НИГРИ). Его деятельность всегда связана с предприятиями, научными и проектно-конструкторскими организациями. Особенно тесная связь с научными организациями была в шестидесятые — восьмидесятые годы двадцатого столетия, что обусловлено специализацией институтов, расширением объемов научных исследований и внедрением их результатов. Кроме того, ряд институтов получил статус головных. Так, ИГД МЧМ СССР (теперь ИГД УрО РАН) был головным по открытым горным работам в Союзе, НИГРИ — головным по подземным горным работам в Союзе и по открытым — на Украине. В связи с этим все научно-исследовательские работы, планируемые НИГРИ по открытым горным работам, проходили экспертизу и координацию в ИГД МЧМ СССР, а научные работы ИГД МЧМ СССР по подземной разработке месторождений координировались в НИГРИ. Лишь после этого они включались в планы и получали право на финансирование. В тесном сотрудничестве НИГРИ и ИГД МЧМ СССР выполнен ряд важных для отрасли работ. Среди них прогноз добычи железных и марганцевых руд Криворожского и Никопольского марганцевого бассейнов до 2000 года; основные направления развития техники при прогрессивной технологии подземной добычи железных руд до 1990 года. Разработаны рациональные способы вскрытия глубоких горизонтов железорудных карьеров и технологии их отработки, способы рационального использования земель и складирования отходов производства ГОКов Кривбасса, методическое обеспечение и нормы запасов материальных ресурсов для железорудных предприятий МЧМ СССР. Выполнен комплекс работ для поточной и циклично-поточной технологии и комплекс машин для добычи руды открытым способом. Ежегодно определяли технический уровень горнорудной промышленности СССР. В связи с распадом СССР творческие связи НИГРИ и ИГД были прерваны.

После спада объемов добычи железорудного сырья на Украине в середине 90-х годов XX столетия начался подъем; ежегодно эти объемы добычи возрастали на 5 — 7 % и перед НИГРИ был поставлен ряд важных задач. Для подземных работ решались задачи, направленные на улучшение показателей добычи богатых руд. Разработана методика технико-экономического расчета эффективности применения систем с закладкой выработанного пространства железорудных месторождений, резко снижающих потери и засорение руды, площадей отчуждаемых земель, а также техногенного воздействия на окружающую среду. Следует отметить также геомеханические основы и нормативные документы для создания и внедрения высокоэффективной природоохранной технологии добычи полезных ископаемых в сложных гидрогеологических условиях при отработке желез-

ных руд Запорожского ЖРК под высоконапорными водоносными горизонтами. Обосновываются и решаются вопросы, связанные с формированием в карьерах транспортных грузопотоков руды как до усреднительных складов, так и на концентрационные горизонты с целью обеспечения более качественной шихты. В практической деятельности НИГРИ широко используются результаты работ М. В. Васильева по новым технологическим схемам открытых горных работ в железорудной промышленности, по обоснованию области и границ применения комбинированных видов транспорта. Разработаны сейсмобезопасные методы и параметры производства буровзрывных работ, исключающие вредное воздействие сейсмических и ударных воздушных волн на жилые и промышленные объекты при массе одновременно взрываемых ВВ более 1000 т.

В связи с постоянным ростом производства товарной продукции ГОКов весьма актуальным является определение перспективных границ карьеров, возможности их расширения. Величина эксплуатационного коэффициента вскрыши в период погашения горных работ на верхних горизонтах, определяющая конечные границы карьеров, может быть уменьшена за счет выбора направления развития горных работ и определения рациональных контуров карьеров по поверхности.

До настоящего времени в качестве критерия границ эффективной разработки месторождений открытым способом применяют граничный коэффициент вскрыши [1]. Считают, что с расширением границ карьера возрастает объем пустых пород, приходящийся на одну тонну полезного ископаемого, то есть возрастает коэффициент вскрыши и, следовательно, возрастет себестоимость руды. Наступит момент, когда себестоимость руды возрастет до допустимой величины. Это значит, что коэффициент вскрыши увеличился до допустимого значения.

С изменением границ железорудных карьеров, входящих в состав горно-обогатительных комбинатов, может измениться как коэффициент вскрыши, так и качество полезного ископаемого, что также окажет влияние на себестоимость товарной продукции ГОКов (к примеру, железорудного концентрата). Себестоимость концентрата $c_к$ будет представлена выражением [1]

$$c_к = a \cdot \frac{1+\delta n}{\gamma} = am, \text{ грн/т}, \qquad (1)$$

где $a = (a_д + a_п)$ — затраты на добычу и переработку 1 т сырой руды, грн/т;

$a_д$ — затраты на добычу руды открытым способом без учета затрат на вскрышные работ, грн/т;

$a_п$ — затраты на переработку 1 т руды до концентрата, грн/т;

$\delta = \dfrac{b}{a_д + a_п}$ — коэффициент приведения физических объемов горной массы к руде по затратам на добычу и переработку, доли ед. (постоянная величина при сложившейся технологии горных работ и обогатительного передела на конкретном горно-обогатительном комбинате);

b — затраты на выемку пустых пород, грн/т;

n — коэффициент вскрыши;

γ — выход концентрата из 1 т руды, дол. ед.;

m — коэффициент горной массы, т/т.

В момент, когда себестоимость концентрата возрастет до допустимой величины $c_{к.д}$, коэффициент горной массы (т/т) увеличится до граничного значения $m_э = c_к a$. Он может служить критерием оценки границ карьеров горно-обогатительных комбинатов. Дополнительно для оценки применяют общепринятый экономический показатель затрат на одну гривну товарной продукции (железорудного концентрата ($З_к$)).

$$З_к = \frac{c_к}{Ц_к} = \frac{a(1+\delta n)}{Ц_к \gamma}, \text{ грн/грн,} \qquad (2)$$

где $Ц_к$ — цена концентрата, грн/т; зависит от его качества, основным показателем которого является содержание железа в концентрате β. Тогда можно записать $Ц_к = \beta Ц_о$, а затраты на 1 грн товарной продукции представить в виде

$$З_к = \frac{a}{Ц_о} \cdot \frac{1+\delta n}{\gamma\beta} = \frac{a}{Ц_о} М, \text{ грн/грн,} \qquad (3)$$

где $Ц_о$ — цена 1 % железа в концентрате, грн.

Здесь показатель М, названный также коэффициентом горной массы, представляет собой отношение количества горной массы к количеству железа в концентрате, который можно получить из руды, входящей в эту горную массу [2]. Он показывает, какое количество горной массы нужно извлечь из карьера для получения 1 т железа в концентрате.

С расширением границ карьера наступит момент, когда затраты на 1 грн товарной продукции по комбинату возрастут до максимального значения $З_{к.д}$. Причиной этому станет возрастание коэффициента горной массы до граничного значения

$$М_э = \frac{З_{к.д} Ц_о}{a}, \text{ т/т.} \qquad (4)$$

При определении границ открытых и подземных работ, как правило, ставится задача достичь экономических показателей производства товарной руды — железорудного концентрата — не ниже, чем:

— при добыче товарной руды подземным способом, тогда за допустимые затраты при определении граничного коэффициента горной массы следует принимать затраты на 1 грн производства товарной руды при подземном способе разработки;

— при производстве товарной продукции на действующих горно-обогатительных комбинатах Кривбасса, тогда следует принимать затраты на 1 грн всех видов товарной продукции этих ГОКов.

Технико-экономические показатели работы шахт и ГОКов Украины, которые принимаются как исходные данные для методических расчетов граничного коэффициента вскрыши и коэффициента горной массы для условий карьеров ГОКов, представлены в табл. 1 и 2. К примеру, при опреде-

Таблица 1

Технико-экономические показатели производства железосодержащей товарной продукции горных предприятий Кривбасса с подземным способом разработки*

Шахта	Добыча, млн. т	Содержание $Fe_{маг}$, %	Себестоимость добычи руды, грн/т	Содержание железа в концентрате, %	Себестоимость концентрата, грн/т	Цена концентрата, грн/т	Цена 1 % железа в концентрате, грн/т·%	Затраты на 1 грн товарной продукции, грн/грн
Юбилейная	2,50	23,70	41,72	67,00	169,92	190,36	2,84	0,9
Первомайская	4,00	28,00	51,39	66,00	167,43	187,52	2,84	0,9
Им. Ленина	4,00	23,96	43,06	66,00	167,43	187,52	2,84	0,9
Гигант	4,00	22,60	39,88	66,50	168,67	188,94	2,84	0,9
Им. Орджоникидзе	4,00	25,40	37,80	66,00	167,43	187,52	2,84	0,9
Гвардейская	4,00	26,01	48,35	66,00	167,43	187,52	2,84	0,9

* Добываются бедные железистые кварциты.

Таблица 2

Технико-экономические показатели производства железосодержащей товарной продукции горных предприятий Кривбасса с открытым способом разработки

Предприятие	Добыча, млн. т	Содержание $Fe_{маг}$, %	Себестоимость добычи руды, грн/т	Себестоимость выемки вскрыши, грн/м^3	Содержание железа в концентрате, %	Себестоимость концентрата, грн/т	Цена концентрата, грн/т	Цена 1 % железа в концентрате, грн/т·%	Затраты на 1 грн товарной продукции, грн/грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ОАО «ЦГОК»	11,14	22,50	34,19	11,74	67,35	141,61	265,45	3,94	0,53
ОАО «ЮГОК»	17,91	27,51	20,03	28,48	65,36	105,40	154,62	2,37	0,68
ОАО «Арселор Миталл Кр. Рог»	16,01	25,05	35,11	22,43	65,52	107,88	195,00	2,98	0,55
ОАО «ИнГОК»	33,30	23,87	17,92	19,45	63,89	113,60	145,30	2,27	0,78
ОАО «ПГОК»	23,46	20,25	20,27	18,49	62,63	108,88	186,00	2,97	0,59

лении перспективных конечных контуров карьера Ингулецкого ГОКа базой для сравнения принимаем все применяемые для горнодобывающей промышленности Украины способы получения товарной железной руды: 1) добыча сырой руды открытым способом и ее передел до концентрата на горно-обогатительных комбинатах; 2) добыча сырой руды подземным способом и ее передел до товарной руды (концентрата) на горно-обогатительном комбинате; 3) добыча товарной руды подземным способом.

Первый способ производства товарной руды (железорудного концентрата) характерен для всех горно-обогатительных комбинатов. Из-за различия в природных условиях (содержание общего и магнитного железа в руде, обогатимость различных сортов руд, объемы пустых пород, характеризуемые коэффициентом вскрыши) и сложившейся технологии обогащения (выход концентрата и содержание железа в нем) комбинаты производят концентрат с различной себестоимостью и качеством (см. табл. 2). Если ставится цель запроектировать контуры карьера, при которых экономические показатели производства концентрата на Ингулецком ГОКе будут не хуже, чем на любом комбинате, то необходимо за основу при расчетах принимать показатели ЦГОКа, так как на этом комбинате наименьшие затраты на 1 грн произведенного концентрата (0,53 грн/грн).

$$З_{ЦГОК} = З_{ИнГОК};\ \frac{С_{ЦГОК}}{Ц_{ЦГОК}} = \frac{С_{ИнГОК}}{Ц_{ИнГОК}},\ \text{грн/грн.} \qquad (5)$$

$$\frac{С_{ЦГОК}}{Ц_{ЦГОК}} = \frac{\left(a_д + a_п\right)^{ИнГОК} + b_{ИнГОК} n_{э.ИнГОК}}{\gamma_к},\ \text{грн/грн.} \qquad (6)$$

$$n_э = \frac{З_{ЦГОК} Ц_{ИнГОК} \gamma_к - \left(a_д + a_п\right)^{ИнГОК}}{b_{ИнГОК}},\ \text{м}^3\text{/т.} \qquad (7)$$

Из табл. 2 видно, что цена концентрата (колонка 8) зависит не только от природных и технологических факторов. Об этом свидетельствует и колонка 9 этой же таблицы, где цена одного процента железа в тонне концентрата для различных комбинатов неодинакова. Очевидно, что цена концентрата определяется не только его качеством (потребительскими свойствами), но и договором между покупателем и продавцом. Чтобы избежать влияния неприродных и нетехнологических (договорных) факторов на цену концентрата, ее необходимо для всех сравниваемых комбинатов привести к одному виду по цене одного процента железа в тонне концентрата. В этом случае цена концентрата ИнГОКа, приведенная по цене тонно-процента к концентрату ЦГОКа, будет равна

$$Ц'_{ИнГОК} = \frac{Ц_{ЦГОК}}{Fe_{ЦГОК}} Fe_{ИнГОК},\ \text{грн/т.} \qquad (8)$$

Граничный коэффициент вскрыши для проектируемого карьера

ИнГОКа, определенный на основе сравнения экономической эффективности производства концентрата на ЦГОКе, определяется как

$$n_э = \frac{З_{ЦГОК} Ц'_{ИнГОК} \gamma_к - \left(a_д + a_п\right)^{ИнГОК}}{b_{ИнГОК}} \text{ и составит 0,83 м}^3\text{/т.} \qquad (9)$$

При добыче сырой руды подземным способом и ее переделе до товарной руды (концентрата) на горно-обогатительном комбинате граничный коэффициент вскрыши определяется по выражению (2) согласно [3]. Себестоимость добычи руды подземным способом принимается из табл. 1 по шахте им. Орджоникидзе, так как там наименьшая себестоимость добычи руды (сравнение с лучшим предприятием подземного способа разработки). Граничный коэффициент вскрыши составит 1,4 м^3/т.

При добыче товарной руды подземным способом разработки сравнение необходимо выполнять также на основе затрат на 1 грн товарной продукции сравниваемых предприятий, т. е. $\frac{С_{р.п}}{Ц_{р.п}} \geq \frac{С_{к.ИнГОК}}{Ц_{к.ИнГОК}}$. При сравнении показателей производства концентрата на ИнГОКе с показателями добычи товарной руды на Криворожском железорудном комбинате [4] граничный коэффициент вскрыши будет равен

$$n_э = \frac{\frac{С_р^{КЖРК}}{Ц_р^{КЖРК}} Ц'_{ИнГОК} \gamma_к - \left(a_д + a_п\right)^{ИнГОК}}{b_{ИнГОК}} \qquad (10)$$

и составит 0,92 м^3/т, а на Запорожском железорудном комбинате — составит 0,77 м^3/т.

При сравнении по тем же способам получения товарной продукции с применением коэффициента горной массы характер изменения этих коэффициентов аналогичен характеру изменения коэффициентов вскрыши.

Согласно обоснованно выбранному методу определения границ карьеров разрабатываемых железорудных месторождений со сложным стро-

Таблица 3

Граничные коэффициенты вскрыши и горной массы, определяемые для карьера ИнГОК различными методами

Метод определения	$n_э$, м^3/т	$m_э$, т/т	$М_э$, т/т
На основе сравнения открытого и подземного способов разработки ($n_{г.п}$)	1,4	2,95	4,61
По замыкающим затратам на 1 грн товарной руды при подземном способе разработки ($n'_{г.п}$)	0,92	2,75	4,31
На основе сравнения с показателями действующих ГОКов ($n_{г.о}$)	1,14	2,84	4,45
По замыкающим затратам на 1 грн товарной продукции на действующих ГОКах Кривбасса ($n'_{г.о}$)	0,83	2,72	4,25

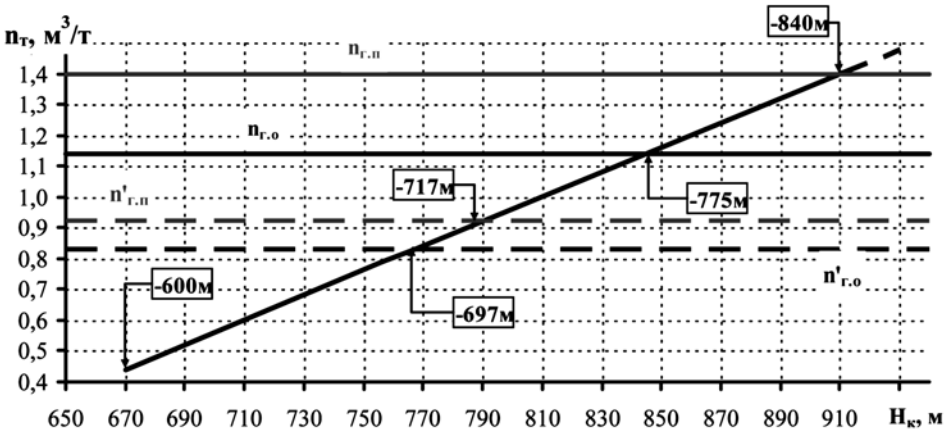


График зависимости изменения глубины карьера от значений текущего коэффициента вскрыши, определенного по различным методикам: $n_{г.п}$ — на основе сравнения открытого и подземного способов разработки; $n'_{г.п}$ — по замыкающим затратам на одну гривну товарной руды при подземном способе разработки; $n_{г.о}$ — на основе сравнения с показателями действующих ГОКов; $n'_{г.о}$ — по замыкающим затратам на одну гривну товарной продукции на действующих ГОКах Кривбасса

ением, а также методике определения расширенных контуров карьера по поверхности [5], на основе сравнения фактических текущих коэффициентов вскрыши и горной массы с граничной их величиной (представленной в табл. 3) установлена возможная глубина отработки Ингулецкого месторождения открытым способом (см. рисунок).

Таким образом, при дальнейшей отработке действующих карьеров необходимо выбирать такие методы, расчетные принципы и критерии оценки определения перспективных границ карьеров, которые наиболее полно будут учитывать все влияющие факторы и ограничивающие условия, характерные для разработки конкретного железорудного месторождения.

Литература

1. *Близнюков В. Г.* Определение главных параметров карьера с учетом качества руды / В. Г. Близнюков. — М.: Недра, 1978. — 151 с.

2. *Пивень В. А.* Повышение эффективности производства железорудного концентрата на основе оптимизации карьерных грузопотоков руды: дис. … канд. техн. наук / В. А. Пивень; НИГРИ. — Кривой Рог, 2004. — 147 с.

3. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин / Міністерство промислової політики України. — Київ, 2007. — 279 с.

4. Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины / ГП НИГРИ. — Кривой Рог, 2006. — 154 с.

5. *Близнюков В. Г.* Расчетные принципы и методы определения перспективных границ действующих железорудных карьеров / В. Г. Близнюков, И. В. Баранов // Вісник Криворізького технічного университету, Вип. 18. — Кривий Ріг, 2007. — С. 7 — 11.

УДК 622.271.3.06 (470.5)

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ УРАЛЬСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ИХ ЗАЛЕГАНИЯ И ОСВОЕНИЯ

В. Л. Яковлев, М. Г. Саканцев, Г. Г. Саканцев

На Урале в эксплуатации находится более 30 крупных карьеров черной и цветной металлургии, угольной промышленности и нерудного сырья (асбеста, магнезита), а также практически неучтенное число малых карьеров (особенно стройматериалов). Наиболее крупные из действующих карьеров: Качканарские железорудные, Асбестовский и Киембаевский асбестовые, Коркинский и Волчанский угольные, Сафьяновский меднорудный, Серовский никель-кобальтовый и Карагайский магнезитовый (в доработке). Выбыли из эксплуатации: Магнитогорский, Высокогорский, Лебяжинский, Гороблагодатский железорудные, Карпинские, Веселовский буроугольные, Гайские, Учалинские, Сибайский меднорудные. Из них Коркинский и Сибайский имеют глубину (по замкнутому контуру) 500 м — самые глубокие в мире, остальные — в пределах 200 — 350 м (текущую или в доработке). Все карьеры оснащены преимущественно отечественным буровым (в основном СБШ-250) и погрузочным (ЭКГ-5 (4,6), ЭКГ-8 (10) и ЭКГ-12,5 (Асбест)) оборудованием. Внутрикарьерный транспорт либо комбинированный — автомобильно-железнодорожный (Качканар, Коркино, Волчанка, Бакал, Златоуст, Первоуральск, Гальяновский, Агаповский, Аккермановский, Киембаевский, Асбестовский и группа магнезитовых — г. Сатка), либо чисто автомобильный, практически весь производства Белорусского автозавода грузоподъемностью 30 — 75 т. Отвалообразование преимущественно внешнее. Внутреннее применялось и частично применяется в настоящее время в благоприятных горно-геологических условиях (мощные драглайны): Карпинские, Веселовский и Волчанский угольные карьеры, а на локальных участках почти на всех карьерах, эпизодически, автомобильно-бульдозерное.

Развитие открытых горных работ на Урале происходило преимущественно в интенсивном, количественном, отношении, которое к настоящему времени в значительной степени себя исчерпало вследствие истощения сырьевых ресурсов, повышающихся требований к полноте их использования и сохранности окружающей среды. Следующим этапом должно стать по преимуществу экстенсивное, качественное, развитие

при переходе на ресурсосберегающие и природоохранные технологии. Такими технологиями должны стать:

— внутреннее отвалообразование не только на пологопадающих месторождениях, но и на крутопадающих, достаточно протяженных или близко расположенных;

— по сути повторная разработка хвостохранилищ и шлаков металлургического производства, на большинстве из которых она в настоящее время является достаточно эффективной в коммерческом отношении, а также отвалов вскрышных пород, в основном скальных, для нужд народного хозяйства, в первую очередь для строительной индустрии;

— технологии, направленные на снижение уровня потерь и разубоживания полезных ископаемых, а также на повышение уровня межсортовой селекции добычи руд с различными технологическими и потребительскими свойствами (предварительное контурное взрывание по контактам руды или ее сортов; безвзрывная выемка с применением экскаваторов с ковшом активного действия, машин послойного фрезерования, мощных навесных гидроударников и бульдозерно-рыхлительных агрегатов);

— с целью улучшения организации производства, там где это возможно и целесообразно, то есть в основном на крупных карьерах, применение мощного горно-транспортного оборудования: буровых станков с повышенным диаметром и глубиной бурения, экскаваторов-мехлопат с емкостью ковша до 20 — 45 м^3, автосамосвалов грузоподъемностью до 300 — 450 т — при соответствующем увеличении концентрации горных работ с повышенной высотой рабочих и промежуточных уступов;

— на небольших карьерах, а также на вспомогательных работах использование мощных колесных погрузчиков и мобильной буровой техники (особенно при предварительном щелеобразовании для постановки откосов уступов в предельное положение).

При выборе технологических решений должно быть обращено особое внимание на уровень организации производства, и в частности на согласование во времени простоев погрузочного, транспортного оборудования в ремонте и технологически обусловленных внутрисменных простоев (прием и сдача смены, заправка ГСМ, текущее облуживание и т. п.).

Для многих вновь вовлекаемых в эксплуатацию месторождений в связи с ростом цен на минеральное сырье и новых технических средств его выемки достаточно актуальной становится задача пересмотра ранее установленных кондиций.

Вследствие того, что к настоящему времени месторождения или их участки, наиболее богатые по содержанию полезных компонентов, пригодные для открытой разработки, в основном отработаны (горы Магнитная, Высокая, Благодать, Гай, Сибай, Учалы и т. п.), особенно злободневным становится вопрос применения ресурсосберегающих технологий (снижение капитальных и текущих затрат, потерь и разубоживания руды, переработка ранее накопленных «отходов» горного производства (техногенные месторождения: хвосты обогащения, отвалы «некондиционных» руд и т. п.). В первую очередь к ним необходимо отнести *внутреннее отвалообразование*, которое хотя применялось и применяется в

настоящее время, но только в благоприятных горно-геологических условиях на основе простых технологических решений. В условиях Урала эти возможности в значительной степени исчерпаны. Необходимо переходить на более сложные и комплексные технические решения. Одним из них применительно к разработке уральских марганцевых и Волковского медно-железо-ванадиевого месторождения, а в более отдаленном будущем и других может быть переход от фронтального развития горных работ на их развитие вкрест простирания рудных тел, то есть к поперечному или, чаще, к диагональному. В этом случае на верхних горизонтах целесообразна перевозка вскрыши в отвал с применением автотранспорта. При этом для снижения потерь и разубоживания при выемке марганцевых руд целесообразно использовать широко применяемые за рубежом машины послойного фрезерования разных модификаций (в зависимости от условий залегания рудных тел), а также отказаться от предохранительных целиков в нижней части рудных тел, препятствующих прорыву подземных вод в горные выработки. Чтобы прорыва не произошло, необходимо применить систематически перемещаемую систему ленточного дренажа с помощью водопонизительных скважин, успешно себя зарекомендовавшую при эксплуатации Веселовского угольного разреза. Переход на подобные системы разработки не только будет способствовать резкому снижению площадей, занимаемых отвалами, но и себестоимости открытых горных работ, увеличению глубины карьеров, и, что особенно важно, комплексной и качественной во всех отношениях рекультивации занимаемых земель.

В настоящее время помимо решения вопросов развития и совершенствования параметров и геотехнологии при разработке коренных месторождений, повышения их эффективности, комплексности использования природного минерального сырья в связи с накоплением колоссальных объемов «отходов» горного производства на дневной поверхности, обладающих довольно значительной товарной ценностью, и в то же время нарушающих экологическое равновесие дополнительным накоплением вредностей, весьма остро стоит вопрос их утилизации. Всего в отвалах и хвостохранилищах накоплено свыше 15 млрд. т отходов горного производства, из которых около 40 % пригодно для эффективной вторичной переработки или производства стройматериалов, в том числе свыше 10 млн. т забалансовых и некондиционных руд. Причем в настоящее время в переработку вовлекаются лишь около 20 % годового их приращения.

Из всех потенциальных техногенных месторождений наиболее перспективными как по содержанию полезных компонентов, так и по их общим запасам являются хвосты обогащения руд черных и, особенно, цветных металлов. С полным основанием к техногенным месторождениям можно отнести большинство хвостохранилищ медьсодержащих руд Урала, среднее содержание меди в которых, по отчетным данным, 0,27 %, цинка 0,39 %, что выше бортового содержания для многих вновь вовлекаемых в разработку карьерами месторождений. По общим запасам металлов все эти хвостохранилища существенно превосходят многие вновь начатые или предполагаемые к разработке медноколчеданные месторождения.

При вовлечении в разработку хвостохранилищ как техногенных месторождений на большинстве из них бортовое содержание полезных компонентов может быть значительно снижено по сравнению не только с подземным, но и с открытым способом разработки из-за того, что нет необходимости во вскрышных и буровзрывных работах, а также в крупном и среднем дроблении. Иными словами, хвостохранилища по сравнению с рудой в наибольшей степени подготовлены к последующей переработке, следует напомнить, что она может быть значительно более эффективной только при комплексном извлечении не только основных, но и попутных полезных компонентов.

Обобщение опыта разработки и анализ предпроектных проработок показывают, что решениям о целесообразности и выбору технологии разработки хвостохранилищ как техногенных образований должен предшествовать такой же цикл геологоразведочных работ, как и при разведке обычных месторождений (предварительная и детальная разведка с подсчетом и утверждением запасов, проекты временных и постоянных кондиций, эксплуатационная разведка и т. п.). Обусловлено это в первую очередь тем, что при проектировании необходимо знать качественную и количественную характеристику хвостов, их физико-механические и гидрогеологические свойства не только в целом по хвостохранилищу, но и по отдельным выемочным участкам и по его глубине. Отчетные данные, базирующиеся на балансе перерабатываемого сырья, не всегда дают достоверную информацию даже в среднем по хвостохранилищу. Например, результаты проведенных геологоразведочных работ на уральских медноколчеданных хвостохранилищах по сравнению с отчетными данными дают увеличение содержания меди, цинка, золота и серебра в 2 — 2,5 раза. Причины таких расхождений многофакторны, многие из них имеют нетехнологический характер. Причем получить информацию по отдельным участкам хвостохранилищ на основании отчетных данных вообще не представляется возможным.

Известно, что наиболее крупные частицы пульпы оседают в верхней части пляжа, а наиболее мелкие — вблизи уреза воды отстойного прудка. На основе натурных наблюдений на 29 хвостохранилищах горных предприятий черной и цветной металлургии (в диапазоне изменения средневзвешенного диаметра частиц хвостов обогащения 0,05 — 0,45 мм) эта закономерность в среднем может быть выражена следующей формулой:

$$d = 0{,}18 d_{\text{ср}}^{0{,}64} \left(\frac{X}{L} \right)^{-0{,}54},$$

где d — средневзвешенный диаметр частиц хвостов по ширине пляжа намыва, мм; $d_{\text{ср}}$ — средневзвешенный диаметр частиц хвостов, поступающих в хвостохранилище, мм; X — текущая координата по ширине пляжа, м; L — расстояние от места выпуска пульпы до уреза воды отстойного прудка, м.

Аналогичную зависимость можно получить и от глубины залегания хвостов. Эти закономерности, полученные для конкретных хвостохрани-

лищ, можно будет использовать при принятии принципиальных решений о выборе порядка и системы разработки, комплексов горно-транспортного оборудования, а также параметров систем разработки, типоразмеров оборудования и календарного планирования.

Имеется некоторый опыт разработки медноколчеданных хвостохранилищ на Урале уступами высотой 2 — 3,5 м в основном в пляжной зоне, причем практически без осушения (Среднеуральское, Карабашское, Красноуральское и Сибайское хвостохранилища). Хвосты в этой зоне содержат наиболее крупные частицы, а следовательно, имеют лучшие для производства физико-механические характеристики, меньшую степень раскрытия зерен рудных минералов и более высокое содержание полезных компонентов по сравнению с их средним содержанием в целом по хвостохранилищу. Добыча хвостов носила в основном эпизодический характер — для загрузки обогатительных фабрик в периоды нехватки руды. Предпринятая в 1985 году на Сибайском хвостохранилище попытка поднять высоту уступа до 5 — 6 м привела к плывунному выбросу хвостов, при этом было завалено около половины по высоте экскаватора ЭКГ-4.

Безусловно, для организации более широкомасштабной разработки хвостохранилищ имеющегося опыта недостаточно. Нужны технологии, позволяющие отрабатывать хвостохранилища полностью, а не только отдельные, благоприятные по технологическим и экономическим условиям, участки, которыми могут быть следующие:

1. Разработка земснарядами с гидротранспортом хвостов до места переработки. Это наиболее простой и дешевый способ, но применим только в теплое время года. Причем в обогатительном тракте часто для дополнительного измельчения исходного материала потребуется последующее сгущение пульпы.

2. Выемка гидромониторами. Это второй по экономичности способ. Основные недостатки — это сезонность добычи и необходимость сгущения пульпы. Кроме этого, практически во всех проанализированных хвостохранилищах либо вся масса хвостов, либо отдельные участки представлены пылеватыми песками, которые при насыщении водой приобретают свойства псевдоплывунов, подвижность которых в отличие от подвижности обычных плывунов определяется гидродинамическим давлением и в меньшей мере зависит от формы и размеров частиц. Поэтому при высоте уступа 10 — 15 м при отработке гидромониторами возможны внезапные выбросы плывунов на расстояние до 35 — 40 м, что недопустимо по условиям безопасности. Чтобы этого не произошло, необходимо снижать высоту уступа, но в этом случае резко снижается производственная мощность и повышается себестоимость разработки (в 1,5 раза) вследствие многократного увеличения числа переносов гидромониторных установок и наращивания пульповодов.

3. Выемка экскаваторами (в зимнее время с применением тракторных рыхлителей) лишена основных недостатков земснарядной и гидромониторной выемки. Но и при ней существует необходимость защиты горных работ от возможного прорыва плывунов. Поэтому необходимо снижать высоту уступа в сочетании с систематическим дренажем (по

опыту торфоразработок) поверхностности хвостохранилищ. Дренаж необходим и для обеспечения достаточной несущей способности поверхности добычного уступа при работе экскаваторов и транспортных средств (автосамосвалов). Экскаваторная выемка в сочетании с предварительным осушением хвостов позволяет получать даже пылеватый материал с влажностью 12 % и менее, а при двух-трехкратном перемораживании 8 — 9 %. Этого достаточно в случае сухого обогащения хвостов.

Если еще в недалеком прошлом отвалообразование рыхлых и скальных вскрышных пород производилось совместно, то в последние десятилетия оно производится раздельно, правда, зачастую без подразделения по степени возможного использования. Те «вскрышные» породы, которые на стадии разведки месторождений поставлены на баланс, даже если они временно не востребованы, складируются уже селективно. В последнем случае их можно сразу направлять на переработку, а в другом — с предварительным грохочением. Однако при этом следует учитывать, что при длительном хранении такие «отходы» в отвалах слеживаются. Значения коэффициента остаточного разрыхления составляют в среднем 1,12 — 1,20, а в нижней части отвалов — еще менее. Их разработка для последующего использования (на щебень, для создания насыпей и т. п.), особенно при значительном наличии негабаритной фракции, в большинстве случаев резко снижает производительность экскаваторов даже типа механическая лопата с реечным напором (УЗТМ, «Бьюсайрус» и т. п.), а при большой высоте отвалов, особенно в их нижней части, возможна только с буровзрывными работами на встряхивание массива. Поскольку буровые работы при этом шарошечными станками весьма затруднены вследствие заклинивания бурового инструмента, пришлось бы применять не выпускаемые в настоящее время малопроизводительные станки канатно-ударного бурения. Значительно целесообразнее использовать успешно прошедшие в свое время опытно-промышленную проверку экскаваторы с ковшом активного действия (ЭКАД), их вновь намечают выпускать на Уралмашзаводе (г. Екатеринбург).

По данным кафедры металлургии легких металлов Уральского политехнического института, предприятия Урала ежегодно сбрасывают на шламовые поля примерно 150 000 т доменных шлаков, содержащих цинка в 3 — 5 раз больше, чем богатые цинковые руды, т. е. они представляют собой богатое цинксодержащее сырье. Однако цинковые заводы ими не интересуются, очевидно, из-за отсутствия действенной и эффективной технологии переработки. Одним из наиболее реальных путей их использования может быть чановое (на обогатительных фабриках) или кучное (на самих отвалах) выщелачивание, причем не только цинка, но и многих других полезных компонентов. Разработку и отгрузку таких или подобных отвалов на обогатительные фабрики или для создания необходимых параметров куч вследствие наличия в шлаковых отвалах большего количества «козлов» наиболее целесообразно организовать экскаваторами с ковшом активного действия (ЭКАД), либо обычными, но с применением гидромолотов для дробления негабаритных кусков.

Следует отметить, что как разведанные, так и потенциально пригодные, но по тем или иным причинам не поставленные на баланс попутно

добываемые вскрышные породы, даже в том случае, если они в данный момент не могут быть использованы, должны быть селективно заскладированы (причем удобно для последующей добычи) во временные отвалы. Рекультивация таких отвалов должна быть осуществлена только как санитарно-гигиеническая, без нарушения потребительских свойств таких вскрышных пород.

На месторождениях типа Качканарского или Гусевогорского, разрабатываемых или намечаемых к разработке в ближайшем будущем несколькими сближенными карьерами, возможен частичный или даже полный переход от комбинированных систем разработки с применением авто-железнодорожного транспорта (с перегрузочными пунктами) на более интенсивные системы с последовательной разработкой участков (карьеров) и отвалообразованием в отработанные карьеры с применением автосамосвалов грузоподъемностью 400 т и более в сочетании с экскаваторами-мехлопатами с ковшами емкостью до 50 м^3. Это позволит не только резко сократить расстояние откатки вскрышных пород, но также и площади земель, занимаемых открытыми горными работами, а также обеспечить значительно более качественную и ускоренную их рекультивацию.

Другой достаточно эффективный путь ресурсосбережения — это снижение общих и межсортовых потерь и разубоживания руды путем:

— применения в рудной зоне пониженной высоты уступов;

— применения контурного взрывания по контактам крутопадающих рудных тел с вмещающими породами, а также по контактам между различными сортами руды;

— применения на пологопадающих рудных телах малой и средней крепости безвзрывной выемки с бульдозерно-рыхлительными агрегатами, оборудованными гидромолотами, или экскаваторов с ковшом активного действия (ЭКАД).

Повышение полноты и комплексности использования минеральных ресурсов сегодня состоит не только в снижении потерь и разубоживания руды, а во многих случаях (это в основном касается нерудных полезных ископаемых: магнезитов, известняков и т. п.) в повышении их товарной сортности. Следует заметить, что внедрение таких технологий сдерживается недостаточной разведанностью месторождений. Поэтому исключительно важное значение приобретают повышение объемов и качества эксплуатационной разведки. Например, при разведке магнезитовых месторождений расстояние между разведочными линиями принимается равным 100 м, что, конечно, не позволяет в достаточной степени выявить закономерности залегания рудных тел, а главное — закономерности пространственного изменения качественных характеристик полезного ископаемого.

Одной из весьма эффективных мер повышения полноты использования минерального сырья может быть снижение бортового содержания полезных компонентов, обусловленное двумя объективными факторами:

— повышением цен на минеральное сырье до мирового уровня, т. е. примерно до 1,5 раза;

— снижением граничных, а следовательно, и средних коэффициентов вскрыши при открытых горных работах до 1,5 раза исходя из условий рыночной экономики — необходимости учета разновременности затрат и получения эффекта (прибыли).

Вскрышные породы существенно заражены вредными с экологической точки зрения компонентами, поэтому следует осуществлять раздельное складирование вскрышных пород, зараженных вредностями, либо сразу в выработанное пространство карьеров, либо сначала на поверхность с последующим их захоронением в отработанные карьеры.

В настоящее время многие отвалы ранее «некондиционных» руд переведены в кондиционные и переработаны на обогатительных фабриках, другие дожидаются своей очереди. Одним из путей вовлечения их в активную и эффективную переработку может служить опыт ИГД УрО РАН и комбината «Магнезит» на основе селективной послойной отгрузки на обогатительную фабрику части отвалов некондиционных магнезитов на основе выявленных закономерностей сегрегации по высоте отвалов контролируемых компонентов. Аналогичным образом на основе сегрегации можно подойти и к селективной выемке отвалов вскрышных пород в зависимости от направлениях их использования.

Таким образом, дальнейшее развитие открытого способа разработки в уральских старопромышленных районах просматривается в переходе на ресурсосберегающие и природоохранные технологии, направленные на расширение области внутреннего отвалообразования, селективной выемки руд и вскрышных пород, вовлечение в переработку старогодних хвостохранилищ и отвалов с расширением спектра горно-транспортного оборудования по производительности и технологическим характеристикам.

УДК 622.013.364

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭТАЖНО-КАМЕРНОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ С УВЕЛИЧЕННЫМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ И ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫМИ ЦЕЛИКАМИ

Ю. В. Волков, И. В. Соколов, Ю. Г. Антипин, Г. А. Чаговец

В статье [1] приведены результаты экспериментальных и аналитических исследований влияния увеличенных геометрических параметров (УГП) на ТЭП отработки камеры по традиционной технологии. В результате экономико-математического моделирования установлено, что с увеличением геометрических параметров (ГП) эффективность отработки камер по традиционной технологии определяется величиной разубоживания и существуют области как положительного, так отрицательного влияния УГП в зависимости от их комбинаций.

Сравнительный анализ способов снижения разубоживания (*Р*) показал, что наиболее приемлемым является способ применения предохранительных целиков (ПЦ), который не допускает обнажения неустойчивых вмещающих пород и обеспечивает сохранение устойчивости очистного пространства весь период отработки камеры, что позволяет существенно повысить безопасность работ и снизить *Р* без дополнительных затрат. Однако данная технология характеризуется повышением потерь (*П*). Очевидно, что технология, предусматривающая оставление ПЦ, требует технико-экономического обоснования.

В качестве примера рассмотрена технология разработки Гайского медноколчеданного месторождения как наиболее типичная по горно-геологическим условиям и представительная по горнотехническим (рис. 1). ТЭП этажно-камерной системы разработки с твердеющей закладкой, отбойкой руды веерами скважин и расположением камеры вкрест простирания рудного тела, принятые в качестве базовых, являются средними по этажу 670/750 м:

Геометрические параметры камеры, м:	
ширина	20
высота	80
длина	40
Потери, %	2,5
Разубоживание, %	10
Суммарная себестоимость добычи и обогащения руды, руб./т	557,3
Извлекаемая ценность добытой руды, руб./т	665,7
Прибыль, руб./т	108,4

На основе данных экономико-математического моделирования оценено влияние *П* и *Р* на показатели эффективности отработки камеры при базовых ТЭП. Получены зависимости *Пр* от *П* и *Р*:

$$Пр(П) = 113{,}61 - 2{,}10П \ (R^2 = 0{,}99), \quad (1)$$

$$Пр(Р) = 170{,}65 - 6{,}54Р \ (R^2 = 0{,}99). \quad (2)$$

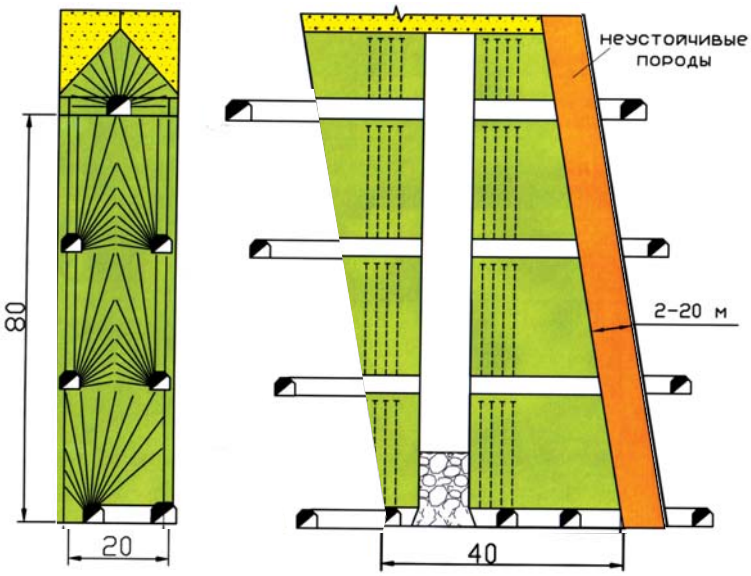


Рис. 1. Вариант этажно-камерной системы разработки с твердеющей закладкой, отбойкой руды веерами скважин и расположением камеры вкрест простирания рудного тела

В результате анализа изменения показателей эффективности $Ц_{изв}$, $З_{д.о}$ и *Пр* в зависимости от *П* и *Р* установлено, что эффективность технологии с оставлением ПЦ можно повысить за счет большего снижения $З_{д.о}$ по сравнению со снижением $Ц_{изв}$ путем одновременного увеличения *П* и *Р*. В силу большего количества комбинаций численных значений *П* и *Р* и неоднозначности детерминирования значения *Пр* различными комбинациями *П* и *Р* применение метода перебора вариантов весьма проблематично для установления оптимального соотношения. Поэтому оценка и выбор оптимального варианта технологии с ПЦ основана на определении области экономически эффективных соотношений *П* и *Р* и ее структурирования. Область установлена на основе зависимости *Пр* от возможных величин *П* и *Р*, полученной в результате экономико-математического моделирования [2],

$$Пр(П, Р) = 188{,}97 - 3{,}7П - 7{,}02Р + 0{,}02П^2 + \\ + 0{,}1ПР - 0{,}07Р^2 \ (R^2 = 0{,}99). \qquad (3)$$

Установленная область экономически эффективных соотношений включает область технически невозможных (труднореализуемых) соотношений *П* и *Р* и область технически возможных соотношений, в которой можно выделить подобласти нерациональных и рациональных соотношений.

Область технически труднореализуемых соотношений определяется величиной *П*, обусловленных размерами (толщиной) ПЦ, меньше устойчивых. Соотношения *П* и *Р*, лежащие вне данной области, составляют область технически возможных соотношений. Подобласть нерациональных соотноше-

ний определяется величиной *П*, обусловленных размерами ПЦ, больше минимально допустимых. Оптимальное соотношение *П* и *Р* устанавливается в подобласти рациональных технически возможных соотношений.

Наиболее эффективным — оптимальным — является соотношение *П* и *Р*, которое дает максимальную *Пр*. Вариант технологии с ПЦ, соответствующий данному соотношению, также является оптимальным. Очевидно, что значения *П* и *Р* зависят как от размеров ПЦ, так и от ГП камер. Технически возможные *П* и *Р* в зависимости от толщины ПЦ ($T_ц$) и его высоты ($h_ц$) можно определить по формулам (4) и (5):

$$П = П_{const} + \left(\frac{T_ц \cdot h_ц}{L \cdot \sin\alpha \cdot H} \right) \cdot 100\,\%, \qquad (4)$$

где $П_{const}$ — эксплуатационные потери без учета потерь в ПЦ, 2,5 %. В данном случае $П_{const}$ — это нормативные потери для этажа 670/750 м, зависящие от горно-геологических и горнотехнических условий разработки;

α — угол падения рудного тела, 70°;

L — длина камеры, м;

H — высота этажа, м.

Высота ПЦ может принимать значения $h_ц = (0 \div 1)\ H$ с шагом изменения 1/12 *H*.

$$P = P_{const} + \left[\frac{\left(1 - \frac{h_ц}{H}\right) \cdot \frac{m_п}{\sin\alpha} \cdot \gamma_п}{\left(1 - \frac{h_ц}{H}\right) \cdot \frac{m_п}{\sin\alpha} \gamma + L \cdot \gamma_р} \right] \cdot 100\,\%, \qquad (5)$$

где P_{const} — разубоживание по камере без учета разубоживания от отслаиваемых пород висячего бока, %. В данном случае P_{const} — это нормативное разубоживание, рассчитываемое по утвержденной методике и включающее следующие виды: при оконтуривании рудного тела взрывными скважинами; от отслоения закладки из кровли камеры; от отслоения закладочного материала из стенок заложенных камер; от включения в выемочный контур прослоев пустых пород;

$m_п$ — мощность отслаиваемых пород висячего бока, примешиваемых к руде в процессе очистной выемки, м;

$\gamma_п$, $\gamma_р$ — плотность пород висячего бока и руды, соответственно, т/м^3.

Формулы (4) и (5) соответствуют технологии с оставлением ПЦ у висячего бока, так как практически все повышение *Р* по камере происходит за счет отслоения пород висячего бока.

В рамках исследуемой области определено оптимальное соотношение *П* и *Р* в зависимости от $h_ц$ и $T_ц$ (рис. 2). Из графика видно:

— с увеличением $h_ц$ (с 0 до 80 м) *Пр* возрастает и достигает наибольшей величины при $h_ц = H$;

— увеличением $T_ц$ (с 4 до 11 м) *Пр* снижается до минимального значения.

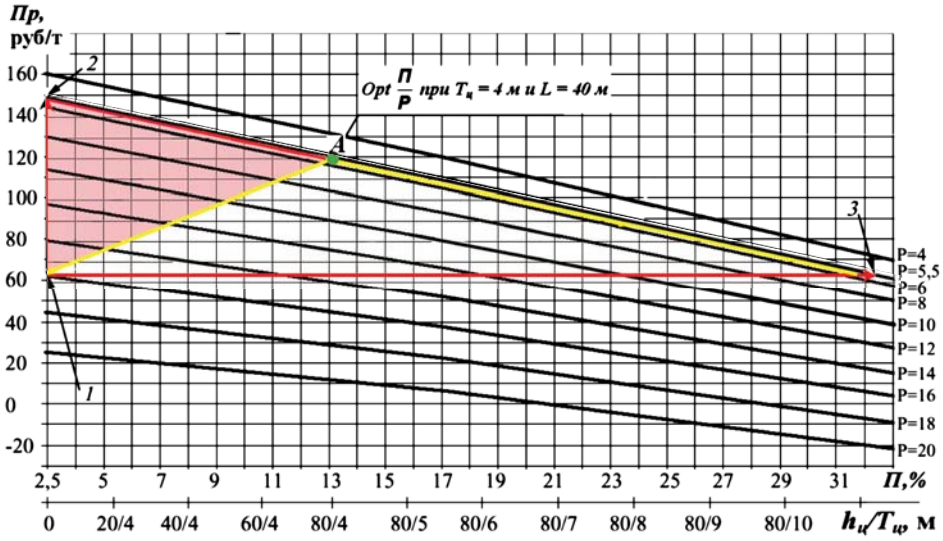


Рис. 2. Оптимизация технически возможных соотношений потерь и разубоживания в зависимости от высоты и толщины предохранительного целика

Таким образом, в пределах области экономически эффективных соотношений наибольшая *Пр* достигается при оставлении ПЦ на всю высоту этажа и его минимальной толщине.

Как отмечалось выше, основным фактором, негативно влияющим на величину разубоживания при выемке камер с УГП, являются размеры обнажения висячего бока — ширина (пролет) и наклонная высота камеры. Кроме этого, существуют и другие факторы, которые необходимо учитывать при изыскании технологии: устойчивость и время обнажения вмещающих пород и вышележащего закладочного массива. В зависимости от установленного фактора принимается место расположения ПЦ. Учитывая особенности разработки Гайского месторождения, был рассмотрен вариант расположения ПЦ у висячего бока. Определение размеров предохранительных целиков представляет собой весьма сложную задачу. Проведенный анализ расчетных формул для определения размеров устойчивых пролетов камер и целиков показал, что обычно они выведены для конкретного месторождения, обилие коэффициентов и других величин, определяемых опытным путем, затрудняет их применение. Приближенные значения устойчивых пролетов рудных обнажений определены согласно рейтинговой классификации Н. Бартона и соответствуют ширине максимального незакрепленного пролета $L_н = 20 \div 30$ м. Следовательно, рудный ПЦ, оставляемый у висячего бока, будет сохранять свою устойчивость при ширине камеры до 30 м. Гайский подземный рудник имеет опыт выемки камер с оставлением временных рудных целиков расположенных по высоте камеры с целью предотвращения обрушенных пород. Фактические размеры целиков в отработанных камерах этажа 670/750 м составляли от 4,5 до 6,0 м. Зарубежный опыт примене-

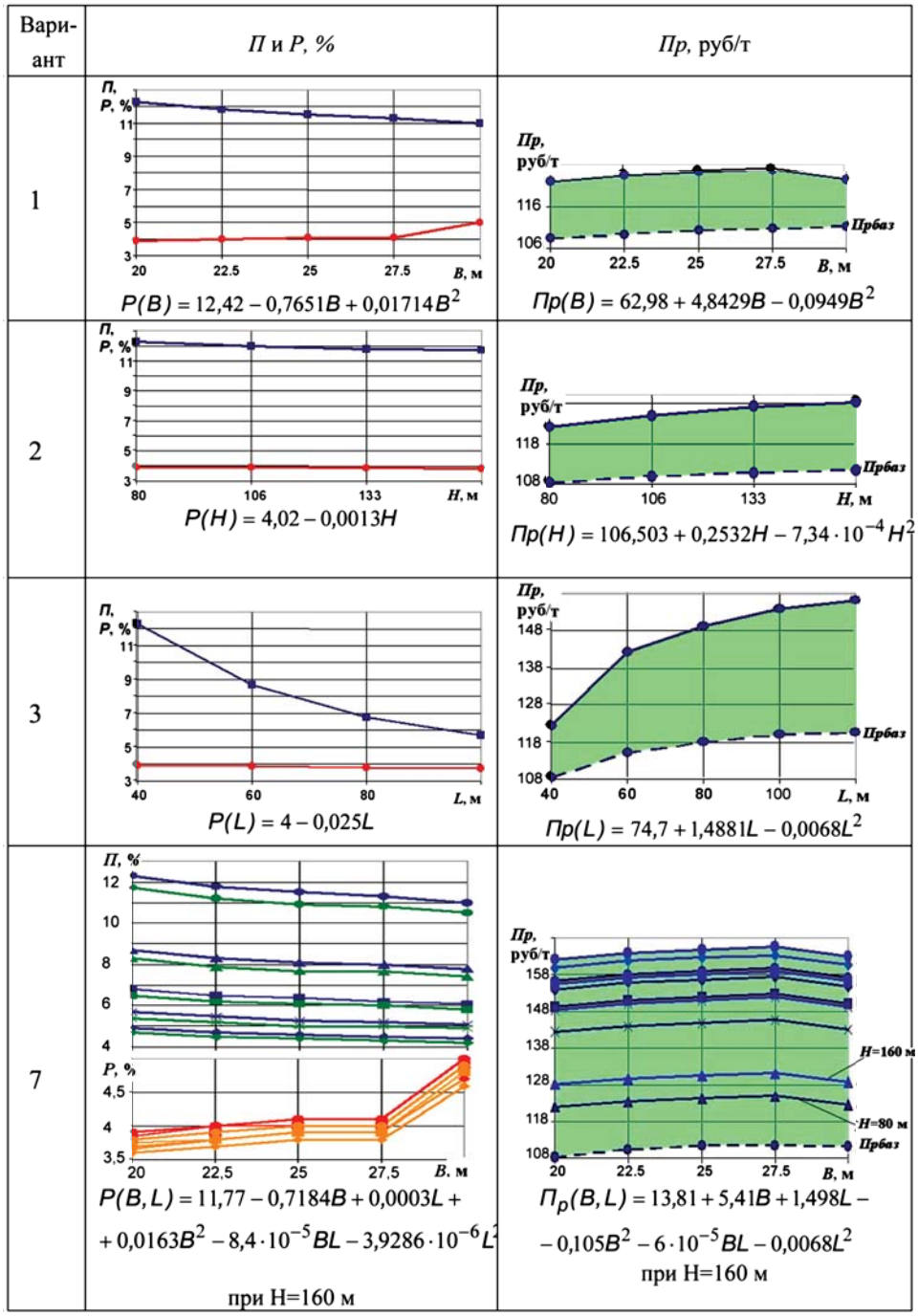


Рис. 3. Влияние увеличенных геометрических параметров камеры, отрабатываемой по технологии с предохранительным целиком, на изменение показателей извлечения и прибыли по вариантам технологии

ния ПЦ (рудных «корок») на рудниках Салафоса (Италия), Брансуик, Риас, Сулливан и Флин-Флон (Канада) показывает, что их толщина не превышает 1,5 — 5 м. Учитывая вышеизложенное, допустимо толщину ПЦ принять равной 4 м.

Исследована эффективность отработки камер с оставлением ПЦ у висячего бока на всю высоту камеры в зависимости от семи вариантов комбинации УГП. В результате экономико-математического моделирования установлено, что увеличение ГП при любой комбинации повышает *Пр* по сравнению с базовым вариантом (рис.3). Необходимо отметить, что в статье рассмотрены варианты 1 — 3 и 7 технологии с УГП, поскольку варианты 4 — 6 являются промежуточными и учтены в варианте 7. Из графиков видно, что кривые изменения *Пр*, соответствующие технологии с ПЦ, расположены выше кривой изменения *Пр*, полученной при базовой технологии. Следовательно, существует только область положительного влияния УГП. Анализ изменения эффективности различных вариантов отработки камер по технологии с ПЦ показал следующее:

Вариант 1. Увеличение *В* от 20 до 30 м повышает *Пр* на 13,1 % за счет большего снижения $З_{д.о}$ (на 9,6 %) по сравнению со снижением $Ц_{изв}$ (на 5,9 %) в результате одновременного повышения *П* до 11,3 и уменьшения *Р* до 5,0 %. При этом максимальная *Пр* достигается при *В* = 27,5 м.

Вариант 2. Увеличение *Н* от 80 до 160 м повышает *Пр* на 18,3 % за счет большего снижения $З_{д.о}$ (10,9 %) по сравнению со снижением $Ц_{изв}$ (6,1 %) в результате одновременного повышения *П* до 11,7 % и уменьшения *Р* до 3,8 %.

Вариант 3. Увеличение *L* от 40 до 120 м повышает *Пр* на 44,1 % за счет снижения $З_{д.о}$ (8,5 %) и повышения $Ц_{изв}$ (0,2 %) в результате одновременного увеличения *П* до 4,9 % и уменьшения *Р* до 3,7 %.

Вариант 7. При одновременном увеличении *В* до 30, *Н* до 160 и *L* до 120 м *Пр* повышается (50,4 %) за счет снижения $З_{д.о}$ (8,0 %) и повышения $Ц_{изв}$ (1,5 %) в результате одновременного увеличения *П* до 4,2 % и уменьшения *Р* до 3,9 %.

Таким образом, эффективность этажно-камерной системы разработки с УГП обеспечивается путем применения ПЦ, размеры которых соответствуют оптимальному соотношению величин *П* и *Р*, установленному по геомеханическим, горно-геологическим, технологическим и экономическим условиям.

Литература

1. *Антипин Ю. Г.* Научно-методическое обоснование эффективного соотношения показателей потерь и разубоживания для условий Гайского подземного рудника // Проблемы недропользования. Материалы I молодежной науч.-практ. конф. / УрО РАН. — Екатеринбург, 2007. — С. 54 — 60.

2. *Волков Ю. В., Соколов И. В., Антипин Ю. Г.* Исследование влияния увеличенных геометрических параметров камеры на эффективность ее отработки // Проблемы недропользования. Материалы II всероссийской молодежной науч.-практ. конф. / УрО РАН. — Екатеринбург, 2008. — С. 36 — 44.

УДК.622.271.3.06

ПОЧВОУСТУПНАЯ ВЫЕМКА ПОРОД ВСКРЫШИ КРУТОНАКЛОННЫМИ СЛОЯМИ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ КРУТОПАДАЮЩИХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А. Ю. Дриженко

Открытая разработка месторождений полезных ископаемых характеризуется значительными объемами выемки горных пород, условия залегания и крепость которых изменяются в широком диапазоне; вовлечении в эксплуатацию все более сложных участков и отдельных залежей; резким возрастанием глубины карьеров; использованием довольно разнообразного и мощного горнотранспортного оборудования.

В Украине железорудные карьеры достигли глубины 350 — 400 м и продолжают углубляться. В первые 15 — 20 лет условия для формирования рабочей зоны были благоприятными и не вызывали особых затруднений при выемке как полезного ископаемого, так и вмещающих пород. Ширина рабочих площадок составляла 60 — 80 м, достигая в отдельных случаях 120 и более метров (ЮГОК). Глубина карьеров не превышала 100 — 150 м. Углы откосов рабочих бортов в 10 — 16° позволяли широко применять железнодорожный транспорт для выемки рыхлых покрывающих и скальных вмещающих пород с формированием системы выездных траншей, пунктов примыкания и карьерных станций на нерабочих бортах. Железистые кварциты перемещались в основном автосамосвалами с перегрузкой в железнодорожные поезда. Высокие технико-экономические показатели бесспорно подтверждали эффективность открытой разработки железной руды по сравнению с подземной.

Однако, начиная с середины 1970-х годов, дальнейшее понижение дна карьеров характеризуется выходом верхней бровки на предельное положение по земной поверхности. При этом резко возросли объемы выемки вмещающих пород, затруднилась эксплуатация комбинированного автомобильно-железнодорожного транспорта на глубоких горизонтах. Размещение экскаваторных перегрузочных пунктов значительных размеров на нерабочих бортах не позволило привести их откосы в проектное состояние (26 — 30° вместо 36 — 39°). Ширина рабочих площадок снизилась до 40 — 50 м. Все это привело к существенному ухудшению технико-экономических показателей добычных работ. Проектные показатели выемки вскрыши и даже плановые не выполнялись. При принятых параметрах системы разработки возникло так называемое отставание вскрышных работ от проектного положения. Этому способствовало также и перевыполнение плана по добыче сырой руды.

В то же время эффективность работы глубоких карьеров зависит не только от геологических условий залегания полезных ископаемых, но и в большей мере от горнотехнических показателей их разработки [1]. Так, формируя временно нерабочие борта вместо постановки их сразу

же в предельное положение, путем пригрузки их породами вскрыши возможно увеличить результирующие углы откосов на 3 — 5° и более. В этом случае величина коэффициента запаса устойчивости может быть принята 1,1 — 1,2 для условий кратковременного стояния борта, вместо 1,3 — 1,5 — для длительного в течение всего основного периода эксплуатации. В результате общий объем пород вскрыши в контурах карьерного поля будет уменьшен на 15 — 20 %. Технологически же увеличение углов откосов рабочих бортов наиболее приемлемо при формировании рабочей зоны одним из следующих способов:

— выделение этапов при разработке месторождений в плане и по глубине карьерного поля;

— поочередная отработка и постановка во временно нерабочее состояние смежных уступов в группе горизонтов карьера;

— управление выемкой горной массы путем сокращения ширины рабочих площадок;

— развитие бортов карьера поперечными и диагональными заходками;

— формирование рабочей зоны карьера по вскрыше высокими уступами;

— поэтапное развитие глубоких карьеров крутыми слоями.

Исследования показывают, что интенсификация горных работ на карьерах, где временно нерабочие участки достигли критических размеров, возможно только одним путем — поэтапным их перемещением в новые положения под сформированными углами откоса с параметрами, обеспечивающими проектную мощность предприятия по полезному ископаемому. Для эффективного управления режимом горных работ в таких условиях продолжительность этапа не должна превышать 5 лет, высота зоны вскрываемых в течение этапа запасов руды 45 м, а ширина технологических рабочих зон по вскрыше 40 — 50 м. Перечисленные параметры при формировании временно нерабочих участков бортов высотой 60 — 150 м характерны для способа поэтапного развития глубоких карьеров крутонаклонными слоями с почвоуступной выемкой пород вскрыши. Суть этого способа заключается в том, что крутопадающее месторождение отрабатывается поэтапно, путем формирования и выемки долговременных запасов полезного ископаемого, образующих зону углубки. Вмещающие породы при этом отрабатываются последовательно с перемещением рабочей площадки сверху вниз в контурах существующего и вновь формируемого временно нерабочего бортов, образующих этап, состоящий из группы крутонаклонных выемочных слоев. Горные работы в пределах зоны углубки и крутонаклонного слоя ведутся независимо друг от друга. В то же время для создания вскрытых запасов в зоне углубки необходимо полностью отработать не менее одного такого слоя.

Отличительной чертой данного способа является то, что выемка крутонаклонных слоев производится сразу по всей ширине одним рабочим уступом. Истинная ширина слоя в этом случае составляет 30 — 50 м. Угол наклона крутонаклонных слоев зависит от конструктивных параметров борта: высоты и угла падения рудного тела, ширины транспорт-

ных площадок и площадок безопасности, а также числа автомобильных или железнодорожных съездов в пределах поперечного профиля временно нерабочего участка. Перечисленные параметры обычно устанавливаются исходя из обеспечения устойчивого угла откоса борта, безопасности ведения буровзрывных работ и нормальной работы карьерного транспорта. При сложившейся технологии горных работ угол наклона временно нерабочих бортов практически неизменен на всех этапах развития рабочей зоны карьера и составляет 27 — 35°.

Установлено, что крутонаклонные слои следует формировать по мягким и скальным породам вскрыши на фронтальных бортах, начиная от выхода полезного ископаемого под нижнюю вскрышную рабочую площадку по лежачему и висячему бокам месторождения в поперечном разрезе; ориентировать их вдоль простирания месторождения под углами 20 — 30°. Длину их разделяют на 2 — 3 участка, которые состоят из длины экскаваторного блока и съездов между смежными участками, а ширина по низу дополнительно включает улавливающую площадку [2], роль которой выполняет вскрышная рабочая площадка в нижнем положении этапа. Между рабочими площадками, в соответствии с правилами безопасности, оставляют временно законсервированные участки крутонаклонных слоев и площадки безопасности. На площадках уступов, которые отработаны в предельном положении торца, устраивают железнодорожные станции и распределительные пункты. Углубку горных работ производят в области торца карьера с постоянными транспортными коммуникациями.

Угол наклона рабочих бортов зависит от высоты и угла откосов временно нерабочих участков крутонаклонных слоев и их числа, ширины транспортных площадок и площадок безопасности, а также числа автомобильных и железнодорожных съездов в пределах поперечного профиля. Угол наклона временно нерабочих участков бортов в крутонаклонном слое остается практически неизменным на всех этапах развития рабочей зоны карьера и зависит от устойчивости горных пород в массиве. При этом на основе геометрической взаимосвязи углов откоса рабочего борта $\alpha_{рв}$ и $\alpha_{рл}$ (град) со стороны висячего и лежачего боков рудного тела, соответственно, нерабочих участков борта $\alpha_н$ (град) и угла падения пласта полезного ископаемого γ (град) при отработке вскрыши крутонаклонными слоями ширина этапа $B_э$ (м) при углубке карьера на величину $H_э$ (м) имеет вид:

со стороны висячего бока залежи $B_{э.в} = H_э(\mathrm{cgt}\alpha_{рв} + \mathrm{ctg}\gamma)$;

со стороны лежачего бока залежи $B_{э.л} = H_э(\mathrm{cgt}\alpha_{рл} + \mathrm{ctg}\gamma)$.

Слои в этапе имеют различные по ширине со стороны висячего и лежачего боков пласта рабочие площадки $b_{р.в}$ и $b_{р.л}$, которые формируют рабочие борта карьера под углами наклона со стороны висячего и лежачего боков залежи $\mathrm{ctg}\alpha_{р.в}$ и $\mathrm{ctg}\alpha_{р.л}$ (град). Соответственно, число слоев в этапе $n_с$ определяется по формуле

$$n_с = \frac{B_э}{b_р} + 1.$$

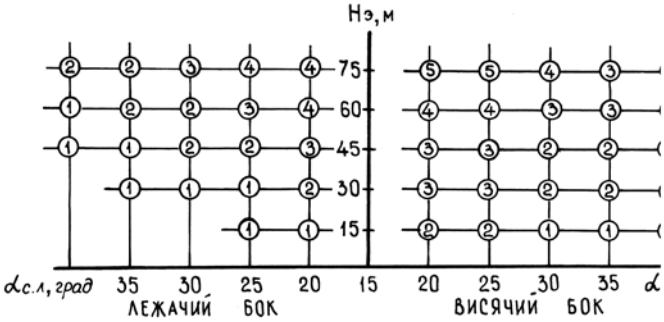


Рис. 1. Номограмма зависимости числа крутонаклонных слоев $n_с$ в этапе разработки от углов их откоса в висячем $\alpha_{р.\,в}$ и лежачем $\alpha_{р.\,л}$ боках рудной залежи, а также шага углубки $H_э$

Из рис. 1 следует, что увеличение шага поэтапной углубки $H_э$ приводит к весьма неравномерному числу сформированных крутонаклонных слоев в этапе со стороны висячего и лежачего боков залежи. Стремление увеличить угол наклона слоя $\alpha_с$ к максимально возможному значению по устойчивости (до 40°) приводит к одновременному формированию 2 — 3 рабочих площадок по висячему и 1 — 2 по лежачему бокам при $H_э = 45 \div 75°$.

Угол откоса рабочего борта $\alpha_р$ (град) зависит от высоты рабочей зоны карьера по вскрыше $H_{р.в}$ (м), числа крутонаклонных слоев в этапе $n_с$ и их ширины $b_р$ (м), связанных между собой зависимостью

$$\alpha_р = \operatorname{arctg}\frac{H_{р.в}}{n_с b_р + H_{р.в}\operatorname{ctg}\alpha_с}.$$

Как видно из рис. 2, формирование слоев с шириной рабочих площадок 45 — 50 м приводит к резкому увеличению углов откосов рабочих бортов карьера в интервале высоты рабочей зоны 100 — 200 м при всех рассмотренных их конструкциях. Последующее увеличение текущей глубины карьера характеризуется прямолинейным увеличением углов откоса рабочих бортов во всех представленных конструкциях с числом крутонаклонных слоев в этапе от одного до пяти.

Формирование этапа из 2 — 3 слоев позволяет не только увеличить угол откоса рабочего борта до 28 — 30 и 30 — 32° при высоте вскрышной рабочей зоны в пределах 300 — 400 м, соот-

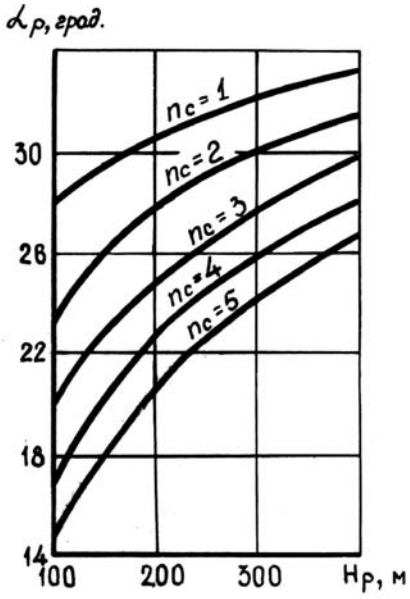


Рис. 2. Графики изменения угла наклона рабочего борта карьера $\alpha_р$ от высоты вскрышной рабочей зоны $H_{р.в}$ и числа крутонаклонных слоев в этапе разработки $n_с$

ветственно, но и упорядочить размещение требуемого числа экскаваторных блоков в пространстве для выполнения заданного планом объема вскрышных работ. При этом высота временно нерабочих участков в этапе $H_{э.н}$ (м) имеет максимальное значение при соотношении

$$H_{э.н} = \frac{H_{р.в}}{n_с - 1}.$$

Следует отметить, что при понижении дна карьера для поддержания установленной производительности по добыче руды темп углубки горных работ будет увеличиваться. В этих условиях эксплуатация автомобильного транспорта позволяет обеспечить растущие объемы выемки вскрыши более эффективно. Расположение перегрузочных пунктов в нижней части рабочей зоны и рассредоточение их по ее периметру дает возможность существенно снизить расстояние перемещения горной массы автосамосвалами и получить высокие технико-экономические показатели в целом по карьеру. Применение же более быстроходных и менее широких автосамосвалов способствует, кроме отмеченного, снижению текущих объемов выемки вскрыши в основной период разработки карьерного поля за счет уменьшения ширины транспортных площадок.

Эффективность почвоуступной системы разработки пород вскрыши иллюстрируется на примере карьеров горно-обогатительного комплекса ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог». Здесь на карьере № 2-бис в соответствии с разработанной методикой ширина рабочей площадки принята 55 м. При угле падения пласта месторождения 58° угол откоса рабочего борта $\alpha_р$ = 42°. Ширина этапа по поверхности со стороны висячего и лежачего боков залежи, соответственно, равна $B_{э.в}$ = 80 м и $B_{эл}$ = 30 м. Число отрабатываемых крутонаклонных слоев в этапе по висячему боку — два, по лежачему боку — один. Длина диагональных и продольных экскаваторных блоков 120 м, угол ориентирования их к простиранию рудного тела ω = 30°. За счет применения новой технологии текущий коэффициент вскрыши снижен с 0,241 до 0,172 м^3/т. Дополнительный прирост подготовленного железорудного сырья за счет увеличения углов откоса рабочих бортов составил 20,7 млн.т.

Изменение технологической схемы отработки пород вскрыши позволяет улучшить режим горных работ. При этом до 2016 г. сокращаются объемы выемки вскрыши на 10,7 млн. м^3, коэффициент вскрыши уменьшается на 0,13 м^3/т. Ежегодное уменьшение выемки пород вскрыши составит 972 тыс. м^3. Суммарный экономический эффект от внедрения новой технологии на карьере № 2-бис, по данным ОАО «Укргипроруда», составил 21,22 млн. грн.

Новая технологическая схема отработки карьера № 3 предусматривает формирование рабочей зоны тремя крутонаклонными слоями, которые отрабатываются уступами высотой по 15 м. Откосы их заоткашивают путем бурения экранирующих взрывных скважин на всю высоту под углом 75°. Протяженность этапов 600 — 800 м. Количество их по длине карьера — три. Ширина улавливающей площадки на концентрационном горизонте 30 м. Ширина нижней рабочей первой снизу по лежаче-

му боку площадки 62 м, по висячему боку 65 м. Результирующие углы откоса рабочих бортов по лежачему боку 45°, висячему 30,5 — 38°.

При отработке крутонаклонного слоя с диагональными и продольными экскаваторными блоками длиной 135 м угол ориентирования фронта работ к простиранию рудной залежи 26°. До 2016 г. при внедрении новой технологии отработки карьера № 3 объемы выемки вскрыши уменьшатся на 21 950 тыс. м^3. Ежегодно уменьшение выемки вскрышных пород составит в среднем 1995,5 тыс. м^3, что существенно улучшит режим горных работ.

Описанные технологические схемы позволяют упорядочить отработку глубоких карьеров с максимально возможными углами откоса рабочих бортов, вследствие чего снижается объем выемки и транспортирования пород вскрыши, незначительно повышается себестоимость добычи руды при интенсивном понижении глубины горных работ. При достижении зоной углубки предельной глубины в отработанной части карьерного поля возможно размещать внутренний отвал пород вскрыши, что существенно для экологии.

Литература

1. Вскрытие глубоких горизонтов карьеров / А. Ю. Дриженко, В. П. Мартыненко, В. И. Симоненко и др.: Под ред. проф. А. Ю. Дриженко. — М.: Недра, 1994. — 288 с.

2. *Дриженко А. Ю*. Новые технологические решения по разработке глубоких железорудных карьеров этапами // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр. — Екатеринбург: ИГД УрОРАН, 2004. — Вып. 2 (92). — С. 212 — 226.

УДК 622.73:622.271.4

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ НА ОТКРЫТЫХ РАЗРАБОТКАХ

С. Ж. Галиев, А. А. Бояндинова

Создание в отрасли новых современных производств и выход на более высокий технико-технологический уровень возможны лишь на основе активного стимулирования научной организации производства, обеспечивающего устойчивое развитие горных градообразующих предприятий на рынке минерального сырья. Для эффективного решения практически всех проблем, связанных с развитием и функционированием подобных систем, необходимо разрабатывать соответствующие информационные технологии, которые охватывали бы практически все виды деятельности на предприятии и, в частности, операции внутренней логистики, помогающие реализовывать функции контроля и управления касательно мониторинга горно-геологической и горнотехнической ситуации в карьерном пространстве, организации выемочно-погрузочных работ, транспортировки горной массы и отвалообразования. Так как технологии информационных систем играют важную роль в создании и использовании связей между всеми видами деятельности, то очевидно, что они должны нести в себе элементы функций координации и оптимизации в управлении обменом информацией.

Основная идея подхода заключается в том, что геотехнологическая система на открытых разработках месторождений твердых полезных ископаемых рассматривается как единство горно-геологической, горнотехнической, технологической, информационной и организационной подсистем, развивающихся под воздействием автоматизированной системы корпоративного управления.

Концепция корпоративного управления геотехнологическими комплексами на открытых разработках

Анализ эволюции научно-методической базы организации сложных горных производств на открытых разработках показывает, что объектом рассмотрения в ней становятся все более масштабные системы, в рамках которых все более адекватно воспринимаются взаимосвязи и факторы, определяющие эффективность их функционирования. Одна из основных задач автоматизированных систем управления такими объектами — максимально учитывать эти факторы и характер взаимосвязей всех их подсистем и элементов. Другим безусловно важным моментом формирования подобных систем является заложение возможностей по реализации в автоматизированном режиме всех основных функций системы управления производственным объектом, такими как планирование, организация, нормирование, регулирование, контроль, стимулирование и учет. Концепция формирования автоматизированной корпора-

тивной системы управления геотехнологическим комплексом, принятая в ИГД им. Д. А. Кунаева, базируется на использовании системного подхода, глобальной системы позиционирования (GPS), методов имитационного и объектно-ориентированного моделирования вкупе с традиционными методами анализа и оценки эффективности ее функционирования. Она включает в себя блоки (подсистемы), позволяющие осуществлять мониторинг горно-геологической ситуации в карьерном пространстве, имитационного моделирования и оптимизации параметров горно-транспортных систем карьеров (ГТСК) с автомобильным, железнодорожным и комбинированным автомобильно-железнодорожным транспортом, реализацию функций планирования горно-транспортных работ (ГТР) с учетом формируемых технологически стабильных периодов, осуществлять управление процессом воспроизводства производственных мощностей на основе принципа цеховой рентабельности, оперативно обеспечивать текущей информацией о состоянии горно-транспортного комплекса (ГТК) и осуществлять оперативный экологический мониторинг работы ГТК и состояния в карьерном пространстве.

В целом основные принципы формирования системы можно сформулировать следующим образом:

- базирование на объективной и оперативно получаемой информации о работе всех контролируемых элементов, подсистем и системы в целом;
- возможность наработки новых корпоративных вертикальных и горизонтальных связей внутри предприятия;
- обеспечение условий для формирования и достижения корпоративных целей и задач предприятия;
- нацеленность на повышение конкурентных преимуществ;
- выработка единого лейтмотива и единой установки с акцентированием определенных взаимосвязей;
- интеграция усилий элементов и подсистем предприятия как геотехнологического комплекса (ГК);
- координация технологий видов деятельности предприятия (администрирование, производственные процессы, информационные технологии, управление кадрами, внутренняя логистика), обуславливающих величину стоимости предприятия;
- экономическая оценка эффективности принимаемых мер по усовершенствованию работы системы производится на уровне доходов предприятия;
- сопоставимость по структуре, формату и содержанию информационных потоков, циркулирующих в системе и в процессе имитационного моделирования работы ГТК.

Основные принципы системы призваны обеспечить возможность органичного сочетания и реализации основных функций управления ГК — планирования, организации, нормирования, регулирования, стимулирования, контроля и учета — исходя из корпоративных интересов его подсистем.

Одним из самых важных и ответственных моментов в алгоритме управления является процесс планирования ГТР, предусматривающий

обоснование качественных характеристик рудопотоков, нормирование, формирование графика ремонтов основного оборудования, календарное планирование, оптимизацию и выбор наиболее приемлемого варианта организации ГТР. Такой подход к планированию, основанный на применении метода имитационного моделирования, позволяет качественно учитывать практически любые факторы, определяющие производительность ГК.

Таким образом, под АКСУ ГК понимается интегрированная в единую систему совокупность программно-методических и технических средств, обеспечивающая на основе объективно вырабатываемой информации и в автоматизированном режиме реализацию функций оперативного мониторинга, диспетчеризации, комплексной оптимизации, планирования и управления в целях повышения эффективности взаимодействия взаимообусловленных сред «Рудное тело», «Карьерное пространство», «Горно-транспортный комплекс» и «Система управления предприятием».

Предлагаемая автоматизированная корпоративная система управления горнодобывающими предприятиями на открытых разработках как едиными ГК является универсальной и может быть успешно применена практически на любых карьерах, отрабатывающих месторождения твердых полезных ископаемых.

Главными достоинствами системы являются базирование на оперативной полной и достоверной информации о текущем состоянии ГК и адекватная экономическая оценка эффективности его функционирования по себестоимости ГТР и на уровне доходов предприятия от реализации основного продукта.

Информационные технологии экологического мониторинга на карьерах

Основная идея системы экологического мониторинга заключается в интеграции методов моделирования, программно-технических средств мониторинга и современных информационных технологий в единую информационную платформу. Концепция построения системы предполагает гибкость объема функционала программно-методического обеспечения в зависимости от требований предприятия. В основу информационной платформы положены базовые технологические решения (локальные сети предприятия, беспроводные цифровые сети, СУБД высокого уровня). Важнейшей частью программно-методического обеспечения является использование имитационного моделирования для прогнозирования экологической ситуации, а также подсистема, включающая обширную базу данных о состоянии моделируемой экосистемы и хозяйственного комплекса предприятия. Это позволяет оперативно выполнять качественные расчеты по многим моделям автосамосвалов исходя из их тяговых и технологических характеристик, условий и режима эксплуатации в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях, оказывающих существенное влияние на объемы экологических выбросов (рис. 1).

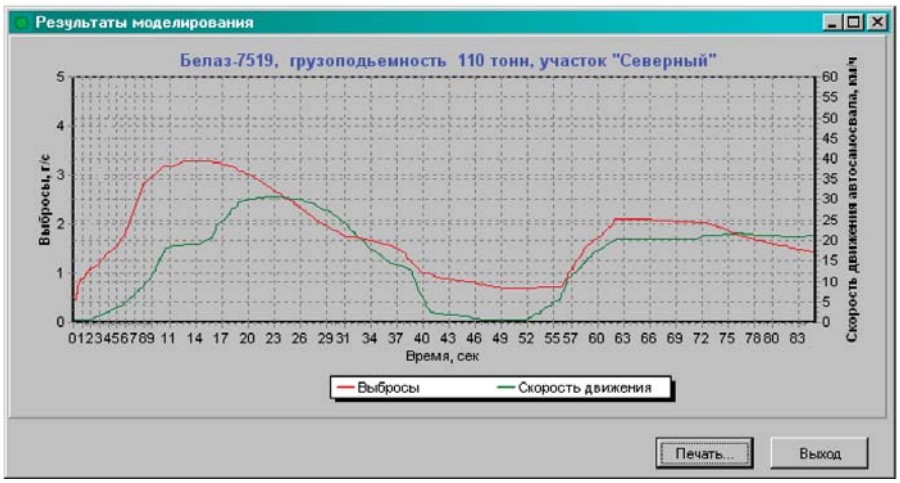


Рис. 1. Результаты моделирования программного модуля

Значения мощности выбросов пыли (интенсивность пылевыделения) предлагается рассчитывать на основе фактических значений параметров технологического оборудования. Важным моментом является то, что наряду с экологическим мониторингом учитываются и затраты на экологические мероприятия в себестоимости горных работ. Программно-методическое обеспечение позволяет осуществлять автоматический и автоматизированный способ формирования и передачи заинтересованным лицам данных о состоянии объектов наблюдения, об экологической обстановке в различных зонах объекта и метеопараметров с целью обеспечения поддержки принятия решений.

Комплекс технических средств информационно-аналитического центра построен на основе архитектуры «клиент-сервер» и содержит ряд рабочих мест для специалистов и три сервера (коммуникационный, сервер баз данных и сервер приложений), объединенных в локальную сеть.

Задачи прогнозирования развития экологической ситуации в системе решаются с помощью имитационного моделирования. Модельная подсистема имеет два уровня, в первый из которых входит набор локальных моделей в соответствии с видом работ и типом применяемого оборудования, а во второй — система программ, обеспечивающая моделирование распределенных в пространстве неоднородных экологических систем.

Важной особенностью системы является гибкость и адаптивность, которая обеспечивается модульным принципом построения системы, что позволяет легко настроить и внедрить в любую информационную структуру предприятия.

Предлагаемое программно-методическое обеспечение экологического мониторинга позволяет осуществлять мониторинг на открытых разработках, учитывать экологические факторы в процессах планирования горных работ и эксплуатации карьера. Результаты работы системы мониторинга могут быть применены в разработке методических поло-

жений: по систематизации основных экологических, экономических и организационных факторов и оценки степени их влияния на эффективность работы ГТК карьеров; в разработке методики выбора схем развития горных работ с учетом экологических факторов. С его помощью можно успешно решать вопросы экологического нормирования, становления предельно и временно допустимых концентраций.

Информационное обеспечение автоматизированной системы управления процессом воспроизводства мощностей горно-транспортных систем карьеров

Оперативное планирование и управление процессом воспроизводства производственных мощностей ГТСК является одной из мер профилактики и совершенствования работы ГТСК, основной задачей которой является поддержание ГТСК в стабильном техническом состоянии, обеспечивающем рентабельную работу, и в рамках системы осуществляется на основе экономического механизма. Общая структура информационного обеспечения автоматизированной системы управления процессом воспроизводства производственных мощностей приведена на рис. 2.

Возможности ИПМК «АСУ ПВПМ ГТСК» позволяют:

— определять сроки рациональной эксплуатации оборудования и их своевременное выбытие;
— формировать графики ремонтов и возобновления производственных мощностей ГТК;
— получать зависимость целесообразности использования того или иного вида оборудования от его возраста, коэффициента полезного действия и рентабельности производства работ;

Рис. 2. Общая структура информационного обеспечения системы управления процессом воспроизводства производственных мощностей карьера

— поддерживать оптимальный технический уровень рабочего парка оборудования на основе определения сроков рациональной эксплуатации оборудования, а также осуществления своевременного выбытия и возобновления производственных мощностей ГТК;
— решать проблемы оперативного планирования и управления процессом воспроизводства ГТСК при оптимальной производственной мощности путем регулирования пропорций в производственных мощностях предприятия с учетом нормативной загрузки и сроков рациональной эксплуатации горно-транспортного оборудования;
— соблюдать условие непрерывности взаимодействия горного и транспортного оборудования, выражающееся в органической взаимосвязи технологии производственных процессов и технологии открытых горных работ.

Основным результатом работы данного комплекса являются календарные графики ремонтов основного технологического оборудования. При этом комплекс базируется на результатах качественной дифференциальной компьютерной диагностики состояния ГТК и комплексе программных средств имитационного логико-математического моделирования, что дает возможность перебора в автоматизированном режиме большого числа вариантов и выбора наиболее рациональных из них.

Мониторинг процесса управления качеством карьерных рудопотоков

Реализуемый подход к мониторингу управления качеством карьерных рудопотоков также основан на органичном сочетании системы диспетчеризации с применением средств GPS и метода имитационного моделирования в рамках системы. Основная идея подхода заключается в использовании имитационного моделирования при планировании ГТР для обоснования принимаемого порядка организации работы горного и транспортного оборудования, обеспечивающего необходимые качественные характеристики руд, подаваемых на фабрику в оптимальном режиме. Реализация запланированного варианта работы ГТК осуществляется с ориентиром на текущее значение качественного показателя руды, формируемого в процессе работы ГТК, отслеживаемого с помощью технических средств АСД ГТР. Эта информация высвечивается на экране дежурного монитора горного диспетчера.

Функциональные возможности модуля:

- мониторинг колебания содержания полезного компонента в текущем рудопотоке, а также на перегрузочных складах;
- расчет производительности забоев для оперативного вмешательства в процесс усреднения горной рудной массы (только для текущей смены);
- показатели эффективности управления и планирования работы по усреднению качества горной рудной массы;

- расчет производительности забоев для получения требуемого содержания на каком-либо разгрузочном пункте.

Модуль функционирует в рамках подсистемы АСД ГТР для получения данных и подразделяется на две основные части: блок мониторинга усреднения руды и блок расчета необходимых объемов рудопотока с определенными качественными характеристиками в случае ликвидации незапланированных отклонений в нем.

В связи с тем, что информация может предоставляться не только по текущей смене, но и за предыдущие, она может получаться из разных источников. При получении данных за предыдущие смены информация считывается из базы данных, а при оперативном взаимодействии — из программного компонента АСД ГТР. График формируется с начала смены, где содержание и масса перевезенной руды равны нулю. После разгрузки очередного автосамосвала появляются новые данные с рассчитанным содержанием, а также массой руды.

Аналогичная информация по качественным характеристикам выдается и по руде на пунктах отгрузки и формирования руды внутрикарьерного перегрузочного склада. В пункте отгрузки содержится и вывозится железнодорожным транспортом руда со сформированным, с ориентацией на плановые показатели, содержанием полезного компонента в ней.

Блок оперативной подсказки диспетчеру предназначен для облегчения оперативного планирования рудопотока для выполнения плановых показателей по содержанию руды на пункте формирования внутрикарьерного перегрузочного склада. Он состоит из трех частей:

— график зависимости оперативно требуемой массы руды от ее содержания, где предоставляется информация о содержании и массе в соответствующей точке на графике;

— информация по пункту формирования перегрузочного склада: текущее и плановое содержание на складе, название склада. Также предусмотрены поля для ввода информации по требуемым параметрам формируемого рудопотока — содержание и масса;

— информация по пунктам погрузки для реализации оперативных плановых показателей рудопотока: название, содержание, масса (требуемые объемы из каждого забоя).

В рамках этого блока системы предусматривается дополнительная возможность оперативного прогноза на начало смены требуемых объемов руды с определенным содержанием для ликвидации возникших отклонений от запланированных показателей формируемого рудопотока. По фактическим показателям содержания полезного компонента в руде по задействованным в работе забоям, а также исходя из величины отклонения качественных характеристик в уже обеспеченном рудопотоке устанавливаются необходимое подкорректированное значение содержания полезного компонента в рудопотоке и требуемые объемы руды по забоям, как это представлено на рис. 3. После того, как установлены параметры необходимого рудопотока от забоев до перегрузочного пункта на начало смены, диспетчер имеет возможность оперативно контролировать реализацию этих параметров на мониторе по мере поступления

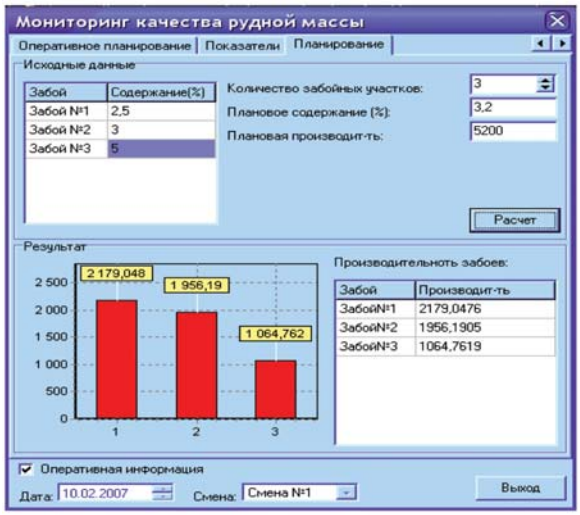


Рис. 3. Диаграмма требуемых на начало смены объемов руды с пунктов погрузки

автосамосвалов на пункт разгрузки перегрузочного склада. На экран монитора выводятся данные о текущем и плановом содержании поступающей руды на склад.

Для оперативной оценки эффективности управления качественными характеристиками используются четыре критериальных показателя. Коэффициент эффективности организации рудопотока сигнализирует об исполнении планового показателя по рудопотоку на текущий пункт разгрузки. Коэффициент эффективности планирования рудопотока, представляющий собой отношение фактического содержания на складе к плановому, сигнализирует об исполнении плана рудоподготовки по отдельным складам. Коэффициент эффективности рудоподготовки зависит от фактического и планового содержания на фабрике. Коэффициент соответствия рудопотока, являясь отношением фактического содержания в текущем рудопотоке к плановому содержанию полезного компонента на фабрике, говорит об эффективности рудоподготовки на начальном этапе. Порядок вывода информации по показателям эффективности управления качественными характеристиками рудопотока представлен на рис. 4. Перечисленные критериальные показатели позволяют с высокой степенью точности оценивать эффективность процесса рудоподготовки на всех его этапах, начиная с планирования. По ним можно сказать, на каком из этапов были допущены ошибки, и принять соответствующие меры по их устранению.

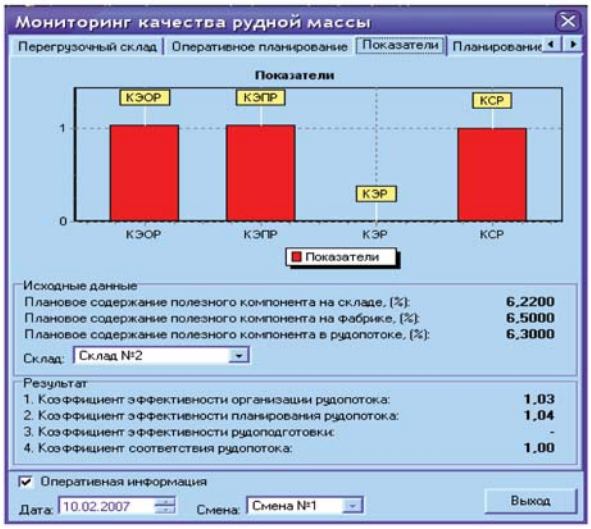


Рис. 4. Диаграмма с показателями эффективности управления рудопотоком

УДК 622.684:622.271.4:621.879

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЗЕРВЫ В АВТОМОБИЛЬНО-ЭКСКАВАТОРНОМ КОМПЛЕКСЕ

В. А. Галкин, В. П. Кавышкин, М. Н. Полещук, А. В. Соколовский

В последние годы многие российские угольные разрезы проводят широкомасштабное техническое перевооружение, приобретая горно-транспортную технику большой единичной мощности и грузоподъемности. Особенно интенсивно заменяются автомобильно-экскаваторные комплексы, которые на отечественных карьерах являются основной группой оборудования. Но, при сложившейся на предприятиях системе работы, новое оборудование нередко не только не дает ожидаемого прироста производительности, а зачастую приводит к снижению показателей эффективности угледобывающих предприятий.

Проанализируем работу горно-транспортного оборудования на примере использования автосамосвала БелАЗ-7555 и экскаватора ЭКГ-8И в ООО «Восточно-Бейский разрез». Выбор объекта исследования связан с тем, что данный разрез является частным предприятием, сформированным в рыночной среде и согласно устоявшимся мнениям должен иметь высокие показатели использования капитала.

Исходная ситуация

В 2007 г. среднесписочный автосамосвал вывез 585,1 тыс. м^3 горной массы, среднее расстояние транспортирования составило 1,3 км при высоте подъема 40 м. Экскаватор ЭКГ-8И погрузил 1860,6 тыс. м^3 горной массы.

Резервы по существующей системе учета

По существующей на предприятии системе учета из 8760 ч календарного фонда времени (КФВ) среднесписочный автосамосвал БелАЗ-7555 работал на линии 7463 ч (85,2 %), находился в плановом ремонте — 385 ч (4,4 %), в аварийном ремонте — 300 ч (3,4 %), в режимных простоях — 192 ч (2,2 %), в прочих простоях — 190 ч (2,0 %), простаивал из-за отсутствия бригады — 44 ч (0,5 %), простаивал из-за отсутствия запчастей — 88 ч (1,0 %) (рис. 1, *а*). Резервы производительности автосамосвала, к которым отнесены время прочих простоев, время отсутствия бригады, время отсутствия запчастей, 50 % времени в аварийных ремонтах, составили 455 ч (5,2 %). То есть производительность автосамосвала можно повысить на $\frac{455}{7463} \cdot 100\ \% = 6{,}1\ \%$.

По отчетности предприятия экскаватор ЭКГ-8И из 8760 ч календарного фонда времени работал на экскавации 7176 ч (81,9 %), находился в плановом ремонте — 368 ч (4,2 %), в аварийном ремонте — 464 ч (5,3 %), в режимных простоях — 96 ч (1,1 %), в прочих простоях — 600 ч (7,6 %) (рис. 1, *б*). Резервы производительности экскаватора, к которым отнесены время прочих

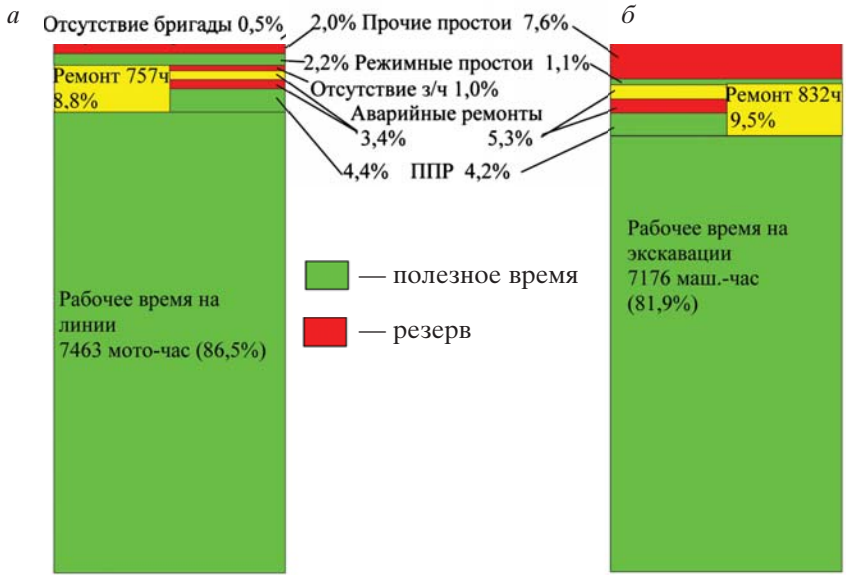


Рис. 1. Структура календарного фонда времени работы оборудования по существующей на предприятии системе учета:
а — автосамосвала; *б* — экскаватора

простоев, 50 % времени в аварийных ремонтах, составили 895 ч (10,2 %). То есть производительность экскаватора можно повысить на $\frac{895}{7176} \cdot 100\ \% = 12{,}5\ \%$.

Таким образом, по действующей на предприятии системе учета, резервы производительности имеющегося оборудования невелики (6 — 12 %) и требуемый рост объемов может быть обеспечен только приобретением нового оборудования.

Резервы по предлагаемой системе учета исходя из возможностей оборудования

Возможное время работы автосамосвала $T_{\text{макс.раб}}$ определяется как произведение календарного фонда времени на коэффициент технической готовности $k_{\text{тг}}$ и коэффициент использования времени водителя (учитывает время на ежесменное обслуживание, принятие пищи и личные надобности — 1,5 ч в 12-часовую смену) $k_{\text{ивв}}$:

$$T_{\text{макс.раб}} = \text{КФВ} \cdot k_{\text{тг}} \cdot k_{\text{ивв}} = 8760 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}88 = 6570 \text{ ч (75 \% от КФВ)}.$$

Возможный объем вывозимой горной массы при номинальном использовании технических возможностей автосамосвала рассчитывается по формуле

$$Q_{\max} = \frac{T_{\text{макс.раб}}}{T_{\text{р}}} V_{\text{к}},$$

где $T_р$ — время рейса, с; $V_к$ — объем кузова, м^3.

При протяженности забойно-отвальных участков 0,2 км, приведенном расстоянии транспортирования $L_{пр}$ = 1,7 км, времени погрузочно-разгрузочных операций 195 с при погрузке экскаватором ЭКГ-5А, 170 с экскаватором ЭКГ-8И, среднее время рейса автосамосвала при погрузке экскаватором ЭКГ-5А $T_р$ = 606 с, при погрузке экскаватором ЭКГ-8И $T_р$ = 581 с.

Возможный объем вывезенной горной массы при погрузке экскаватором:

$$\text{ЭКГ-5А} \quad Q_{max}^{5А} = \frac{6570 \cdot 3600}{606} \cdot 23 = 897,7 \text{ тыс. м}^3\text{/год;}$$

$$\text{ЭКГ-8И} \quad Q_{max}^{8И} = \frac{6570 \cdot 3600}{581} \cdot 23 = 936,3 \text{ тыс. м}^3\text{/год.}$$

В 2007 г. 1/3 вывезенной горной массы была погружена экскаватором ЭКГ-8И и 2/3 вывезенной горной массы были погружены экскаватором ЭКГ-5А, средневзвешенный возможный объем вывозимой горной массы

$$Q_{max}^{С} = \frac{6570 \cdot 3600}{581 \cdot \frac{1}{3} + 606 \cdot \frac{2}{3}} \cdot 23 = 910,2 \text{ тыс. м}^3\text{/год.}$$

Таким образом, на выполненную за отчетный период работу необходимо было затратить только $T_{пр.раб} = \frac{585}{910}\frac{000}{200} \cdot 6570 = 4223$ ч времени (48,2 % от КФВ). Резерв составляет 6570 – 4223 = 2347 ч, в 5,2 раз больше, чем по учетным данным, то есть производительность автосамосвала можно повысить на $\frac{2347}{4223} \cdot 100\ \% = 56\ \%$ (в полтора раза).

Аналогичный расчет для экскаватора показал, что его производительное время работы составило 2584 ч (29,5 % от КФВ), то есть, резерв для экскаватора ЭКГ-8И — 3986 ч, что в 4,5 раз больше, чем по учетным данным. Следовательно, производительность экскаватора можно повысить на $\frac{3986}{2584} \cdot 100\ \% = 154\ \%$ (в 2,5 раза).

Структура КФВ по предлагаемой системе учета, исходя из возможностей оборудования, приведена на рис. 2.

Рассчитанные нами резервы (2347 ч по автосамосвалам и 3986 ч по экскаваторам) в существующей системе учета являются скрытыми резервами. При вскрытии этих резервов значительное повышение производительности и требуемый рост объемов производства могут быть обеспечены совершенствованием технологии и организации производства без приобретения нового оборудования.

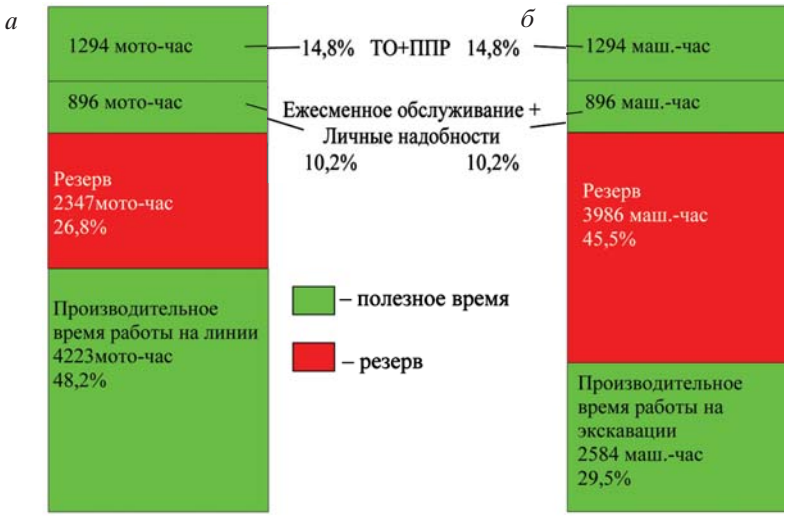


Рис. 2. Фактическая структура календарного фонда времени работы:
а — автосамосвала; *б* — экскаватора

Структура резервов автомобильно-экскаваторного комплекса

Для определения направлений улучшения работы автомобильно-экскаваторных комплексов резервы были структурированы по виду и влияющим факторам:

	Технологические резервы, час/год	Организационные резервы, час/год
Техническая готовность	40 — 45	135 — 145
Сбалансированность погрузочных и транспортных емкостей ($V_к/E_к$) (ожидание под погрузкой)	70 — 85	30 — 35
Сбалансированность погрузочных и транспортных мощностей (ожидание погрузки)	45 — 50	115 — 125
Параметры рабочей площадки	170 — 210	50 — 100
Качество взрыва	200 — 250	150 — 200
Периодичность взрывания	75 — 85	210 — 250
Параметры автодорог	200 — 250	90 — 110
Квалификация персонала	40 — 50	260 — 290
Мотивация персонала	—	230 — 320
Итого резервов	840 — 1015	1270 — 1575
Всего резервов	2110 — 2590	

Наиболее предпочтительным является первоочередная реализация организационных резервов, которая не требует значительных капитальных вложений. Преобразования необходимо начинать с вовлечения персонала в процесс повышения эффективности. Это связано с тем, что без реализации 25 % резервов, напрямую приходящихся на персонал, невозможна реализация оставшихся 75 %. Опыт преобразований показывает, что основным практическим инструментом вовлечения персонала в процесс преобразований является усиление связи оплаты и результатов труда и стандартизация производственных процессов, обеспечивающая и основу для предлагаемой системы учета, и базовые нормативы для системы оплаты труда.

УДК 622.251

КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОХОДКИ СТВОЛОВ В ТЕКТОНИЧЕСКИ НАПРЯЖЕННОМ МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД

В. Е. Боликов, С. А. Рыбак, А. В. Третьяк

В практике известны две технологические схемы проходки стволов — совмещенная и параллельная. Наибольшее распространение получила совмещенная схема в России и странах СНГ. Во время проходки обуривается одна заходка в стволе на глубину 4 м, взрывается, убирается порода, опускается опалубка и заливается бетон. По статистике, доля совмещенной технологической схемы проходки составляет 95 — 98 %. Эта схема и применяемое в ней оборудование позволяют получить стабильную технологическую скорость проходки ствола 75 м в месяц, при высоком уровне организации работ достигается и 100 м. В зарубежной практике наибольшее распространение получила параллельная схема проходки стволов, и ее доля составляет 85 — 90 %.

Многолетней практикой строительства подземных сооружений созданы технологические схемы проходки и крепления стволов в различных горно-геологических условиях. Все они успешно использовались на Донских хромитовых месторождениях до глубины разработки 550 — 600 м. Строительство подземных сооружений на достигнутой глубине показывает, что проходка по совмещенной схеме в тектонически напряженном горном массиве приводит к достижению высокого уровня напряжений на контуре крепи вплоть до разрушающей величины. Согласно действующему СНиП-II-94-80 «Подземные горные выработки», уровень напряжений в крепи на период окончания строительства капитальных подземных сооружений (стволов, камер) не должен превышать 40 % от предельной несущей способности крепи.

Комплекс натурных исследований по формированию напряжений в крепи стволов проведен на шахтах Донского ГОКа, где горный массив вмещающих пород представлен скальными породами с отсутствием связи между блоками по трещинам. Характерной особенностью данного месторождения является неравномерное поле напряжений, действующее в массиве, где ниже 500 м уровень напряжений превышает прочностные свойства горного массива, т. е. массив находится в запредельном состоянии и приобретает блочный дискретный характер деформирования. В результате, вокруг подземных выработок, сооружаемых по традиционным схемам без учета и нейтрализации этого фактора, образуется обширная область нарушенных пород, перешедших в разуплотненное состояние. В массиве в этой области проявляются блоковые подвижки, вызывающие неравномерное сосредоточенное нагружение крепи, что создает серьезные трудности в обеспечении устойчивости на стадиях строительства и эксплуатации. Установленные закономерности являются общими и характерными для других месторождений, они подтверждены моделированием и могут быть использованы на месторождениях с аналогичными условиями.

Инструментальные измерения напряжений проводились на шахте имени Десятилетия независимости Казахстана (ДНК) Донского ГОКа в натурных условиях методом щелевой разгрузки на большой базе в процессе проходки стволов Вспомогательный и Клетевой. В первоначальном напряженном состоянии массива горных пород шахтного поля присутствуют значительные компоненты тектонических напряжений. Еще одна особенность — достаточно высокая анизотропия тектонических напряжений, выражающаяся в том, что величины горизонтальных тектонических напряжений, действующих по двум главным взаимно перпендикулярным направлениям, отличались в 1,5 раза и более [1]. Вследствие анизотропии первоначальных напряжений в массиве горных пород в бетонной и тюбинговой крепях клетевого ствола напряжения распределились по периметру ствола также неравномерно. В отдельных горизонтальных сечениях разница между минимальными и максимальными величинами достигла 2-кратного значения и явилась одной из причин разрушения крепи клетевого ствола в 1984 г.: в течение двух суток пройденный и закрепленный бетонной крепью ствол был разрушен с глубины 420 м до 620 м (до забоя), причем разрушение ствола началось от забоя и остановилось на глубине 420 м.

Измеренные напряжения дают возможность проследить в целом по всем стволам изменение максимальных напряжений с глубиной. До глубины 450 — 500 м максимальные напряжения в бетонной крепи не превышают 10 МПа и вариация их находится в пределах 4 — 10 МПа. Ниже 500 м наблюдается резкий рост напряжений. Так, при увеличении глубины до 500 м наблюдается резкий рост максимальных напряжений в 2,0 — 2,5 раза, и на глубине 610 м они уже достигают почти предельной величины — 22 МПа ($\sigma_{пред}$ = 26 МПа) (рис. 1). По всем другим стволам (скиповой, вспомогательный и вентиляционный) на шахтах ДНК и Молодежная (скиповой и вентиляционный) наблюдается аналогичная картина — до глубины 450 — 550 м напряжения в крепи находятся в пределах 5 — 10 МПа, а далее достигают величины, близкой к пределу прочности крепи [1].

Таким образом, при проведении стволов по совмещенной схеме в тектонически напряженном горном массиве бетонная крепь исчерпала свою несущую способность на глубине 550 — 600 м.

Было принято решение крепить клетевой ствол с глубины 420 м чугунными тюбингами с толщиной спинки 40 и, позднее, 60 мм. На всех участках и при этой крепи наблюдается харак-

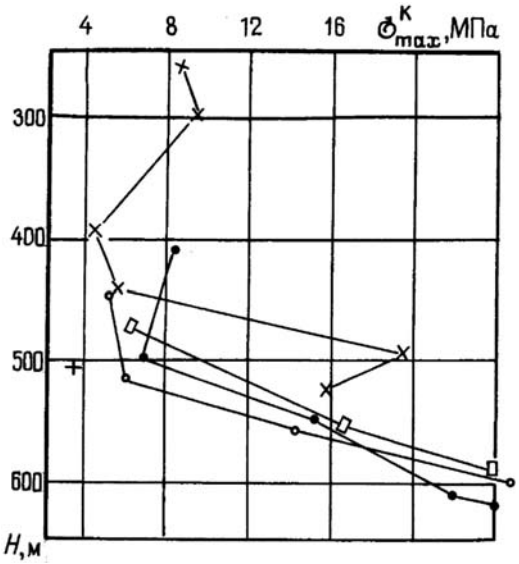


Рис. 1. Изменение напряжений в бетонной крепи вертикальных стволов шахты Центральная

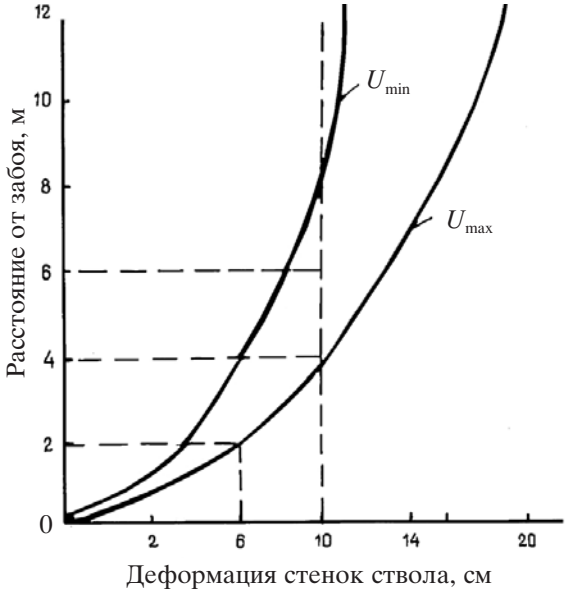


Рис. 2. Деформации стенок незакрепленного ствола в процессе проходки

терная анизотропия поля напряжений по периметру крепи в чугунных тюбингах, согласованная с направлением максимальных напряжений в массиве горных пород. На основании этих данных установлено, чем мощнее крепь, тем выше уровень максимальных напряжений, причем уровень максимальных напряжений в монолитном бетоне и чугунных тюбингах достигает большой величины, превышающей нормативную прочность и близкой в отдельных случаях к разрушающей.

По данным графиков смещения породных стенок ствола в процессе проходки получена зависимость деформаций стенок незакрепленного ствола от расстояния до груди забоя (рис. 2). Максимальные деформации наиболее интенсивно проявляются до 6 м от забоя ствола и составляют 70 % полных деформаций (14 см). Таким образом, формирование напряжений в крепи происходит неравномерно по периметру ствола и максимальное их направление перпендикулярно максимальному напряжению, действующему в массиве горных пород.

В крепи напряжения достигают максимальной величины на расстоянии 25 — 28 метров, то есть на расстоянии около 3 диаметров ствола от груди забоя. Фактические напряжения в отдельных кольцах: $\sigma_{сж.макс}$ = = –386 МПа, $\sigma_{сж.мин}$ = –250 МПа и $\sigma_{растяж.\ сред}$ = 40 ÷ 70 МПа, что превышает расчетные сопротивления для чугуна СЧ-21-40 и близко к предельным.

Необходимо отметить, что все аварии и деформации крепи стволов на шахте Центральная происходили при рассечке стволов с горизонтами или ствола с камерой. Так, ранее упомянутая авария при разрушении бетонной крепи клетевого ствола шахты Центральная на протяжении 200 м произошла сразу после проходки сопряжения гор. –320 м, следующая авария произошла в этом же стволе в период проходки с креплением чугунными тюбингами при рассечке сопряжения –400 м. В скипо-клетевом стволе деформация бетонной крепи произошла при рассечке дозаторной камеры на гор. –220 м. Трещины в тюбингах клетевого ствола образовались в трех кольцах ниже гор. –400 м (№ 340, 341, 342). Анализируя разрушение тюбингов по периметру ствола, можно заметить, что оно происходит с определенной закономерностью. Наибольшее разрушение тюбингов произошло в направлении, перпендикулярном действию максимальных напряжений в горном массиве.

Таким образом, в тектонически напряженном горном массиве нагружение крепи в процессе проходки ствола происходит неравномерно по периметру ствола при любом виде крепления. При совмещенной схеме проведения ствола нагружение крепи ствола происходит неравномерно в зависимости от расстояния от забоя и максимальной величины эти напряжения достигают на расстоянии около трех диаметров ствола. Причем максимальная величина напряжений может быть близка к пределу прочности крепи, что приводит к ее деформации или разрушению.

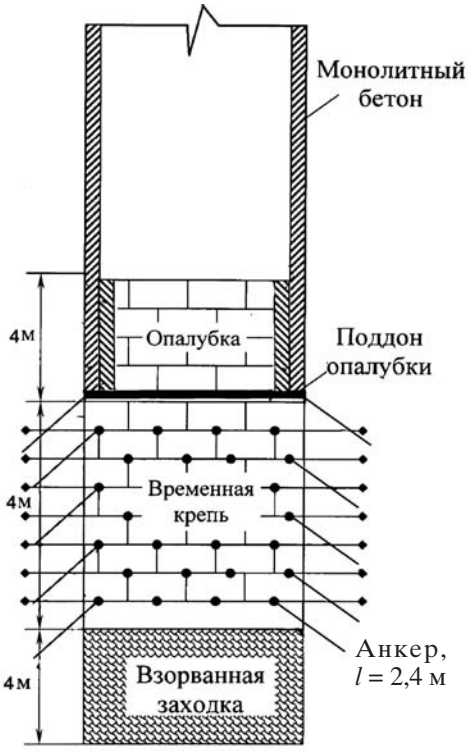


Рис. 3. Комбинированная схема проведения и крепления ствола с применением монолитного бетона (опалубка l = 4 м)

Опыт проведения стволов в тектонически напряженном горном массиве на рудных шахтах показывает, что сооружение стволов по совмещенной схеме приводит к уровню напряжений, близкому или выше предельно допустимого для крепи. В период строительства крепь ствола, рассчитанная на полный срок существования шахты, исчерпывает свою несущую способность. В период ведения очистных работ возникают дополнительные нагрузки от влияния очистных работ, поэтому необходимо изыскать другую схему проведения стволов в тектонически активных районах. Сегодня наши шахтостроители не готовы перейти на параллельную схему проходки стволов из-за отсутствия технического оснащения. Поэтому полученный материал дает основание для разработки новой технологической схемы проходки вертикальных стволов в тектонически активных районах — комбинированной. Параметр предлагаемой технологии вытекают из полученных данных при проходке стволов по совмещенной технологии.

Из графика на рис. 2 видно, что крепь испытывает максимальные деформации в раннем возрасте после ее возведения на расстоянии $U_{max} = 8 \div 9$ м от забоя ствола. Сущность новой комбинированной технологической схемы проходки стволов будет заключаться в том, чтобы крепь ствола возводилась на расстоянии 8 — 9 м от забоя. Пользуясь зависимостью на рис. 2, можно четко установить, что уровень напряжений в крепи будет составлять не более 30 % ее несущей способности (рис. 3). При комбинированной технологии крепление временной крепью анкерами производится с опережением груди забоя ствола и массив пород не успевает разгрузиться в полной мере, что должно исключить образование вывалов в приконтурном массиве.

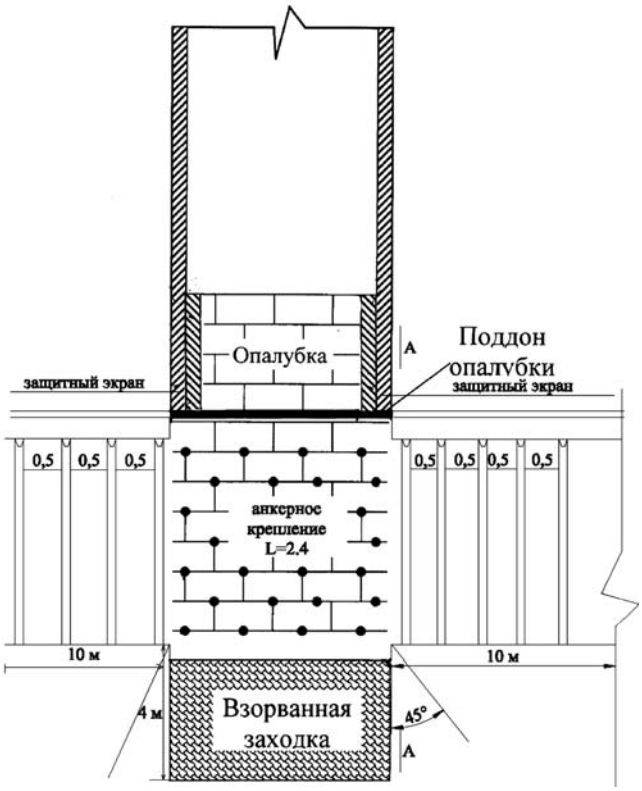


Рис. 4. Порядок проведения и крепления сопряжения при комбинированной схеме проходки ствола

Наиболее сложным узлом при проходке стволов является сопряжение с горизонтом; при рассечке сопряжения напряжения в примыкающей части ствола увеличиваются в 1,6 — 1,8 раза [3] за счет большой площади обнажения. Принцип рассечки сопряжения заключается в создании условий минимального деформирования окружающего массива пород за счет применения опережающей анкерной крепи быстрого закрепления (рис. 4).

Таким образом, применение комбинированной схемы проходки в тектонически напряженном горном массиве позволит обеспечить устойчивость ствола, закрепленного монолитным бетоном на полную глубину проходки 1200 м.

Литература

1. *Боликов В. Е., Константинова С. А.* Прогноз и обеспечение устойчивости капитальных горных выработок. — Екатеринбург: УрО РАН, 2003. — 374 с.

2. Шахтное и подземное строительство 4.2 Технология строительства вертикальных стволов.: Учеб. пособие / Шахтинский институт ЮР-ГТУ. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2001. 260 с.

3. *Булычев Н. С., Фотиева Н. Н., Стрельцов Е. В.* Проектирование и расчет крепи капитальных выработок. — М.: Недра, 1986, 288 с.

УДК 622.34.013.004.12

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НА ОАО «КОМБИНАТ «МАГНЕЗИТ» В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА РУДНОЙ БАЗЫ

Ю. В. Лаптев, Р. С. Титов

Открытые горные работы ведутся на Карагайском, Мельнично-Паленихинском и Березовском карьерах (рис. 1), которые выбывают из эксплуатации, соответственно, в 2010, 2015 — 2018 и 2018 — 2021 годах. В резерве остается лишь Ельничный карьер с весьма малыми запасами руды, высоким средним коэффициентом вскрыши и низким выходом высших сортов руды (табл. 1). Вскрышные и добычные горные работы на всех действующих карьерах производятся уступами высотой 10 — 12 м, а при добыче магнезита при его пологопадающем залегании и при наличии карстов подуступами 5 — 6 м с целью снижения потерь, разубоживания руды и увеличения выхода высших сортов (МИ и МШ).

При разработке магнезитовых залежей невозможно визуально разделить марки сырого магнезита, что вызывает необходимость увеличения объемов эксплуатационной разведки и, в частности, опробования руды и

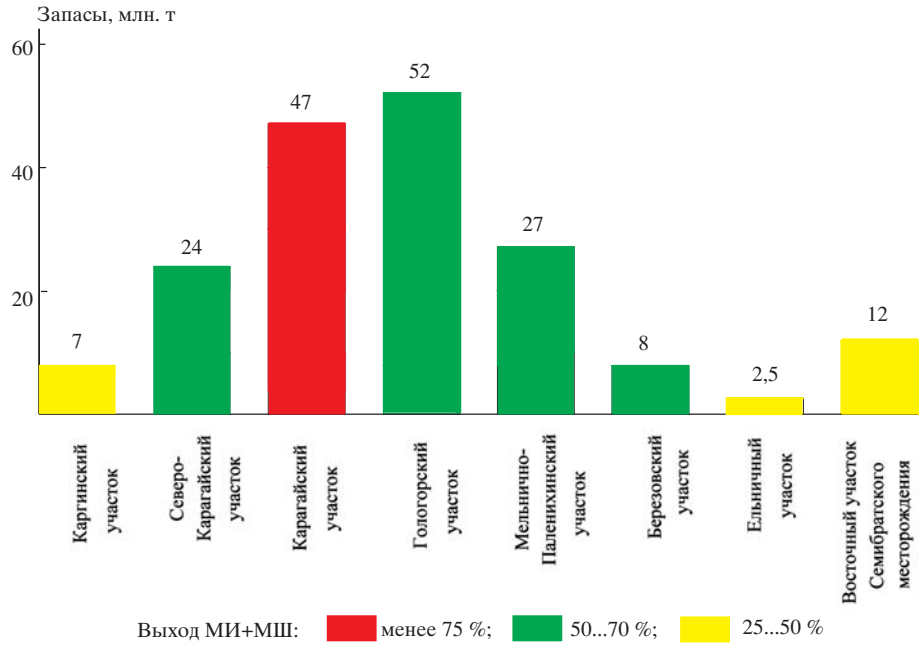


Рис. 1. Запасы и качество сырья на объектах (участках и месторождениях магнезита) текущей и перспективной минерально-сырьевой базы ОАО «Комбинат «Магнезит»

Таблица 1

Обобщенные данные действующих карьеров на 01.01.2007

Карьер	Руда, тыс. т	Выход марок ММИ+ММШ, %	Вскрыша, тыс. $м^3$	Средний коэффициент вскрыши, $м^3/т$
Карагайский	3500	52	720	0,2
Мельнично-Паленихинский	8456	43	17670	2,09
Березовский	7209	38,5	18333	2,543
Всего	19165	43,0	36723	1,92
Резерв				
Ельничный	2710	33	13770	5,27

анализов для надежного разделения их в рудном массиве и в развале взорванной горной массы для последующей селективной погрузки и в технологических потоках на ДОФ.

Увеличение выхода магнезитового сырья высших марок в процессе добычных работ становится особенно актуальным при вовлечении в открытую разработку участков месторождения со значительно более низкими их исходными (геологическими) значениями (карьеры: действующие Мельнично-Паленихинский, Березовский и перспективные Северо-Карагайский, Ельничный, Восточный участок Семибратского месторождения).

Вследствие выбытия из эксплуатации Карагайского карьера в 2010 — 2012 гг. резко, до 35 — 37 %, снижается выход руды высших (ММИ и ММШ) сортов. Разнос южного борта с целью добыть 6,2 млн. т богатой руды возможен только к 2016 году из-за ограничений, накладываемых скоростью понижения вскрышных работ не более 30 — 40 м/год, общей производственной мощностью по вскрыше в пределах 8,3 млн. $м^3$/год, а также более высокой себестоимостью открытой добычи 1 т руды по сравнению с подземной (в 1,55 раза), а с учетом дисконта (опережения вскрышных работ в среднем на 5 лет) — до 2 раз. Частично повысить качество сырья возможно вводом в эксплуатацию по безвзрывной технологии законсервированного участка западного борта Карагайского карьера с запасами руды 0,75 млн. т, а также проектной проработкой изменения границ и календарного плана развития горных работ на действующих Мельнично-Паленихинском и других карьерах.

Выход высококачественного магнезита (марки ММШ+ММИ) рассчитан по методике, разработанной ИГД УрО РАН в 1992 г. [1, 2]. На рис. 1 представлена диаграмма распределения запасов магнезита марок ММШ+ММИ на саткинской группе месторождений. Для получения более полной картины изменения качественного состава руды в пространственном поле каждого из участков проанализированы данные детальной разведки Саткинской группы месторождений как по простиранию оруденения, так и по вертикали. Последовательность расчетов:

— по данным геологических разрезов в качестве исходных данных принимались абсолютные отметки подсечения скважинами висячего и лежачего боков рудных тел, вертикальные мощности рудных тел, средние содержания CaO и SiO_2 в рудных пересечениях скважин;

Гор-т	ЮЗ								Разрез по линии							СВ	Итого по горизонту
	55	55а	56	56а	57	57а	58	58а	59	59а	60	60а	61	61а	62	62а	
460-448					31										22		30
448-436															18		18
436-424		84											55		47	66	64
424-412	63	68	46		41	43							55		47		53
412-400	63	62	44		43	43							67				52
400-388	63	52	35	43	63	41	47	26	58	65	43	39	58		93		50
388-376	61	68	29	42	66	40	44	37	75	58	51	43	39		93		56
376-364	58	64	26	43	71	21	55	51	77	62	33	82			93		62
364-352				88		57	60	56	74	42	59	82					65
352-340			71	46	73	64	56	64									60
340-328	83	54	57	49	73	68	56										59
328-316	83	45	56	45													52
316-304		45	52	41													50
Итого по разрезам	64	61	49	49	65	55	56	49	77	58	43	49	52	-	71	66	Итого по участку 56

Условные обозначения

- выход марки МШ + МИ > 75% ;
- выход марки МШ + МИ 25 -50% ;
- выход марки МШ + МИ 50 -75% ;
- выход марки МШ + МИ < 25% .

Рис. 2. Прогнозируемый выход марок магнезита на Березовском участке Саткинского месторождения

— выполнена разбивка подсечений рудных тел по проектным горизонтам;

— рассчитаны средневзвешенные по горизонтам и скважинам значения качественных показателей CaO и SiO_2;

— на основе ранее разработанной методики получены значения выхода высококачественного магнезита, а также коэффициента основности K_o = CaO/SiO_2 по каждому проектному горизонту и геологическому разрезу.

На основе разработанной методики построен график изменения выхода магнезита марок ММШ+ММИ в пространственном поле Березовского участка Саткинского месторождения (рис. 2).

Анализ результатов геометризации выхода магнезита марок МШ+МИ позволяет сделать следующие выводы:

— Карагайский участок месторождения, по данным пересчета запасов 2003 г., в целом представляет собой наиболее «богатый» по выходу высококачественного магнезитового сырья объект. Но дорабатываемые в настоящее время верхние горизонты отличаются пониженным выходом магнезита марок ММШ+ММИ. Средние и нижние горизонты участка, наоборот, представляют собой очень «богатую» по выходу высококачественного магнезита часть месторождения. Перспектива ее разработки является важнейшей составляющей инвестиционных проектов предприятия на перспективу.

— Гологорский и Мельнично-Паленихинский участки Саткинского месторождения по качественным характеристикам являются основой для получения качественного магнезита на период до 2015 г.

— Северо-Карагайский и Каргинский участки Саткинского месторождения, Березовское и Ельничное месторождения характеризуются более низким качеством минерального сырья.

Выявленная на ОАО «Комбинат «Магнезит» взаимосвязь между гранулометрическим и химическим составом магнезитового сырья позволяет рекомендовать технологию рудоподготовки для предобогащения забалансовых руд в отвалах некондиционного сырья. На балансе предприятия (сентябрь 2007 г.) находится около 5,3 млн. т заскладированного некондиционного сырья. Технология предусматривает следующую организацию работ:

— просеивание поступающего со складов некондиционного сырья горной массы на неподвижных или вибрационных грохотах;

— отгрузка надрешетного продукта на ДОФ-2 с последующей его переработкой в секции обогащения;

— складирование подрешетного продукта в отвалы пустых пород.

Как показали замеры гранулометрического состава на спецотвалах Волчьегорско-Степного карьера в 1995 — 1997 гг., выход класса +200 мм (надрешетный продукт) составляет 55 — 60 %. Выход концентрата ≈50 ÷ 55 %. Учитывая опыт предприятия по переработке некондиционного сырья, из концентрата можно получить только 50 % магнезитового сырья марки МШ+МИ. Внедрение технологии предобогащения может существенно погасить дефицит магнезита марки МШ+МИ на предприятии в 2009 — 2012 гг. (4 года) в размере от 50 до 100 тыс. т/год.

В течение последних лет годовой объем переработки магнезитового сырья на ОАО «Комбинат «Магнезит» составляет 2,79 — 3,15 млн. т. При этом на ДОФ-1 и ДОФ-2 перерабатывается магнезит высших марок МШ+МИ в количестве 1,74 — 2,02 млн. т/год и концентрат марки МИ от 0,48 до 0,57 млн. т/год (годовые отчеты ДОФ ОАО «Комбинат «Магнезит» 2004 — 2006 гг.).

Начиная с 2008 г. комбинатом планируется стабилизировать добычу рудной массы на уровне 3,1 млн. т/год с получением магнезита высших марок (МИ и МШ) 2,1 млн. т/год (в 2006 г. выпуск этих марок составил 2,017 млн. т при переработке 3,15 млн. т руды в год). Данное увеличение предполагается достичь на фоне снижения доли магнезита высших марок в добываемой рудной массе, обусловленного ухудшением горно-геологических условий. В данных условиях для обеспечения выпуска требуемого количества магнезита высших марок (2,1 млн. т/год) требуется разработка и внедрение комплекса мероприятий, основными из которых являются:

— управление качеством поступающего на ДОФ сырья путем формирования рудных потоков с карьеров и шахты;

— увеличение объемов сырья, поступающего на обогащение, за счет вовлечения в переработку сырой магнезитовой руды марки ММП;

— совершенствование систем опробования и контроля исходной руды и продуктов обогащения и создание на этой базе системы управления качеством выпускаемой продукции.

На возможность увеличения доли партий магнезита высших марок в поставляемой руде указывает наличие существенного «запаса» по содер-

жанию SiO_2 и CaO в партиях сырой руды, подаваемых в ЦМП. Среднее содержание SiO_2 и CaO в сырой магнезитовой массе в последние годы составляет, соответственно, 0,9 и 1,2 % для ММИ и 1,4 и 2,2 % для ММП. Часть сырой руды марки ММП, удовлетворяющей требованиям к руде марки ММИ, может быть направлена на ЦМП как ММИ, это существенно повысит выход последней, не превышая требуемых ограничений по содержанию SiO_2 и CaO, соответственно, 1,1 и 2,1 %.

Результаты расчета доли магнезита марки МШ+МИ, теряемого за счет завышения требований к качеству исходного сырья, показали следующее:

— в 2006 г. количество теряемого высококачественного магнезита марки МШ+МИ составило от 220 до 260 тыс. т;

— создавшийся дефицит можно погасить за счет подшихтовки 80 тыс. т магнезиального сырья марки МП к магнезиту марки МШ+МИ на перегрузочных карьерных складах ОАО «Комбинат «Магнезит».

Анализ данных предприятия о подаче магнезиального сырья с карьеров и шахты на ДОФ за 2006 — 2007 гг., а также о подаче высококачественного магнезита с ДОФ на ЦМП-2,3 показал следующее (табл. 2):

— систематическое завышение фактических показателей подачи сырья с карьеров и шахты по отношению к плановым годовым показателям;

— среднемесячное систематическое отклонение план — факт в подаче сырья по горно-обогатительному производству (ГОП) +17 907 т и высококачественного сырья +15 182 т можно поставить в соответствие с годовыми показателями подачи. Так, для подачи по ГОП высококачественного сырья за год фактическая подача сырья может превысить 150 — 180 тыс. т.

Анализ комплекса мероприятий по управлению качеством рудного сырья на ОАО «Комбинат «Магнезит» позволяет сделать следующие выводы:

1. Существующая технология и параметры качественного и количественного развития открытых и подземных горных работ на ОАО «Комбинат «Магнезит» не позволяют в сложившихся к настоящему времени горно-геологических и горнотехнических условиях обеспечить стабильную поставку на переработку необходимых объемов и качества минерального сырья. Так, в 2010 — 2012 гг. намечается снижение выхода высших сортов руды (ММИ и ММШ) с 42 — 36 до 35 — 39 %.

2. Для обеспечения выпуска требуемого количества магнезита высших марок (2,1 млн. т/год), необходимо выполнить комплекс организационно-технических мероприятий, включающих в себя следующее:

— совершенствование системы опробования магнезитового сырья в карьере на основе внедрения эксплутационной разведки обуриваемых блоков;

— внедрение системы непрерывного контроля качества исходной руды и продуктов обогащения на ДОФ;

— внедрение системы управления качеством выпускаемой продукции на базе геофизических методов опробования перерабатываемого магнезитового сырья;

Таблица 2

Отклонения план — факт объемов подачи магнезита на ОАО «Комбинат «Магнезит» в 2006 — 2007 гг.

Подача по предприятию	Среднемесячное отклонение, т	
	2006 г.	2007 г. (1-е полугодие)
Подача с Карагайского карьера:		
всего	+10 668	
МШ + МИ	+10 899	+9296
Подача с МПК:		
всего	+5547	
МШ + МИ	+2834	+1454
Подача с шахты Магнезитовая:		
всего	+1693	
МШ + МИ	+1449	+2200
Подача по ГОП		
всего	+17 907	
МШ + МИ	+15 182	+12 950
Подача сырья по цехам:		
всего	–925	
всего МИ по ЦМП-2,3	–190	
МИ по ЦМП-2	+9	
МИ по ЦМП-3	–199	—

— увеличение объемов сырья за счет вовлечения в переработку сырой руды марки ММП с вводом в действие дополнительной секции дробления и обогащения на ДОФ.

3. Среднемесячные отклонения факт — план на конкретных горных подразделениях ГОП имеют следующие значения (тыс.т):

Карагайский карьер	9,3 — 10,9
Мельнично-Паленихинский карьер	1,5 — 2,8
Шахта Магнезитовая	1,5 — 2,2
Всего по ГОП	13,0 — 15,2

В результате резерв увеличения добычи высококачественного сырья на ГОП за счет рациональной подачи магнезита марок МШ+МИ на переработку может составить за год 150 — 180 тыс. т.

4. Образующийся дефицит теряемого за счет завышения качества магнезита можно частично погасить путем подшихтовки магнезиального сырья марки МП в количестве 80 тыс. т к сырью марки МШ+МИ на перегрузочных карьерных складах.

5. Динамические графики изменения показателя отклонений план — факт на ЦМП-2,3 в 2006 г. носят периодический характер. Это обстоятельство может позволить управлять процессом обжига на ЦМП в температурном режиме с кальцинацией магнезитового сырья. Для реализации системы управления процессом обжига необходимо проведение НИР и комплекса инженерно-технических мероприятий.

6. Перспективным для ОАО «Комбинат «Магнезит» можно считать внедрение технологии предобогащения на складах некондиционного сырья, включающей в себя следующие операции: выявление взаимосвязи вещественного состава некондиционной рудной массы с ее крупностью; разделение рудной массы по содержанию полезного компонента или вредной примеси на кондиционную и некондиционную непосредственно в зоне ведения горных работ с использованием стационарных или передвижных грохотильных установок, транспортирование некондиционной составляющей в отвал, а кондиционной — на переработку для получения высококачественной продукции.

7. Сравнение двух наиболее реальных вариантов развития рудной базы на ближайшую перспективу (до 2018 г. включительно) показало, что по экономическим показателям по сравнению с простым увеличением добычи руды открытым способом на действующих карьерах наиболее предпочтителен вариант, основанный на организационно-технических мероприятиях по управлению качеством добываемого сырья с некоторым увеличением добычи руды.

Литература

1. Совершенствование методики планирования и прогнозирования качества добываемого сырья на комбинате «Магнезит» / Ю. В. Лаптев, А. В. Гальянов и др. // Огнеупоры. — 1993. — № 12. — С. 24 — 28.

2. *Лаптев Ю. В., Гальянов А. В.* Планирование выхода технологических сортов руды при оперативном управлении работами // Проблемы геотехнологии и недроведения (Мельниковские чтения): докл. Междунар. конф.: в 4 т.: т. 2. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1998. — С. 111 — 117.

УДК 621.271

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ

А. Ф. Булат, Э. И. Ефремов, М. С. Четверик

Одним из главных направлений повышения эффективности добычи руд на глубоких карьерах является применение циклично-поточной технологии горных работ. Ее широкому применению в Кривбассе и в других горнодобывающих регионах предшествовали работы, направленные на повышение качества дробления пород взрывом, разработку схем и систем вскрытия, применение перегрузочных пунктов, оборудованных дробилками и грохотами. Эти работы выполнялись ИГТМ НАН Украины, ДГИ (руководитель М. Г. Новожилов) совместно с ИГД МЧМ СССР (руководитель М. В. Васильев), в содружестве с другими научно-исследовательскими и проектными организациями. В 1983 г. за разработку и широкое промышленное внедрение прогрессивной циклично-поточной технологии на железорудных карьерах Кривбасса группа ученых и производственников (М. Новожилов, Э. Ефремов, М. Васильев, Е. Киковка, В. Колибаба, Н. Панчошный, И. Савицкий, А. Андрющенко, Б. Тартаковский, Г. Китач) была присуждена Государственная премия Украинской ССР.

Высокое качество дробления пород взрывом, достигнутое в настоящее время, позволяет рассматривать новые технологии добычи и переработки руд, при которых основной вид энергии, расходуемой на разрушение руды, был бы перенесен на химический вид энергии — взрыв. Исходя из достигнутых результатов в области взрывного разрушения горных пород могут быть усовершенствованы существующие и предложены перспективные технологии добычи и переработки руд.

Циклично-поточная технология. Исходя из гранулометрического состава взорванной горной массы, полученного при повышенном качестве дробления пород взрывом, процентное содержание кусков крупностью более 700 — 1200 мм минимально. Это позволяет применить различные технологические схемы.

1. Схемы циклично-поточной технологии с применением дробилок меньшего типоразмера, например ККД-1200 или ККД-900. Внутрикарьерный перегрузочный узел, оборудованный такой дробилкой, можно создавать как промежуточное звено между существующими или применять при подготовке нижних горизонтов.

2. Технологические схемы с применением внутрикарьерных перегрузочных пунктов, оборудованных только грохотами. Надгрохотный продукт может доставляться к существующим перегрузочным пунктам, оборудованным конусными дробилками.

3. Технологические схемы и схемы вскрытия горизонтов с созданием внутрикарьерных перегрузочных пунктов не через 100 — 120 м по глу-

бине, как осуществляют в настоящее время, а через 50 м с минимальной глубиной перехода. Это позволяет сократить расстояния автоперевозок с существующих 3,0 — 7,0 км до 1,0 — 1,5 км и тем самым сократить расходы тепловой энергии (дизельное топливо).

Поточная технология предусматривает полное исключение автомобильного транспорта, т. е. тепловой энергии. При этом расходы энергии увеличиваются с одной стороны электрической (на конвейерный транспорт), а с другой — химической (на повышение качества дробления пород взрывом). Она может применяться на отдельных участках карьера с применением самоходных перегружателей, оборудованных грохотами или дробилками ККД-1200 или ККД-900. Такую технологию целесообразно применять для разноса временно нерабочих бортов, которые сформированы практически на каждом карьере ГОКов Кривбасса.

Технология предобогащения руды в карьерах. На карьерах Кривбасса производят добычу нескольких сортов руд, которые имеют разную степень обогатимости и содержание полезных и вредных (например серы) компонентов. Эти сорта руд могут располагаться не только на отдельных участках фронта работ, но и в пределах взрывного блока. Переход к экскаваторам с ковшами вместимостью 8 — 12 $м^3$ и выше приводит при экскавации к смешиванию и разубоживанию руд. Поэтому экономически целесообразно выделить нерудные породы непосредственно в карьере. При этой технологии применяют дополнительные технологические процессы: механическое дробление и магнитную сепарацию. Применение технологии предобогащения окисленных руд в карьерах позволило бы обеспечить металлургию сырьем на долгие годы без необходимости интенсивного понижения горных работ.

Технология интенсивной взрывной рудоподготовки и самоизмельчение. Эта технология является наиболее перспективной, поскольку нет необходимости в капитальных вложениях, а требуется только высокая техника ведения взрывных работ. Основой этой технологии является высокий удельный вес во взорванной массе фракций 0 — 200 мм — более 80 %. Куски размером >400 мм составляют 3,7 %. Эта технология может осуществляться по двум схемам. Первая: взрывное разрушение — крупное механическое дробление в карьере — самоизмельчение; вторая: взрывное разрушение — самоизмельчение. При этой технологии повышается содержание во взорванной руде фракций 0 — 100 мм, а интенсивное взрывное разрушение приводит к образованию микротрещин и, как результат, повышается эффективность механического дробления и измельчения. Следует отметить, что в зарубежных горнодобывающих компаниях технология взрывное разрушение — крупное механическое дробление — самоизмельчение является генеральным направлением снижения энергетических затрат и повышения качества концентрата.

Таким образом, достижение высокого качества дробления пород взрывом как за счет повышения удельного расхода ВВ, так и путем совершенствования технологии взрывных работ позволяет уменьшить затраты электрической энергии на механическое дробление и измельче-

ние. На этой основе могут быть усовершенствованы существующие технологии (циклично-поточная) и применены перспективные: поточная; технология предобогащения руды в карьерах; технология интенсивной взрывной рудоподготовки и самоизмельчения. При этих технологиях могут быть ликвидированы отдельные технологические процессы, исключено применение тепловой энергии в карьерах, увеличено количество и повышено качество концентрата.

Литература

1. *Ефремов Э. И.* Современные тенденции в использовании взрывчатых веществ на карьерах Украины / Э. И. Ефремов // Металлургическая и горнорудная промышленность. — 2007. — № 6. — С. 79 — 82.

2. Влияние дробления пород на эффективность технологических процессов открытой разработки / М. Ф. Друкованый и др. — Киев: Наукова думка, 1974. — 272 с.

3. *Четверик М. С.* Технологические параметры дробильных установок при циклично-поточной разработке крепких скальных пород / М. С. Четверик // Горный журнал. — 1979. — № 12. — С. 15 — 20.

4. *Римарчук Б. І.* Розробка ресурсозберігаючої технології підземної відбійки міцних і надто міцних залізних руд: автореф. дис. … д-ра техн. наук / Б. І. Римарчук; ИГТМ НАН Украины. — Кривий Ріг, 2007.

5. *Четверик М. С.* Технология предобогащения руды в карьерах как перспективное направление добычи бедных руд / М. С. Четверик, Е. В. Бабий // Форум гірників 2007: матеріали міжнародної конференції 2007р. — Дніпропетровськ: НГУ, 2007. — С. 246 — 253.

УДК 622.271.3.002.5

ТЕНДЕНЦИИ ГОРНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ КАРЬЕРОВ

В. Ф. Столяров

Этап комплексно механизированного горного производства начался в середине XX в. К концу 1980-х гг. он распространился на большинство горнодобывающих предприятий. Были разработаны и внедрены передовые способы организации производства. Выполнение процессов обеспечивалось широким ассортиментом технических средств, обладающих высокой надежностью и максимально приспособленных к условиям эксплуатации. При осуществлении способов горного производства технические средства объединялись в комплексы, представляющие собой новую ступень внутреннего развития средства труда. Как целое комплекс обладает собственными (интегративными) свойствами, отсутствующими у его частей [1].

К концу столетия резервы экстенсивного развития комплексной механизации карьеров были исчерпаны. Пришло время нового качественного скачка. В XXI в. его источником станет противоречие между орудием труда и трудовыми ресурсами. Качественный скачок произойдет тогда, когда мускульная сила и разум отдельного человека перестанут быть средством труда. Субъект управления объединится с орудием труда. Это будет промышленный робот-автомат, опосредующий в своей программе коллективный разум людей. Разрешение противоречия вызовет цепь глубоких преобразований в структуре горно-промышленных систем [2].

В научно-технической литературе прогнозируемый этап развития получил название комплексно автоматизированное производство. Его осуществление, начавшееся в 90-х гг. прошлого столетия, включает два основных этапа. На первом (современном) этапе формируется система автоматизированно-ручного субъекта управления (АРСУ). Она представляет собой промежуточную стадию развития системы субъекта управления (см. рисунок). Поэтому в ее структуре есть элементы ручного и автоматизированного управления. Вместе с традиционной для горного дела системой ручного субъекта управления (РСУ) в каче-

Этапы развития субъекта управления горного производства

стве ведущей противоположности взаимодействия она образует диалектическую пару.

К новым элементам АРСУ технологических процессов относятся: глобальная система установки и дистанционная связь. В процессах бурения глобальная система установки открывает большие возможности для предварительного программирования и точных схем расположения скважин. Дистанционная связь применяется в основном для передачи оперативной информации о скорости бурения, производительности, простоях бурового оборудования в управление предприятия. В процессах экскавации некоторые операции осуществляются автоматически, вместо ручного управления тормозов и переключения передач подается команда голосом, эксплуатационные показатели проектируются на окна кабины. В результате уменьшается различие в квалификации машинистов экскаваторов, оптимизируется производительность оборудования.

К новым элементам АРСУ вспомогательных процессов относятся мониторинг и предупредительная диагностика. В первую очередь это связано с тем, что технические средства горного производства все более усложняются и требуют огромных затрат на приобретение и эксплуатацию. Последствия их поломки могут быть катастрофическими для производства продукции, здоровья и безопасности людей. Предупредительная диагностика включает сбор информации о состоянии машины, ее анализ и прогнозирование неисправности отдельных узлов, что позволяет заменять их, не дожидаясь выхода из строя. Фирма «Бьюсайрус» создала сеть дистанционных знаний (RKN). Она немедленно передает сигналы о неисправности оборудования на станцию обслуживания. Радиосвязь расширенного спектра действует на расстоянии 8 км между передающими станциями. Сеть спроектирована для работы на офисных персональных компьютерах в стандартной сети интернет. Она проста в обращении и обеспечивает обслуживающему персоналу доступ к информации, необходимой для анализа состояния машины. Фирма KMG ввела систему мониторинга состояния механизма (VHMS), которая содержит большой выбор данных для предупредительной диагностики оборудования [3].

В технологических процессах, связанных с перемещением горной массы, отмечается тенденция повышения надежности и снижения потребности в техобслуживании карьерных автосамосвалов. Узлы проектируются для большого срока службы и быстрой замены. Их состояние во время эксплуатации контролируется бортовыми компьютерами, которые используются также для регулировки мощности и предупредительной диагностики. Компанией «Mincom» разработана электронная документация по обслуживанию автосамосвалов (EMD). Она содержит всю информацию о запасных частях, необходимых для поддержания эффективной работы оборудования и замены ремонтируемых узлов. Новинкой в этой области стало создание электронного маркетинга, объединяющего несколько предприятий. Эта тенденция имеет все основания для дальнейшего развития, поскольку оптовая закупка оборудования и запасных частей у изготовителей способствует экономии денежных средств [3].

Прогрессивная тенденция развития предполагает стандартизацию систем автоматизированного управления и обслуживания основных производственных процессов. Эта задача будет решена на втором этапе развития горного производства в процессе формирования системы АСУ. В ее структуре уже не будет элементов ручного управления. По прогнозным данным можно ожидать появления здесь таких элементов, как автономные технические комплексы (самонастраивающиеся роботы) и спутниковая система навигации (GPS) [4]. По мнению фирмы «Либхер», автономный автосамосвал без водителя может быть сконструирован и изготовлен уже сейчас благодаря наличию компьютеров, дистанционной связи и глобальной системы установки. Сначала самосвал-робот, внешне не похожий на знакомые нам машины, будет использоваться в экстремальных ситуациях или опасных условиях разработки, а затем полностью автоматизированный автомобильный транспорт начнет широко распространяться на карьерах [3].

На первом этапе развития, когда в новообразованной системе АРСУ еще количественно преобладает ручное управление, она играет пассивную роль во взаимодействии с существующей системой РСУ. Постепенно доля автоматизированного управления будет возрастать, и на втором этапе развития оно уже будет количественно преобладать над ручным управлением. Полностью сформировавшись и широко распространившись, АРСУ начнет играть активную роль во взаимодействии с формирующейся системой АСУ. Основным направлением совершенствования технического средства тогда станет создание и применение адаптивных или самоприспосабливающихся к динамике производственных процессов систем автоматического управления (см. таблицу). При добыче и первичной переработке горной массы все производственные процессы взаимосвязаны. Поэтому полная автоматизация отдельных субъектов управления в горном производстве не имеет

Классификация адаптивных систем автоматического управления

Тип системы	Процесс адаптирования	Цель адаптирования
Параметрическая (самонастраивающаяся)	Автоматическое изменение характеристик системы	Компенсация действующих на систему возмущений в результате случайно изменяющихся внешних и внутренних условий функционирования
Структурная (самообучающаяся)	Автоматическое изменение алгоритма функционирования по мере накопления опыта управления	Обеспечение оптимального поведения системы при решении возникающих задач
Структурно-параметрическая	Автоматическое подключение или отключение отдельных подсистем, изменение связей между ними, схемы их соподчинения, характеристик системы	Компенсация внешних воздействий среды и оптимизация процессов управления

смысла. Она должна осуществляться на уровне горнодобывающего предприятия в целом.

Кроме уже отмеченных тенденций полной автоматизации горного производства, есть еще две: автоматизация проектирования и теоретизация горной науки. Пока что автоматизация проектирования отстает от автоматизации управления. Попытка создания САПР в 80-х гг. XX в. не оправдала ожиданий из-за отсутствия теоретической базы. Системное программирование предполагает наличие системного описания горного производства. Их нельзя заменить простой суммой свойств и показателей объектов. Главная предпосылка полной автоматизации производства заключается в разработке теории развития горно-промышленных систем. Применение ее положений и законов на практике позволит изменить структуру отражательного опыта, систематизировать его. Тогда можно будет вернуться к разработке программного обеспечения САПР на базе современного компьютерного оборудования. Стандартные пакеты прикладных программ позволят ускорить процесс проектирования, сократить штат проектировщиков, улучшить качество проектов. В более отдаленном будущем проектирование будет выполняться непосредственно на предприятии в режиме прямой и обратной связи между оперативной информацией и проектными данными. Это позволит совместить автоматизированные субъекты управления, передачи сообщений и проектирования в головном компьютере предприятия.

Литература

1. *Столяров В.Ф.* О генезисе и развитии транспортных систем на глубоких карьерах // Проблемы карьерного транспорта. Материалы междунар. науч.-техн. конф. (3 — 4 декабря 2002 г.) — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2002. — С. 178 — 183.

2. *Столяров В.Ф.* Роль энергетических ресурсов в развитии горного производства // Энергосбережение на карьерном автомобильном транспорте: Материалы междунар. науч.-техн. семинара. (24 — 26 июля 2003 г.) — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2003. — С. 215 — 219.

3. Earthmoving tomorrow // Mining Magazine. — 2000, Vol. 183. — № 2. — P. 54 — 64.

4. Повышение конкурентоспособности горнодобывающих предприятий на основе внедрения оборудования спутниковой навигации (GPS-технологии) / А. Д. Сашурин // Известия Уральской гос. горно-геологической академии. Сер.: Горное дело. — 2000. Вып. 11. — С. 203 — 209.

УДК 622.271.333

ТЕХНОЛОГИЯ ОТСТРОЙКИ БОРТОВ И ОТКОСОВ УСТУПОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ТЕЙСКОГО КАРЬЕРА

С. М. Смирнов, А. А. Терещенков

Тейское месторождение железных руд находится в юго-восточной части Кузнецкого Алатау на границе Горной Шории и Хакасии. Открыто в 1930 г., приурочено к зоне Тейского разлома и локализуется в пределах развития брекчий смешанного состава. Генезис месторождения контактово-метасоматический. Его формирование происходило в результате контактового воздействия интрузий граносиенитов на дробленые осадочные и изверженные образования. В геологическом строении месторождения принимают участие осадочно-метаморфические и эффузивно-пирокластические образования верхнего протерозоя, кембрия и девона, прорванные интрузиями нижнего и среднего палеозоя. Месторождение отрабатывается открытым способом с 1966 г. по проекту Сибгипроруды. Тейский карьер нагорно-глубинного типа с отметкой поверхности западного борта +950 м и восточного +1120 м, проектная глубина 410 м. В настоящее время работы ведутся на гор. +700 м. Размеры карьера 1500 × 1300 м. Высота рабочих уступов 15 м, на предельном контуре 30 м и на экспериментальном участке горизонтов +790 ÷ +810 м (маркшейдерские разрезы 38 — 43) 60 м. Фактические углы откоса уступов 45 — 75°.

Схема разработки циклично-поточная. Для бурения взрывных скважин используются станки СБШ-250МН. На погрузке руды и породы применяются экскаваторы ЭКГ-5А, ЭКГ-8И, а для транспортировки руды и вскрышных пород — автосамосвалы БелАЗ-7548А и БелАЗ-7555В грузоподъемностью, соответственно, 42 и 55 т.

Дробление горной массы производится взрыванием блоков скважинными зарядами. Сетка скважин 5 × 5 и 6 × 6 м с количеством до 5 рядов. Масса заряда в скважинах до 900 кг при коэффициенте крепости пород по шкале Протодьяконова 10 — 14.

Характеристики горных пород на месторождении изменяются в зависимости от глубины залегания (табл. 1). По результатам многолетних наблюдений на Тейском месторождении выявлены 11 систем трещин (табл. 2). Известно [1], что наличие оперяющих Тейский разлом трещин субширотного простирания и, особенно, сочетание таких систем трещин с трещинами Тейского разлома при определенных условиях способствует осыпанию и обрушению уступов на отдельных участках карьера. Например, такое обрушение имело место в северной части карьера на горизонтах +1045 ÷ +970 м и в восточной части на горизонтах от +880 до +820 м.

В процессе разработки глубоких горизонтов Тейского карьера возникают серьезные трудности обеспечения устойчивости нерабочих уступов

Таблица 1

Изменение показателей горных пород с глубиной

Глубина отработки карьера, м	Степень		Коэффициент структурного ослабления	Плотность, кг/м^3	Сцепление, т/м^2	Угол внутреннего трения, град
	выветривания горных пород	трещиноватости горных пород				
0 — 50	Сильновыветрелые	Сильнотрещиноватые, чрезвычайно трещиноватые	0,77	2360	128,5	33
50 — 200	Слабовыветрелые	Среднетрещиноватые	0,35	2710	167,0	35
Ниже 200	Невыветрелые	Малотрещиноватые	0,40	2830	264,5	35

Таблица 2

Системы трещин, характерные для Тейского месторождения

№ системы	Азимут простирания, град	Азимут падения, град	Угол падения, град	Распространение трещин на карьере
I	250	340	60	Южная часть карьера
II	45	135	40 (20 — 55)	Южная часть карьера
III	120	210	65 (50 — 80)	Повсеместно
IX	220	310	52 (50 — 80)	Южная часть карьера, контакт с рудной зоной
X	164	254	58 (50 — 80)	Восточный борт карьера
XI	325	55	38 (30 — 45)	Восточная часть карьера
XII	25	115	37 (30 — 45)	Восточная часть карьера
XIII	80	170	70 (55 — 85)	Северная часть карьера
IX	140	230	38 (30 — 45)	Северная и восточная части карьера
X	0	90	4	Повсеместно
XI	180	270	5	Повсеместно

и сохранения берм. Чаще всего это связано с наличием в бортах уступов не обнаруженных ранее разрывных нарушений. Сказывается и отрицательное воздействие массовых взрывов, производимых вблизи проектного контура карьера.

Известно [2, 3], что конструкция нерабочих бортов карьера зависит от углов откоса уступов и их высоты, а также ширины и общего количества берм всех назначений. До 1992 г. при разработке Тейского месторождения параметры уступов и берм карьера строго регламентировались требованиями Единых правил безопасности, в связи с чем конструктивный угол наклона борта, отстроенного с учетом этих параметров, достигал фиксированного максимума и ни при каких обстоятельствах не

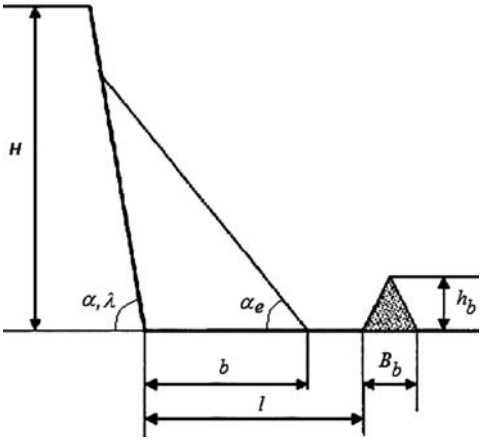
подлежал изменению даже в зоне разрывных нарушений, а также контактов рудного тела с вмещающими породами. Отстроенные откосы уступов со временем разрушались и ширина предохранительных берм сокращалась, а оставшаяся часть заполнялась осыпью. Очищать такие бермы технически невозможно. Такие борта необходимо было реконструировать и очищать бермы от осыпи, что требовало дополнительных затрат.

С вводом в действие Единых правил безопасности ПБ-03-498-02 [4] появилась возможность регулировать общий угол наклона борта, изменяя высоту нерабочих уступов и ширину предохранительных берм. Эти параметры можно принимать исходя из физико-механических свойств пород и геологической структуры законтурного массива. Появилась возможность придавать «гибкость» конструкции борта, реагирующей на изменения свойств горных пород, и сблизить значения конструктивного и расчетного углов наклона борта. В настоящее время, как правило, в качестве проектного принимается расчетный угол, а конструкция борта вписывается в его расчетный контур. При этом в полной мере учитываются природные свойства массива.

В 1982 и 1988 годах на Тейском карьере отмечены деформации массива на горизонтах от +910 до +880 м, в результате чего участок предохранительной бермы горизонта +910 м опустился на 2 м по маркшейдерским разрезам 48 — 49. С 1988 г. в районе оползня северо-восточного борта карьера за состоянием массива постоянно проводятся маркшейдерские наблюдения. Установлено, что смещение реперов по телу оползня происходит при проведении массовых взрывов, ведущихся в непосредственной близости от оползня. В 1994 г. при расчетах устойчивости откосов уступов и бортов карьера было установлено, что в северной и северо-восточной части карьера возможно клиновое обрушение массива горных пород и оползни при пересечении субмеридиональных трещин Тейского разлома оперяющими трещинами разрывных нарушений субширотного простирания.

При дальнейшем углублении карьера с 2003 г. с учетом тектонической и экологической ситуации на предприятии внедряется в производство технология упреждающего обрушения законтурного массива, осложненного разрывными нарушениями, и формирование 60-метровых откосов нерабочих уступов. Принятая технология отработки исключает обрушение, осыпание и образование оползней с течением времени. Так, например, при постановке уступов в предельное положение на северо-восточном участке гор. +790 м (маркшейдерские разрезы 3 — 41) по принятой технологии были обнажены четыре участка разрывных нарушений. Азимут простирания тектонических нарушений от 18 до 65°, а угол падения составляет 65 — 75°. Общая длина этих нарушений достигает 180 м, а ширина 25 м от верхней бровки откоса уступа.

При постановке нерабочих бортов уступов по применявшейся ранее технологии не исключено возникновение осыпи и даже оползневых деформаций. Поэтому для обеспечения безопасности горных работ на нижележащих горизонтах было принято решение продолжить



применение новой технологии с приведением опасных участков в безопасное состояние.

Выбирается наиболее рациональный вариант заоткоски, когда $\alpha \approx \lambda$ (см. рисунок). При подрезании откоса уступа разрывным нарушением продольного и согласного с откосом залегания объем разрыхленной породы при возможном обрушении разместится на площадке шириной b.

$$H\sqrt{K_{\text{р}}\left(\text{ctg}\alpha_{\text{е}} - \text{ctg}\lambda\right)\left(\text{ctg}\lambda - \text{ctg}\alpha\right)},$$

где H — высота уступа;

$K_{\text{р}}$ — коэффициент разрыхления, доли ед.;

$\alpha_{\text{е}}$ — угол естественного откоса, град;

λ — угол наклона плоскости ослабления разрывного нарушения, град;

α — угол заоткоски, град.

Для задержания падающих кусков породы на нижних горизонтах отработки Тейского карьера применяются предохранительные валы [3]. Высота предохранительного вала определяется из выражения

$$h_b = 2p^2(B_{\text{п}} - l),$$

где p — коэффициент восстановления нормальной составляющей скорости породного куска после отскока от поверхности бермы;

$B_{\text{п}}$ — длина пути на берме камня, падающего с откоса, м;

l — расстояние от нижней бровки уступа до предохранительного вала, м.

Ширина предохранительного вала B_b вычисляется по формуле

$$B_b = R\left(\frac{4v_{\text{н}}}{g\text{tg}\varphi k_2}\right)^{1/3},$$

где $v_{\text{н}}$ — скорость набегания куска на предохранительный вал, м/с;

g — ускорение свободного падения тела, м/с^2;

φ — угол откоса предохранительного вала, град;

k_2 — линейный коэффициент трения качения по горизонтальной поверхности, м;

R — средний приведенный радиус породного куска, м.

Скорость набегания куска на предохранительный вал определяем по формуле

$$v_н = \sqrt{v - 2glk_2/R},$$

где v — скорость движения куска породы по уступу.

Для горно-геологических условий Тейского карьера при расчете параметров предохранительного вала были приняты следующие показатели:

$$p = 0{,}3;\ \varphi = 36 \div 39°;\ g = 9{,}8\ м/с^2;\ B_п = 11{,}5\ м;\ l = 5\ м;$$

$$k_2 = 0{,}21 \div 0{,}26.$$

Таким образом, за счет применения технологии упреждающего обрушения опасных участков, учитывающей развитие разрывных нарушений, нерабочие борта уступов Тейского карьера приводятся в безопасное состояние. Сформированный предохранительный вал задерживает падающие куски породы и является защитным мероприятием, обеспечивающим безопасную работу на нижележащих горизонтах.

Литература

1. *Смирнов С. М., Бобрицкий М. В.* Влияние разрывных нарушений и естественной блочности на устойчивость восточного борта Тейского карьера, Горный журнал, 2001, № 7. С. 30 — 32.

2. *Галустян Э. Л.* Совершенствование конструкции нерабочих бортов карьеров, Горный журнал № 1 — 2, 1996 г. С. 93—98.

3. *Певзнер М. Е., Мозжухин А. В., Федоров Ю. И., Архипова С. Е.* Безопасность горных работ при разработке месторождений нагорного типа, Горный журнал, № 2, 1991 г. С. 17 — 18.

4. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом (ПБ 03-498-02), 2003 г.

УДК 622.788

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОКУСКОВАНИЯ УГОЛЬНЫХ И ТОРФЯНЫХ ШЛАМОВ

В. И. Бондаренко, П. И. Пилов, В. И. Мальченко

Украине ежегодно требуется более 20 млн. т каменного угля для бытовых и коммунальных нужд. При годовой добыче около 80 млн. т угольная промышленность едва удовлетворяет актуальные потребности твердотопливной электроэнергетики и металлургии страны. За десятилетия вблизи шахт и обогатительных фабрик накопилось более 120 млн. т угольных шламов, которые представляют собой вторичный топливный ресурс, однако его использование может быть реализовано для слоевого сжигания в бытовых и коммунальных целях только при эффективном окусковании шламов. Окускованное топливо обладает высокими теплоэнергетическими и механическими свойствами, в частности, достаточной механической прочностью, водостойкостью, термостойкостью. Слой такого топлива при сжигании имеет хорошую газопроницаемость, что обеспечивает достаточно полную степень сгорания даже при высокой зольности. Другим дополнительным топливным ресурсом являются бурые угли, применение которых также обусловлено необходимостью брикетирования. Известные технологии брикетирования в связи с применением нефтебитумного связующего дорогостоящие и энергоемкие.

В Национальном горном университете (г. Днепропетровск) разработана новая технология окускования вторичных топливных ресурсов и бурых углей. В ее основе лежат адгезионно-химические процессы, протекающие в вязкопластичных системах, образованных тонкодисперсными частицами ископаемых углей. Сущность адгезионно-химического окускования состоит в том, что при перемешивании и перетирании углистых и глинистых частиц происходит активизация поверхности каждой из частичек. При измельчении частиц Eh потенциал на их поверхности повышается в 8,3 раза. Электрозаряженность частиц растет с увеличением их дисперсности, что объясняется повышением удельной поверхности частиц, несущих электрические заряды. С увеличением Eh прочность окускованных образцов повышается в 4 — 5 раз (рис. 1). Полученные результаты по прочности *P* дают возможность с достаточно высокой степенью вероятности прогнозировать прочностные характеристики конечного продукта.

Петрографический состав шламов хвостохранилищ в Украине весьма разнообразен, поэтому для всестороннего анализа продуктов окускования был разработан паспорт исходного продукта, включающий в себя качественную и количественную характеристику угольной и зольной составляющих. Для примера приводим результаты анализа нескольких типов отходов, из которых было создано композиционное угольное топливо (табл. 1, рис. 2).

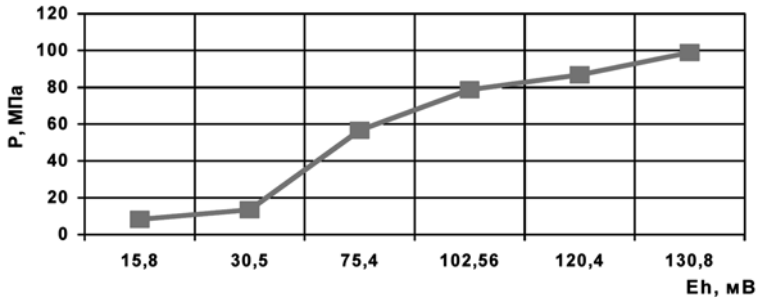


Рис. 1. Зависимость прочности на одноосное сжатие от заряженности частиц исходного материала

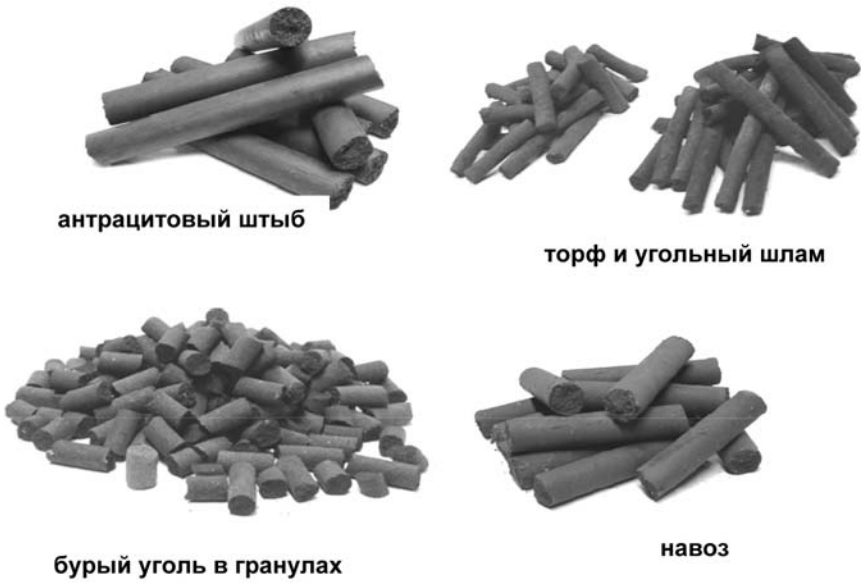


Рис. 2. Вид окускованного топлива, полученного на установках ХОТ-3 и ХОТ-31

На основании всестороннего исследования исходных продуктов разработана универсальная технология адгезионно-химического окускования угольных отходов с дифференцированным подходом к конкретному материалу или композиции с целью получения конечного продукта с необходимыми горючими и теплотворными характеристиками.

В качестве компонентов композиционного топлива можно использовать смесь каменноугольных и антрацитовых шламов, бурых углей, различного рода отходы, содержащие органические вещества, в том числе опилки, измельченную бумагу, а при необходимости и вяжущие вещества для обеспечения необходимой прочности брикетов.

Для реализации технологии разработано несколько модификаций установок для производства композиционного угольного топлива ХОТ-3 и

Таблица 1

Характеристика исходных материалов

Образцы	Гранулометрический состав, мм	Содержание частиц, %		Форма частиц		Физико-механические свойства
		глины	угля	глины	угля	
А (*шлам*)	–10,0 + 2,5	—	—	Чешуйчатая и близкая к округлой	Многогранная, сложная	Вязкий, влажность 17,2 %, не гидрофобный, имеет ярко выраженный блеск, хорошо формуется
	–2,5 + 1,0	—	—			
	–1,0 + 0,315	—	—			
	–0,315 + 0,05	14,13	28,43			
	–0,05	19,07	38,37	Близкая к форме шара		
	Всего	100				
Т (*штыб*)	–10,0 + 2,5	4,59	11,62	Многогранная, сложная	Многогранная, сложная	Рассыпчатый, влажность 8,0 %, гидрофобный, имеет выраженный черный цвет, хорошо формуется
	–2,5 + 1,0	6,52	16,52			
	–1,0 + 0,315	7,71	19,52			
	–0,315+ 0,05	7,86	19,91		Игольчатая (около 10 %), близкая к округлой	
	–0,05	1,63	4,13		Близкая к форме шара	
	Всего	100				
Г (*шлам*)	–10,0 + 2,5	0,68	3,18	Близкая к кубической	Многогранная, кубическая	Ближе к рассыпчатому, влажность 17,0 % гидрофобный, имеет ярко выраженный оттенок серого, формуется недостаточно хорошо
	–2,5 + 1,0	2,22	10,45		Кубическая, параллелепипедная	
	–1,0 + 0,315	8,90	41,95			
	–0,315 + 0,05	4,28	20,16	Чешуйчатая, округлая, близкая к форме шара		
	–0,05	1,43	6,75		Близкая к округлой	
	Всего	100				

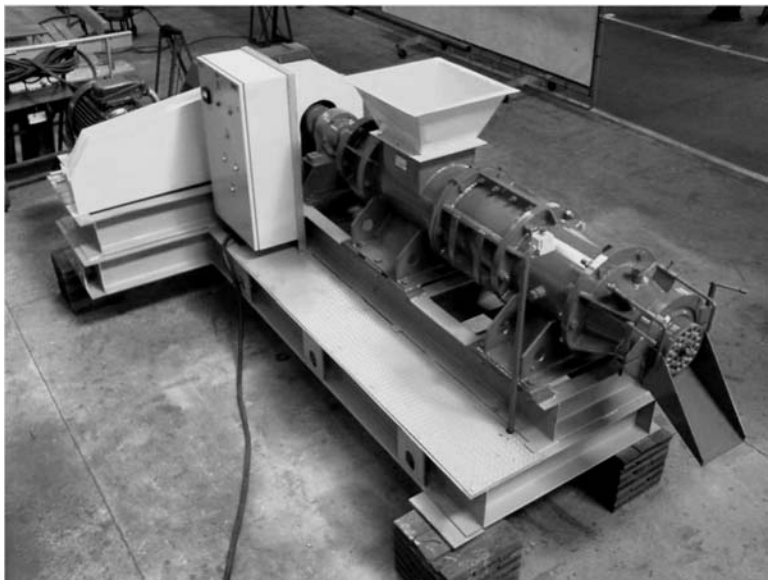


Рис. 3. Общий вид установки ХОТ-31м

ХОТ-31м [1 — 3], представляющие собой технологическую линию из трех последовательно установленных шнеков (рис. 3, табл. 2). В каждой ступени происходит раздавливание комков слежавшегося каменноугольного шлама, бурого угля и других компонентов шихты, необходимой для производства композиционного топлива, их перемешивание, в том числе и с добавками. Обработанная таким образом шихта в каждой ступени продавливается через фильеры с круглыми отверстиями. От ступени к ступени она приобретает все большую пластичность и однородность. Готовый продукт (см. рис. 2) выходит в виде цилиндрических стержней различного диаметра в зависимости от размеров фильеры от 10 до 30 мм.

Куски топлива, обладающие достаточной прочностью и не слипающиеся друг с другом, направляются на склад, где они твердеют и сохнут.

Таблица 2

Характеристики установок ХОТ-3 и ХОТ-31м

Тип установки	ХОТ-3	ХОТ-31м
Производительность, т/ч	1,0 — 1,2	5,0 — 5,4
Габариты, мм		
высота	3050	1500
длина	3350	4600
ширина	1600	2000
Количество ступеней	3	3/1
Диаметр шнека, мм	200	350
Мощность двигателя, кВт	15	45
Масса, кг	2100	3400

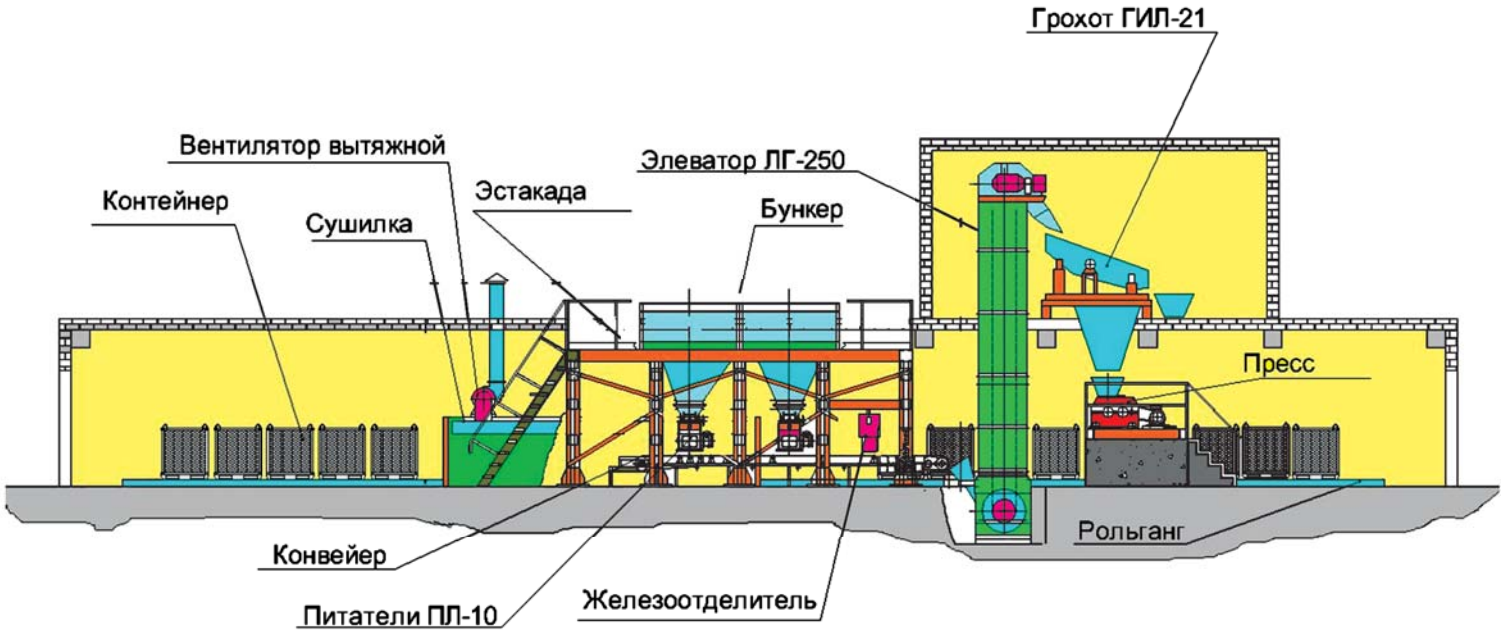


Рис. 4. Технологическая линия для изготовления композиционного угольного топлива, оснащенная установкой ХОТ-31

Сушка осуществляется за счет естественной вентиляции либо при подаче горячего воздуха или дымовых газов. В зависимости от условий этот процесс длится от нескольких часов до 2 — 3 суток. Технология окускования имеет невысокую энергоемкость — на тонну готовой продукции расходуется до 10 кВт-ч. Себестоимость передела составляет 25 — 30 гривен на тонну.

Новое топливо при использовании высокозольных каменноугольных шламов имеет теплотворную способность не менее 3500 ккал/кг, при окусковании низкозольного бурого угля — до 4500, а антрацитовых шламов — до 6500.

Технологическая линия (рис. 4) обеспечивает подготовку исходного сырья, подачу сырья к прессу, собственно прессование-окускование, сушку продукции, доставку продукции на склад. Исходный материал (бурый уголь, торф, шлам, и т. п.) автопогрузчиком загружается в приемные бункеры. Далее материал ленточными питателями подается на конвейер. С помощью железоотделителя из шихты извлекаются ферромагнитные предметы. Затем материал поступает в грохот, где отделяется класс 0 — 20 мм. Далее материал ленточным конвейером подается в приемный бункер установки типа ХОТ-31. Из установки готовая продукция выгружается в сетчатый контейнер, который подается в сушильную камеру, где с помощью вентиляторов прокачивается горячий воздух и осуществляется предварительная сушка продукции. На выходе из сушильной камеры контейнеры с продукцией забирает вильчатый погрузчик и транспортирует на склад готовой продукции. Здесь происходит накопление и окончательная досушка продукции в обменных контейнерах.

Потенциальным заказчикам предлагаются как отдельные установки, которые могут использоваться в существующих технологических цепочках, так и технологическая линия, оснащенная установкой ХОТ-31 производительностью 35 000 — 40 000 т/год. Для увеличения производительности число технологических линий может быть увеличено.

Литература

1. Патент України № 65923А, Спосіб згрудкування твердого палива органічного походження та шихта. Пілов П. І., Бондаренко В. І., Куденко Г. О., Канарська Н. В.

2. Патент України № 68251А, Установка для брикетування матеріалів. Пілов П. І., Бондаренко В. І., Мальченко В. І., Куденко Г. О., Канарська Н. В.

3. Патент України № 79520 Спосіб згрудкування матеріалів органічного походження для одержання палива та установка для його реалізації. Пілов П. І., Бондаренко В. І., Мальченко В. І., Куденко Г. О., Канарська Н. В.

УДК 622.001.18

О РОЛИ НАУЧНОГО ПРОГНОЗА ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В. Л. Яковлев

Прогнозирование научно-технического прогресса в горнодобывающих отраслях промышленности играет существенную роль в выработке долгосрочной стратегии развития горного производства. Как в свое время отмечал академик Н. В. Мельников [1]: «Прогноз развития горной промышленности на 20 — 30 лет должен ответить на вопросы о масштабах будущей добычи полезных ископаемых, размерах развития того или иного региона, преобладающем способе разработки (открытый или подземный), предпочтительной годовой производительности горных предприятий, видах горной техники, возможных экономических показателях и т. д.». По большинству указанных направлений обоснованные Н. В. Мельниковым и другими учеными еще в середине XX века пути и масштабы развития горнодобывающих отраслей промышленности в СССР нашли реальное воплощение, в том числе: преимущественное развитие открытого способа разработки, строительство крупных горно-обогатительных комбинатов в железорудной промышленности, угольных разрезов большой производительности, создание комплексов выемочно-погрузочного и транспортного оборудования и др.

Н. В. Мельников в статье «Будущие горные разработки» [2] прогнозировал, что глубина разработки угольных пластов достигнет 1200—1300 м, а рудных месторождений — 1500 — 1700 м, в том числе открытых работ — до 500 — 600 м.

На открытых горных разработках с увеличивающейся глубиной возникает необходимость комбинированного вскрытия, при котором карьер по вертикали и в плане разбивается на зоны: первая зона при глубине карьера 100 — 150 м с применением железнодорожного транспорта; вторая зона — при применении автомобильного и конвейерного транспорта; третья зона — при вскрытии месторождений стволами с конвейерным или скиповым подъемами.

Значительный вклад не только в прогнозирование, но и научное обоснование перспектив технического прогресса, в частности в решение транспортной проблемы на открытых горных разработках, внес М. В. Васильев [3 — 5], в научных трудах которого наибольшее внимание уделялось развитию автомобильного транспорта. В своих научных трудах М. В. Васильев не просто давал прогноз, но и обосновывал перспективы и области применения автомобильного транспорта, технические параметры автосамосвалов и технологические условия их эффективного использования. При этом особенно ценно то, что прогноз он строил не только на основе статистического анализа прошлого опыта и экстраполяции, но и на свойственной ему инженерной интуиции и высокоразви-

том чувстве нового, приобретенном, помимо наследственных черт характера, большим личным опытом и огромной работоспособностью.

Ниже, на примере карьерного автомобильного транспорта, приводится сопоставление прогнозируемых и обоснованных М. В. Васильевым с фактическими показателями применения автомобильного транспорта на открытых горных разработках с середины XX века до настоящего времени.

В монографии 1949 года [3], когда на нескольких карьерах применялся автомобильный транспорт с использованием автосамосвалов грузоподъемностью 3 — 5 т, М. В. Васильев совершенно правильно предвидел, что применение большегрузных машин позволит резко сократить, по сравнению с железнодорожным транспортом, объем вскрыши за счет уменьшения разноса бортов карьера, уменьшить ширину откаточных берм, более полно выработать запасы руды, сократить длину откатки, увеличить производительность экскаваторов.

В монографии 1962 г. [4] на основе анализа перспектив развития автомобильного транспорта на карьерах СССР отмечены обстоятельства, сдерживающие расширение области его применения: а) большинство проектных организаций предусматривает применение автомобильного транспорта только в тех случаях, когда использование железнодорожного транспорта невозможно или затруднено вследствие особенностей залегания месторождений и специфики горнотехнических условий; б) при выборе вида транспорта происходит недооценка положительных особенностей автомобильного транспорта, а именно сокращение объемов горнокапитальных работ, неправильно определяется режим горных работ и т. п.; в) недостаточный выпуск большегрузных автосамосвалов в стране, малый ассортимент карьерного автомобильного оборудования, дефицит запасных частей, ненадежность и короткие сроки службы карьерных автомобильных двигателей.

И далее как вывод о перспективах применения автомобильного транспорта:

1. Пересмотр ряда проектов, в частности Криворожского Северного ГОКа, Тейского железного рудника, Коршуновского ГОКа, Сарбайского железорудного карьера и др. Позднее на всех этих предприятиях, как и на большинстве других, нашел применение автомобильный транспорт, в том числе в качестве сборочного в схемах автомобильно-железнодорожного или автомобильно-конвейерного транспорта.

2. Учет при сравнении видов транспорта помимо капитальных затрат и эксплуатационных расходов: трудоемкости, металлоемкости, энергоемкости, сроков ввода в эксплуатацию и др. Позднее многие из этих и ряд других достоинств и недостатков различных видов транспорта были учтены в разработанных ИГД МЧМ СССР методах сравнения и выбора карьерного транспорта [6, 7, 9].

Поскольку применению автомобильного транспорта на карьерах СССР, а позднее и стран СНГ способствовала организация производства большегрузных автосамосвалов семейства БелАЗ, его необходимость длительное время обосновывалась М. В. Васильевым, а в содружестве с конструкторами Белорусского автомобильного завода в течение дли-

тельного времени им и его учениками разрабатывались ТЭО на создание типажного ряда автосамосвалов БелАЗ, а также обосновывались области их применения, сроки службы, нормы расхода топлива и пробега шин и т. п.

Отмечая большой вклад в развитие и применение автомобильного транспорта на карьерах черной и цветной металлургии, угольной промышленности, нерудных и строительных карьерах, карьерах горно-химического сырья многих ученых и специалистов — академиков Н. В. Мельникова, В. В. Ржевского, Н. Н. Мельникова, К. Н. Трубецкого, профессоров М. Г. Потапова, В. С. Хохрякова, А. А. Кулешова и других, следует отметить, что заслуги М. В. Васильева и его учеников по обоснованию целесообразности и эффективности применения на карьерах автомобильного транспорта имеют первостепенное значение.

Особенно широкое применение получил автомобильный транспорт в последние 10 — 15 лет, при этом не только на карьерах цветной металлургии, кимберлитовых, карьерах стройматериалов, но и в железорудной и угольной отраслях промышленности. На железорудных карьерах, особенно на карьерах большой глубины и производительности, где проектами в качестве основного вида транспорта предусматривался, как правило, железнодорожный, постепенно для перевозки горной массы из забоев все в большей доле (64 — 69 %) стал применяться автомобильный транспорт, в том числе в качестве первого звена в комбинированном автомобильно-железнодорожном и автомобильно-конвейерном транспорте (см. табл.).

Объемы перевозок в 2006 г. горной массы из забоев, %

ГОК	Вид транспорта		
	Железнодорожный	Автомобильный	Конвейерный, гидротранспорт
Россия			
Михайловский	31,3/42,4*	68,7/44,3*	—
Стойленский	36,1	56,2	7,7
Лебединский	44,0	47,6	8,4
Костомукшский	18,4	81,6	—
Оленегорский	—/74,7*	100,0/25,3*	—
Ковдорский	—	100,0	—
Качканарский	76,6	23,4	—
Ураласбест	55,5	44,5	—
Украина			
Центральный	21,8	75,6	—
Южный	76,9	23,1	—
Северный	22,6	77,4	—
Полтавский	4,3	95,7	—
Казахстан			
Соколовско-Сарбайский	41,6/64,1*	58,4/30,6*	—

* 1964 г.

На угольных разрезах России по состоянию на начало XXI века 54,8 % угля добывается в забоях с применением автотранспорта, 38,1 % — железнодорожного транспорта, около 6 % приходится на конвейерный транспорт. Лишь на разрезах Канско-Ачинского бассейна, Красноярскугля, Читауголь и Дальвостуголь доминирующая роль (75 — 85 %) отведена железнодорожному транспорту; в разных долях (по 50 %) представлены в добыче угля автомобильный и железнодорожный виды транспорта на разрезах Востсибугля. На большинстве других разрезов 100 % угля добывается с использованием автотранспорта.

На вскрышных работах автотранспорт также существенно превышает железнодорожный транспорт по объемам перевозок (46,3 % против 17,4 %); здесь значительную долю составляет бестранспортная система разработки (30 %). На многих разрезах именно автотранспорт с небольшой долей бестранспортной системы разработки является основным на вскрышных работах.

Сегодня перед учеными и специалистами горного дела и машиностроения стоит задача создания нового поколения горных транспортных машин, способных эффективно и безопасно применяться при разработке глубоких горизонтов рудных и кимберлитовых карьеров, а также — при комбинированной открыто-подземной разработке глубокозалегающих месторождений с использованием схем вскрытия с крутыми (до 30 %) уклонами съездов и энергосберегающими силовыми установками.

Литература

1. *Мельников Н. В.* Прогнозирование в горной промышленности / Н. В. Мельников // Записки ЛГИ им. Г. В. Плеханова. — Т. 27, вып. 1. — Л., 1975. — С. 115 — 123.

2. *Мельников Н. В.* Будущие горные разработки / Н. В. Мельников // Горный журнал. — 1974. — № 2. — С. 3 — 9.

3. *Васильев М. В.* Карьерный транспорт / М. В. Васильев. — М.: Металлургиздат, 1949. — 334 с.

4. *Васильев М. В.* Научные основы проектирования и эксплуатации автомобильного транспорта на открытых горных разработках / М. В. Васильев. — Свердловск, 1962. — 332 с. — (Труды / ИГД УФАН СССР. — Вып. 1).

5. *Васильев М. В.* Современный карьерный транспорт / М. В. Васильев. — 2-е изд. — М.: Недра, 1969. — 304 с.

6. *Васильев М. В.* Научные основы проектирования карьерного транспорта / М. В. Васильев, В. Л. Яковлев. — М.: Наука, 1972. — 202 с.

7. *Яковлев В. Л.* Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / В. Л. Яковлев. — Новосибирск: Наука, 1989. — 240 с.

8. *Батугин С. А.* Закономерности развития горного дела / С. А. Батугин, В. Л. Яковлев. — Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992. — 116 с.

9. *Яковлев В. Л.* Состояние, проблемы и перспективы развития горнодобывающей промышленности России и стран СНГ / В. Л. Яковлев // Проблемы геотехнологии и недроведения (Мельниковские чтения): докл. междунар. конф.: в 4 т.: т. 4 / ИГД УрО РАН. — Екатеринбург, 1998. — С. 3—36.

10. Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке / П. Л. Мариев и др. — СПб.: Наука, 2006. — 387 с.

УДК 622.684

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КАРЬЕРНОГО ТРАНСПОРТА НА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КАРЬЕРАХ РФ

А. И. Павлов

Перевозка горной массы из забоев железорудных карьеров России осуществляется автомобильным, железнодорожным, конвейерным и гидравлическим транспортом как самостоятельно, так и в комбинации друг с другом [1, 2]. Как следует из табл. 1 и рис. 1, объем автомобильных перевозок превышает 2/3 всего объема перевозок и имеет тенденцию повышения в конце рассматриваемого периода. Отмечается незначительное повышение объемов перевозок железнодорожным транспортом (~6,6 %) 1990 — 2007 гг.

Автомобильный транспорт самостоятельно применяется на железорудных карьерах горно-обогатительного производства ММК, Высокогорского ГОКа, Ирбинского, Тейского и Краснокаменского рудоуправлений, а в сочетании с железнодорожным — на крупнейших ГОКах страны (Михайловском, Лебединском, Стойленском, Костомукшском, Оленегорском, Качканарском, Коршуновском), а также в Бакальском РУ. На руднике Железный Ковдорского ГОКа для транспортировки руды и вскрыши с нижних горизонтов созданы комплексы циклично-поточной технологии, как и на Оленегорском ГОКе (в дополнение к автомобильному и железнодорожному транспорту). Железнодорожный транспорт самостоятельно используется только в Первоуральском РУ.

Парк автосамосвалов на карьерах железорудной промышленности в 2007 г. составил 504,4 единицы и снизился по сравнению с 1990 г. на 160,9 автомашин, т.е. на 24,2 % (рис. 2, 3, табл. 2). Количество автотонн всего парка за этот период снизилось на 9183, а средняя грузоподъемность среднесписочного автосамосвала возросла до 88,2 т (рис. 4). На карьерах 8 крупнейших ГОКов страны средняя грузоподъемность автосамосвалов увеличилась в

Таблица 1

Объемы перевозок горной массы из забоев на железорудных карьерах России по видам транспорта

Вид транспорта	1990 г.	1995 г.	2000 г.	2005 г.	2007 г.
Автомобильный, млн. т	454,4	304,0	324,9	444,4	503,7
В % к общему объему	66,7	63,9	65,0	69,6	70,4
Железнодорожный, млн. т	182,1	151,9	159,1	179,4	194,2
В % к общему объему	26,7	31,9	31,8	28,1	27,1
Конвейерный и гидравлический, млн. т	44,5	20,0	15,7	14,1	17,9
В % к общему объему	6,6	4,2	3,1	2,3	2,5
Все виды транспорта, млн. т	681,0	475,2	499,6	637,8	715,8
Всего, %	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

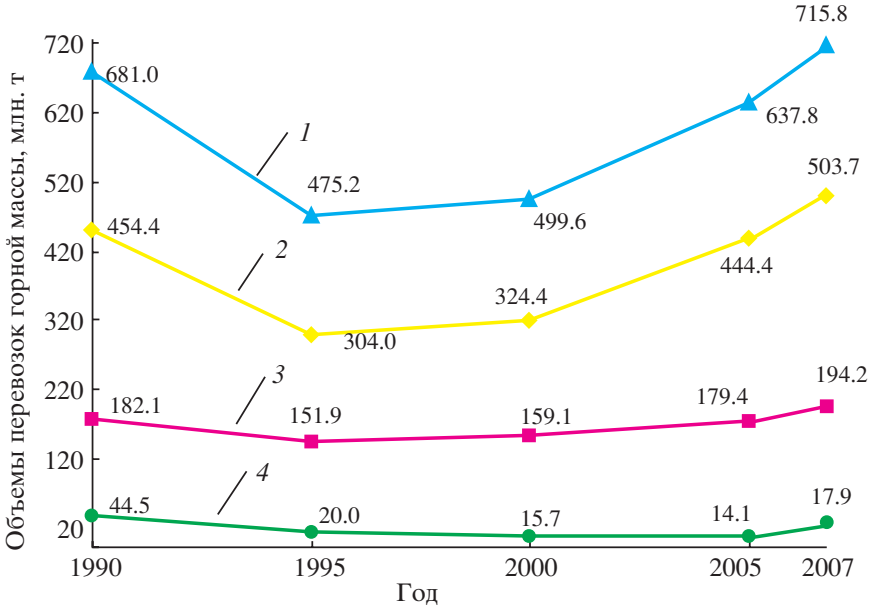


Рис. 1. Объемы перевозок горной массы из забоев на железорудных карьерах России по видам транспорта, млн. т:

1 — все виды; *2* — автомобильный; *3* — железнодорожный; *4* — конвейерный и гидравлический

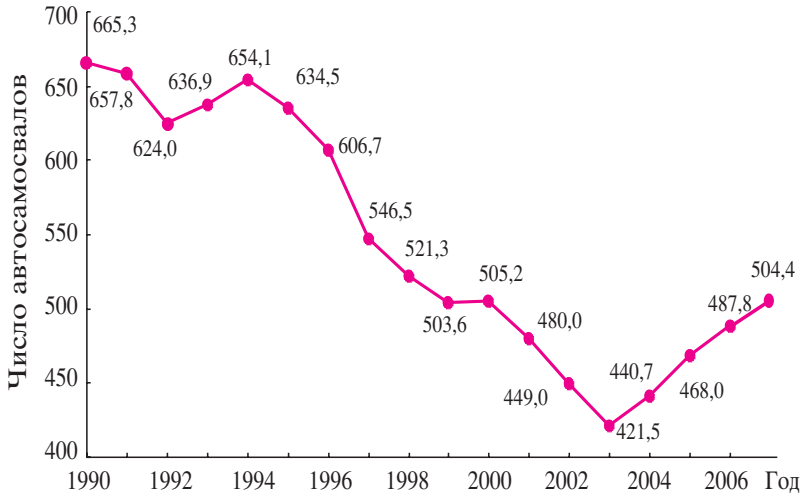


Рис. 2. Количество автосамосвалов в карьерах железорудной промышленности РФ в 1990—2007 гг.

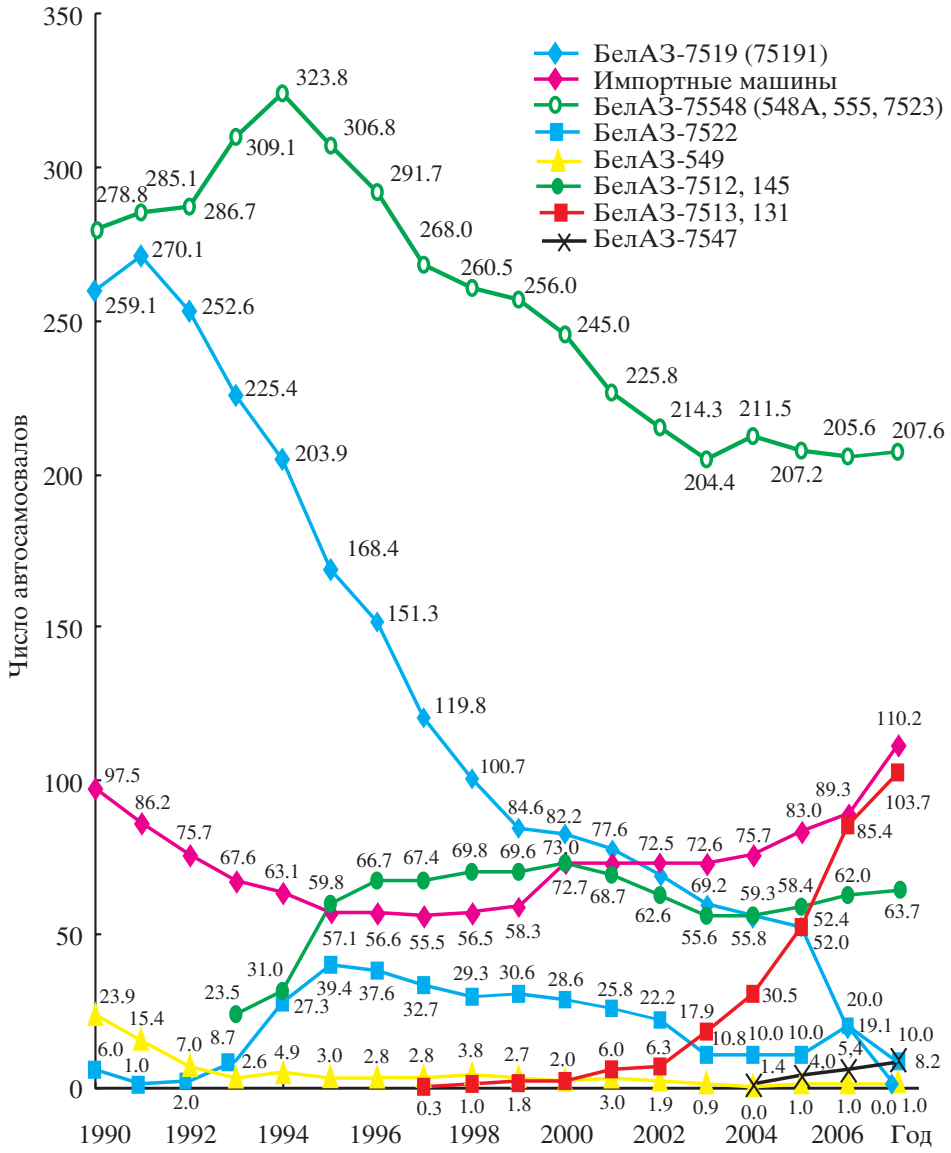


Рис. 3. Структура парка автосамосвалов в карьерах железорудной промышленности РФ в 1990—2007 гг.

Таблица 2

Технические показатели карьерного транспорта железорудной промышленности РФ (1990 — 2007 гг.)*

Показатель	1990 г.	2000 г.	2005 г.	2007 г.
Автомобильный транспорт				
Объем перевозок в целом, млн. т	688,1/584,9	499,6/433,8	637,8/528,9	715,8/644,0
Объем перевозок автомобильным транспортом, млн. т	454,6/371,7	324,9/271,5	444,4/348,7	503,7/441,6
С.с.** число автосамосвалов	665,3/469,5	505,2/291,6	468,0/294,6	504,4/321,0
Грузоподъемность с.с. автосамосвала, т	70,1/87,6	74,4/96,8	86,2/110,3	88,2/117,9
Количество автотонн парка	53649/43198	37680/28690	41414/33452	44466/35964
Годовая производительность 1 автотонны парка, т	8,9/8,7	9,8/11,1	12,0/14,0	12,1/14,5
Использование календарного времени автомобильного оборудования, доля ед.	0,68/0,69	0,57/0,74	0,68/0,80	0,61/0,78
Железнодорожный транспорт				
Объем перевозок из забоев, млн. т	182,1/155,7	151,9/120,0	159/127,3	194,2/184,6
С.с. число локомотивов	376,0/276,0	313,5/236,5	236,5/217,5	237,8/218,8
Годовая производительность с.с. локомотива, тыс. т	484/564	484/507	672/682	815,8/844,8

* В числителе показатели по железорудной промышленности, в знаменателе по 8 ГОКам.
** Среднесписочный(ое).

2007 г. до 117,9 т за счет повышения доли большегрузных машин в автомобильном парке, хотя их среднесписочное число существенно снизилось. Автомобильный парк Костомукшского, Лебединского, Оленегорского, Коршуновского и Ковдорского ГОКов почти полностью укомплектован автосамосвалами грузоподъемностью 120 и более тонн. Парк автомобилей наибольшей грузоподъемности имеют (2007 г.) карьеры Костомукшского (132,9 т), Лебединского (126 т), Оленегорского (125,5 т), Коршуновского (122,8 т) и Ковдорского (117,7 т) ГОКов. Автомобильный парк Качканарского ГОКа укомплектован автосамосвалами грузоподъемностью 42 и 55 т.

Парк железорудной промышленности представлен на 78,2 % автосамосвалами Белорусского завода и только 21,8 % составляют автосамосвалы заводов дальнего зарубежья. Большая часть импортных машин представлена автосамосвалами HD-1200 (производства Японии) грузоподъемностью 120 т. Основными машинами, которые эксплуатируются в настоящее время на карьерах, являются БелАЗ-7512 (75145), БелАЗ-75131 и БелАЗ-75548 и их модификации грузоподъемностью, соответственно, 120, 130, 42 и 55 т.

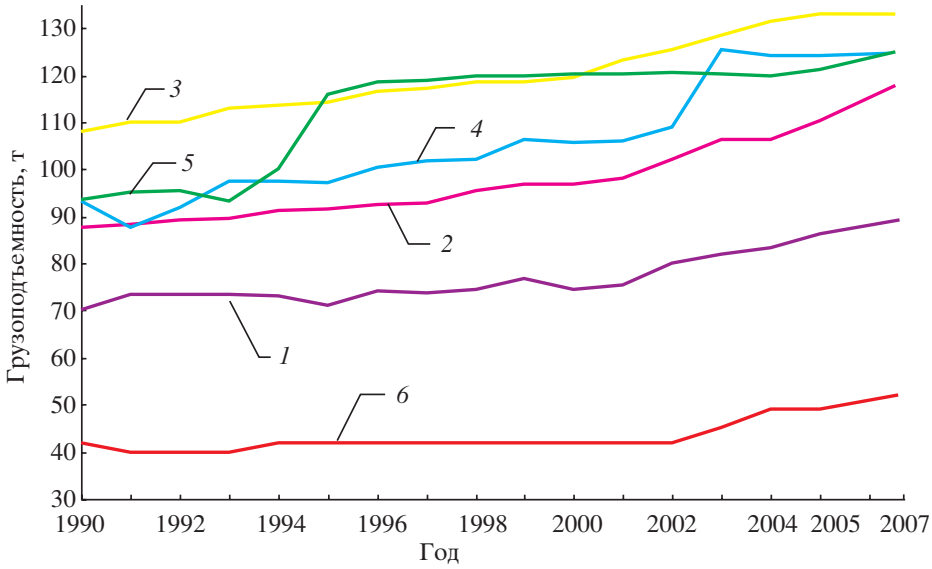


Рис. 4. Грузоподъемность одного среднесписочного автомобиля:
1 — железорудная промышленность РФ; *2* — 8 крупнейших ГОКов; *3* — Костомукшский ГОК; *4* — Лебединский ГОК; *5* — Оленегорский ГОК; *6* — Качканарский ГОК

С 1993 г. начался вывод из эксплуатации изношенных автомобилей БелАЗ-7519(191) и замена их более совершенными моделями БелАЗ-7512, БелАЗ-7545, а с 1997 г. — автосамосвалами БелАЗ-7513(131) грузоподъемностью 120 и 130 т. Широкое распространение на карьерах получил автосамосвал БелАЗ-75548 и его модификации различной производительности — от 42 до 55 т. Максимальное количество этих машин в парке железорудной промышленности достигло 324 единиц в 1994 г. Общее сокращение машин этого типа на карьерах в 2007 г. составило 71,2 единицы, или 25,5 % к уровню 1990 г. Автосамосвалы БелАЗ-540 (7522) грузоподъемностью 30 т применяются в качестве технологической машины на карьерах малой производительности и на крупных карьерах в качестве вспомогательной техники. Общее их количество в последние годы сокращалось и в 2007 г. составило 10 машин. С 2004 г. на карьеры начали поступать автомобили БелАЗ-7547, в настоящее время их 8 единиц.

Производительность автомобильного парка на карьерах железорудной промышленности в 1990 — 1994 гг. снизилась в среднем на 23 %, что соответствует снижению выполнявшихся горных работ. В 1994 — 1997 гг. производительность стабилизировалась, испытывая незначительные колебания в разные годы в большую или меньшую сторону (рис. 5). В последующие годы произошло существенное увеличение производительности автомобильного транспорта, и в 2001 — 2007 гг. она превысила уровень 1990 г. почти на 35 %. Производительность автомобильного транспорта в эти годы на карьерах крупнейших ГОКов возросла более существенно и достигла 60 % к уровню 1990 г. Высокий рост производительности автомобильного транспорта обусловлен главным образом внедрением ав-

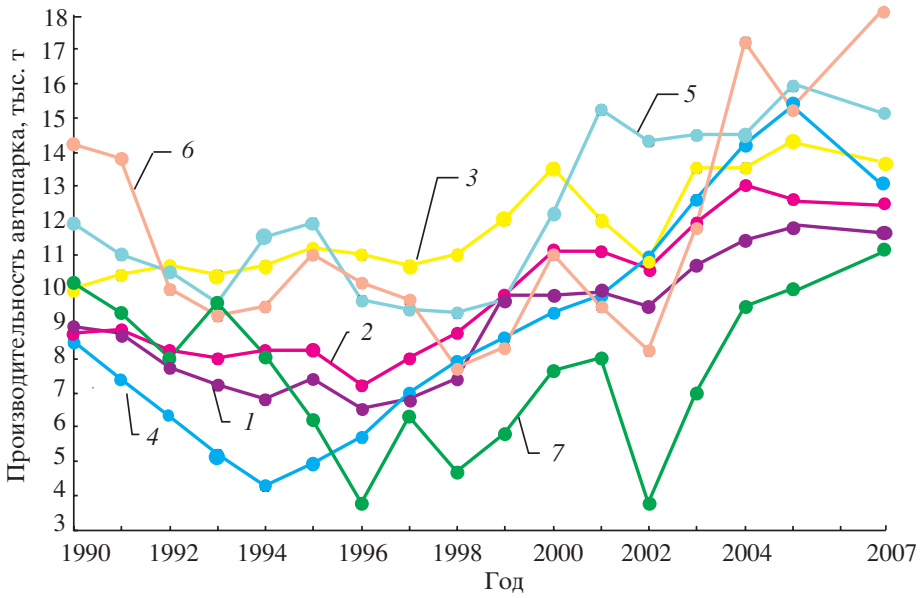


Рис. 5. Среднегодовая производительность 1 т грузоподъемности автомобильного парка железорудной промышленности РФ:
1 — железорудная промышленность РФ; *2* — 8 крупнейших ГОКов; *3* — Лебединский ГОК; *4* — Костомукшский ГОК; *5* — Оленегорский ГОК; *6* — Качканарский ГОК; *7* — Коршуновский ГОК

томобилей большой грузоподъемности. Стабильно работал в 1990 — 1997 гг. автомобильный транспорт Лебединского и Оленегорского ГОКов. В этот период с перебоями работал автомобильный транспорт Коршуновского, Костомукшского и Качканарского ГОКов. С 1998 г. на всех карьерах крупнейших ГОКов начался уверенный подъем производительности автомобильного транспорта.

Использование автомобильного парка на железорудных карьерах РФ, как показывает анализ, довольно низкое. Средневзвешенный коэффициент использования календарного времени автомобилей составляет 0,61 (рис. 6). На крупнейших ГОКах страны он значительно выше и составляет 0,78. Наиболее полно парк используется на Оленегорском (0,79), Ковдорском (0,80), Михайловском (0,77) ГОКах. Самый низкий коэффициент среди крупнейших ГОКов имеет Коршуновский ГОК (0,52). На предприятиях железорудной промышленности небольшой производительности коэффициент использования времени автомобильного парка не превышает 0,50. На некоторых предприятиях крупнейших ГОКов он достигает 0,8 — 0,9, из чего следует, что при полном использовании оборудования производственные мощности предприятий могут быть значительно увеличены.

Автомобильный парк за последние годы (2001 — 2007 гг.) значительно обновился за счет поступления автосамосвалов БелАЗ-75131 грузоподъемностью 130 т (103 ед.), 20 автосамосвалов фирм дальнего зарубежья грузоподъемностью 120 — 150 т и вывода из эксплуатации полно-

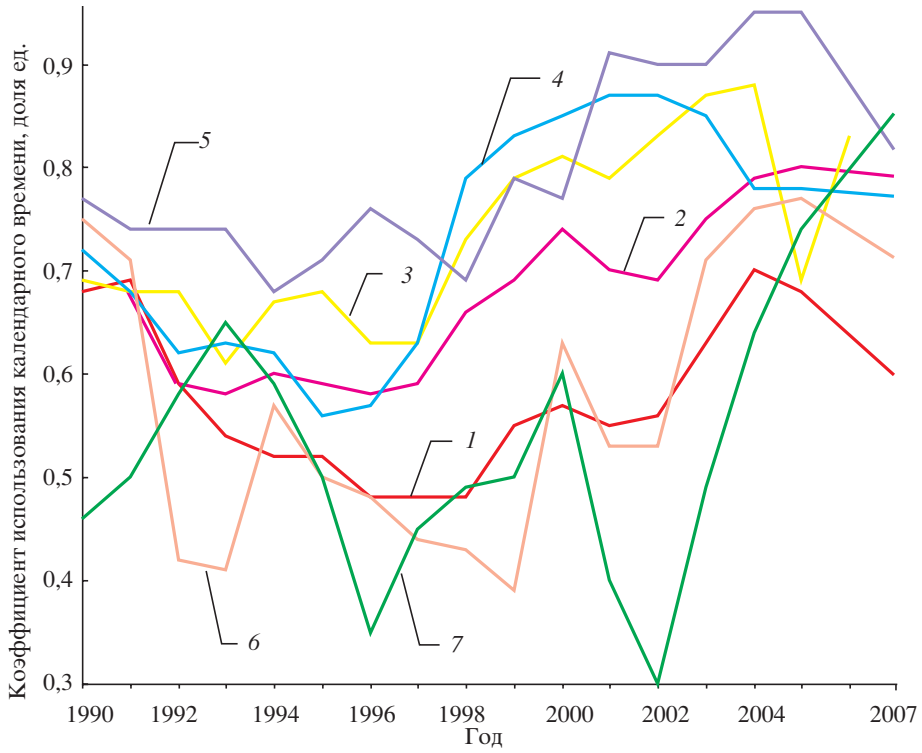


Рис. 6. Использование календарного времени автомобильного оборудования железорудных карьеров РФ:

1 — железорудная промышленность РФ; *2* — 8 крупнейших ГОКов; *3* — Лебединский ГОК; *4* — Костомукшский ГОК; *5* — Оленегорский ГОК; *6* — Качканарский ГОК; *7* — Коршуновский ГОК

стью изношенных автосамосвалов БелАЗ-7519 (75191). В 2006 г. автомобильные парки карьеров 5 крупнейших ГОКов имели следующую степень износа в %: Костомукшского 41,1; Ковдорского 50,5; Коршуновского 51,6; Качканарского 53,1; Михайловского 61,5. Лебединский ГОК имеет 10 автосамосвалов с износом 47 % и 16 автосамосвалов производства зарубежных фирм, имеющих сверхнормативный износ. Предприятия малой производительности имеют автомобильный парк с довольно высокой степенью износа — порядка 70 — 80 %, кроме карьеров Бакальского рудоуправления, где износ составляет 43 %. Из приведенного анализа следует, что замена изношенного автомобильного оборудования на карьерах железорудной промышленности идет довольно высокими темпами.

Железнодорожный транспорт используется при перевозке горной массы из железорудных карьеров главным образом на крупных предприятиях с большим объемом и значительными расстояниями перевозок. Удельный вес перевозок железнодорожным транспортом в 2007 г. несколько ниже уровня 1990 г. и составил 27,1 % к общему объему перево-

зок. Годовая производительность среднесписочного локомотива в железорудной промышленности РФ превысила уровень 1990 г. на 59 % за счет сокращения парка тяговых агрегатов. Количество локомотивов за 1990 — 2007 гг. сократилось на 138 единиц в целом по железорудной промышленности и на 57 локомотивов на карьерах 8 крупнейших ГОКов.

Износ локомотивов и тяговых агрегатов, используемых на карьерах железорудной промышленности, достаточно высок и колеблется в пределах от 70 до 100 % и выше. Сверхнормативный износ этого оборудования отмечается на Коршуновском, Костомукшском, Качканарском ГОКах. Износ думпкаров несколько выше. Например, на Качканарском ГОКе более половины парка подвижного состава имеет сверхнормативный износ; 70 — 85 % он имеет место на Коршуновском, Стойленском, Лебединском ГОКах. Такая неблагоприятная ситуация на железнодорожном транспорте с годами усугубляется.

В заключение следует отметить следующие характерные особенности развития карьерного транспорта железорудных карьеров в рассматриваемый период:

— автомобильный транспорт является основным, им осуществляется более 2/3 перевозок горной массы из забоев;

— парк оборудования карьерного транспорта за счет вывода из эксплуатации изношенного и поступления нового сократился: автомобильного на 160 единиц, т. е. на 24 %, железнодорожного на 138 единиц, т. е. 37 %;

— парк автомобильного оборудования за последние годы существенно обновился за счет поступления 103 автосамосвалов грузоподъемностью 130 т Белорусского завода и 20 автосамосвалов грузоподъемностью 120 — 150 т фирм дальнего зарубежья;

— автомобильный парк 5 крупнейших ГОКов имеет степень изношенности в пределах 40 — 60 %;

— средняя грузоподъемность автосамосвала на карьерах железорудной промышленности РФ возросла с 70,1 до 88,2 т, а на карьерах 8 крупнейших ГОКов — с 87,6 до 117,9 т;

— годовая производительность автомобильного транспорта железорудной промышленности в целом в 2007 г. превысила уровень 1990 г. на 35 %, а на карьерах 8 крупнейших ГОКов — на 60 %; железнодорожного транспорта — на 59 %;

— средневзвешенный коэффициент использования календарного времени автомобильного парка железорудной промышленности в целом низкий и составляет 0,61, на крупнейших ГОКах — 0,78.

Литература

1. *Смирнов В. П.* Теория карьерного большегрузного автотранспорта / В. П. Смирнов, Ю.И. Лель; под ред. В. Л. Яковлева. — Екатеринбург: УрО РАН, 2002. — 355 с.

2. Технико-экономические показатели горных предприятий за 1990 — 2006 гг. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2007. — 364 с. ISBN 57691-1774-5.

УДК 622.687

ВОПРОСЫ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ КАРЬЕРОВ

Ю. А. Бахтурин

Доминирующей тенденцией развития мировой горной промышленности на обозримую перспективу считается стабильная ориентация на открытый способ разработки как обеспечивающий наилучшие экономические показатели. На его долю приходится до 73 % общих объемов добычи полезных ископаемых в мире (в США 83 %, в странах СНГ около 70 %). В России открытым способом добывается 91 % железных руд, более 70 % руд цветных металлов и 60 % угля. Транспортирование горной массы представляет собой один из основных и наиболее трудоемких процессов открытых горных работ. По мере роста глубины карьеров доля затрат на карьерный транспорт доходит до 55 и даже 70 % в общих затратах на добычу полезного ископаемого. Транспортная составляющая оказывает значительное влияние на решение основных научных и проектных задач геотехнологии. Например, при обосновании границ карьеров, формирование конечного контура карьера со схемой капитального вскрытия приводит к уменьшению углов откосов конечных бортов до 18 градусов, что вызывает дополнительное вовлечение в границы до 30 — 50 % пород от объема первоначального оконтуривания, а увеличение текущих объемов вскрыши достигает 35 %. Если учесть, что карьерный транспорт является еще и основным источником негативного воздействия на окружающую среду, то очевидно, что одной из основных задач рационального природопользования и технологии экологически безопасной разработки месторождений является создание научных основ долгосрочного формирования транспортных систем карьеров.

Особое место в рамках решения задачи занимают вопросы выявления особенностей и обоснования стратегии формирования горно-транспортных систем глубоких карьеров, эти вопросы традиционно исследуются уральской школой карьерного транспорта, основателями которой являются доктор технических наук М. В. Васильев и член-корр. РАН В. Л. Яковлев. Членами школы разных поколений в этой области создан хороший задел, составляющий основу дальнейших исследований. Выявлены закономерности изменения параметров транспортного процесса в динамике развития горных работ, разработаны методики определения технико-экономических показателей автомобильного, конвейерного, железнодорожного видов карьерного транспорта при их самостоятельном или комбинированном применении с учетом взаимосвязей со смежными процессами горного производства; обоснованы области эффективного применения различных видов карьерного транспорта, разработаны методы определения момента перехода от одних видов и схем транспорта к другим; обоснованы технологические требования на создание новой горно-транспортной техники. На основе этих исследований В. Л. Яковле-

вым сформулирована основная концептуальная схема формирования транспортных систем глубоких карьеров, которая заключается в одновременном применении нескольких видов транспорта, их комбинаций и переходе от одних схем транспортирования к другим. При этом области эффективного применения различных видов транспорта определенно зонированы для различных горнотехнических условий, в частности, по высоте подъема, расстоянию транспортирования горной массы. Эти зоны, хотя и отличаются для различных групп карьеров, имеют определенные границы, что позволяет говорить о предпочтительных условиях применения различных видов и схем транспорта в глубоких карьерах. Это, в свою очередь, определяет момент перехода на другой вид транспорта или применение комбинации отдельных видов транспорта.

Применение многотранспортных систем на карьерах становится целесообразным тогда, когда условия среды, в частности, горнотехнические условия транспортирования горной массы, изменяются настолько, что система уже не способна обеспечить адекватную реакцию, так как последняя находится за пределами адаптивности отдельных видов транспорта. Эта концепция хорошо вписывалась в условия плановой экономики, когда параметры экономической среды оставались практически неизменными, а технический и технологический уровни основных видов карьерного транспорта (автомобильного, конвейерного и железнодорожного) был примерно одинаков. Очевидно, что эти условия не выдерживаются при рыночной экономике и прежние хорошо отработанные схемы формирования транспортных систем карьеров не могут быть в чистом виде перенесены в современные программы стратегического развития. В связи с тем, что такие государственные, региональные и отраслевые макроуровневые программы в настоящее время разрабатываются соответствующими ведомствами (например, «Стратегия развития России до 2020 г.», «Стратегия развития Свердловской области до 2020 г.», «Стратегия развития тяжелого машиностроения России до 2020 г.»), имеется острая необходимость в методологическом и методическом обеспечении стратегического прогнозирования формирования транспортных систем глубоких карьеров. На этом основываются обоснования потребности в транспортной технике (по видам) на среднесрочную и долгосрочную перспективы для отдельных предприятий, региона и на федеральном уровне, региональные программы развития карьерного транспорта, бизнес-планы для предприятий-изготовителей геотехники. Важнейшие инновационные проекты, для реализации которых необходимо проведение соответствующих фундаментальных исследований: стратегия формирования транспортных систем глубоких карьеров России и СНГ; совместный проект России и Беларуси «Карьерная техника»; проекты программы «Карьерный транспорт» государственной целевой программы Республики Беларусь «Машиностроение»; целевые комплексные программы разработки, создания и внедрения новых высокоэффективных энергосберегающих горно-транспортных средств открытых горных работ федерального и регионального уровней и т. д.

Логическим развитием теоретических основ формирования транспортных систем карьеров, разработанных уральской школой карьерно-

го транспорта под руководством М. В. Васильева и В. Л. Яковлева, являются исследования вопросов системного прогноза долгосрочного развития транспортных систем карьеров, проводимых в лаборатории транспортных систем карьеров и геотехники ИГД УрО РАН. В рамках этих исследований выявлены существенные отличия в развитии транспортных систем карьеров при плановой и рыночной экономике. Накопленный эмпирический материал свидетельствует о том, что отдельные виды карьерного транспорта и их комбинации в отношении адаптивности к условиям среды развиваются неравномерно. Одним из основных факторов, определяющих изменения в схемах формирования транспортных систем карьеров, является разный уровень конкурентоспособности отдельных видов транспорта и их комбинаций. Так, интенсивное развитие средств автомобильного карьерного транспорта, в особенности в последние 10 — 15 лет, во многом связано с острой конкуренцией на мировом рынке большегрузных автосамосвалов, а в силу ограниченного применения на зарубежных карьерах железнодорожного транспорта для него такой конкуренции нет. В настоящее время на глубоких карьерах России и СНГ широкое распространение нашли электровозы и тяговые агрегаты с напряжением 1,65 и 3,3 кВ постоянного тока и 10 кВ переменного тока. Существующие типы тяговых средств по своему техническому уровню и перспективным технологическим требованиям не обеспечивают эффективной их эксплуатации в глубинной зоне карьера. Достаточно сказать, что проектные решения по ним формировались в середине прошлого века. Срок эксплуатации локомотивов на большинстве горнодобывающих предприятий значительно превышает нормативный. Начавшийся выпуск тяговых агрегатов НП-1 не изменил ситуацию. Кроме того, производящий их Новочеркасский электровозостроительный завод перешел в собственность РАО «РЖД» и после этого будет производить только магистральные электровозы. Если учесть, что применение карьерного железнодорожного транспорта предполагает существенно большие капитальные затраты по сравнению с автомобильным, использование его на вновь проектируемых карьерах маловероятно.

Таким образом, конкурентоспособность как отдельных видов карьерного транспорта, так и их комбинаций изменяется во времени, что является необходимым условием смены доминирующих схем (моно- и многотранспортных) транспортирования в глубоких карьерах. Изменениям в настоящее время подвержена и динамика условий внешней среды, в том числе экономической. Если учесть, что и адаптивность различных видов транспорта к этим изменениям также может резко отличаться, то в какой-то период развития транспортной системы может оказаться, что для какого-то отдельного вида транспорта она будет выше, чем у их комбинаций, или, по крайней мере, достаточной для обеспечения приемлемого уровня функционирования предприятия. Единственной альтернативой применению многотранспортных систем на глубоких карьерах в обозримом будущем может быть использование технологического автотранспорта. Существующая концептуальная схема формирования транспортных систем глубоких карьеров, по-видимому, сохранится для действующих карьеров до конца их отработки в силу большой инерционности

таких систем. Что касается долгосрочной перспективы, то нельзя исключать возможности ее смены, имея в виду преимущественное использование монотранспортных систем, в первую очередь автотранспорта.

Выдвинута гипотеза о периодической смене доминирующих эффективных схем, что может привести в дальнейшем к коренным структурным изменениям в стратегии формирования транспортных систем карьеров и идеологии создания новых транспортных средств. Станет ли такая смена реальностью, очевидно, зависит от динамики факторов, определяющих конкурентоспособность видов карьерного транспорта, динамики горно-технических условий и параметров экономической среды. Так, если сохранится скорость увеличения цен на углеводородное сырье, с высокой вероятностью можно прогнозировать снижение доли автомобильного транспорта в ближайшие 10 — 15 лет (при том, что в настоящее время наблюдается значительный ее рост), а также очередной переход на применение многотранспортных систем. В этом случае получит подтверждение предположение, что доминирующее применение того или иного вида транспорта, а также моно- и многотранспортных схем носит периодический характер. Обоснование продолжительности периода смены схем позволит давать прогнозные оценки долгосрочного формирования горно-транспортных систем карьеров, формировать стратегические прогнозы.

Одна из основных особенностей формирования горно-транспортных систем состоит в том, что технико-экономические расчеты и принимаемые при проектировании решения носят долгосрочный характер с длительностью периода оценки вплоть до полной отработки месторождения 15 — 20 и более лет. Вместе с тем в условиях рыночной экономики значения многих параметров внешней среды характеризуются высокой степенью неопределенности и связанной с ней рисков. Неопределенность в период жизненного цикла проекта значительно снижает его качество. Кроме того, существующая критериальная база оценки эффективности инвестиционных проектов не позволяет корректно сравнивать варианты формирования транспортных систем крупных глубоких карьеров, так как применяемые при этом коэффициенты дисконтирования таковы, что при периоде оценки более 7 — 10 лет отдельные платежи оказывают незначительное влияние на величину интегральных критериев оценки. Поэтому стратегический прогноз развития горно-транспортных систем карьеров не может основываться только на экономических критериях.

При долгосрочной оценке вариантов формирования транспортных систем карьеров должны учитываться энергетические и экологические критерии. Следует иметь в виду, что использование в качестве критерия платы за загрязнение окружающей среды не оказывает существенного влияния на проектные решения. При этом особенность эксплуатации транспорта в глубоких карьерах состоит в существенных потерях от простоев оборудования (до 20 % календарного времени на карьерах АК «АЛРОСА») в результате сильной загазованности карьеров, особенно при неблагоприятных метеоусловиях. Данные потери можно разделить на два вида: расходы, связанные с эксплуатацией тех-

нологического оборудования в период простоя; «потери доходов» в результате снижения объемов перевозок по горной массе и, в первую очередь, по руде. Проведенные расчеты позволяют сделать вывод, что размер отчислений в бюджет за загрязнение атмосферы, значение ущерба от загрязнения, а также непроизводственные затраты в период простоя оборудования не превышают 1 % от «потерь годовых доходов», вызванных простоями карьерного автотранспорта. Таким образом, учет «потерь годовых доходов» от простоев карьерного автотранспорта в определенных случаях значительно повышает инвестиционную привлекательность мероприятий по экологизации производства, в том числе и за счет применения других (экологоэффективных) видов карьерного транспорта. Особенно это справедливо при добыче дорогостоящего сырья, в частности алмазного. Представляется логичным оценивать целесообразность использования в качестве одного из критериев принятия решений по формированию транспортных систем глубоких карьеров расчетное значение «потерь доходов» из-за простоев горно-транспортного оборудования.

Отсутствие системного подхода к прогнозированию развития горно-транспортных систем приводит к принятию некорректных решений как при осуществлении производственной, инвестиционно-финансовой и инновационной деятельности отдельных предприятий, так и в политике развития экономики на федеральном и региональном уровнях. Таким образом, существует противоречие между необходимостью принятия эффективных стратегических решений при реализации инвестиционных проектов формирования транспортных систем карьеров и возможностями сложившейся научно-методической базы. Проблема может быть решена на основе совершенствования критериальной базы оценки проектов, количественного и качественного описания тенденций и закономерностей формирования горно-транспортных систем глубоких карьеров и разработки системного научного долгосрочного прогноза их развития. При этом выделяются два этапа системного подхода к исследованиям: первый, включающий наиболее общие вопросы исследования горно-транспортных систем карьеров, и второй, носящий прикладной характер. Уральской школой карьерного транспорта уделяется особое внимание методологическим вопросам, в частности теории развития горнотехнических систем, упорядочению и совершенствованию понятийного аппарата [1].

Выполнен ряд исследований по теоретической интерпретации адаптационного формирования горно-транспортных систем глубоких карьеров. Можно констатировать, что адаптация составляет не только формальную, но и содержательную основу формирования горно-транспортных систем карьеров, при этом вся эволюция как в историческом плане, так и за период жизненного цикла отдельного предприятия есть адаптация, а любой признак организации является адаптивным. Соотношение тенденций адаптивной универсализации и специализации средств карьерного транспорта, выражающейся в создании новых специализированных геотехнических средств, всегда будет на стороне универсализации. Вместе с тем проведенные школой исследования показывают, что на ряде

горных предприятий создаются условия для эффективного применения новых специализированных эколого- и энергоэффективных средств карьерного транспорта. Это вызвано уникальностью горнотехнических условий эксплуатации российских и зарубежных карьеров, необходимостью энергосбережения и снижения расхода невосполнимого углеводородного сырья, тенденцией перехода на открыто-подземную разработку месторождений полезных ископаемых.

Второй этап предполагает проведение поисковых проблемно-ориентированных исследований на основе установленных общих принципов и тенденций формирования транспортных систем по обоснованию технологических параметров, сфер рационального применения, создание научно-технического задела и обоснование технологических требований на новые специализированные эколого- и энергоэффективные средства карьерного транспорта, обеспечивающих снижение общих энергозатрат на транспортирование горной массы с глубоких горизонтов карьеров и снижение негативного антропогенного воздействия на окружающую среду. Проведен цикл исследований по обоснованию технической возможности и технологической целесообразности разработки и создания новых энерго- и экологоэффективных средств транспорта для эксплуатации в глубинной зоне карьера.

В частности, для условий АК «АЛРОСА» предложен гусеничный самосвал — карьерный самосвал на гусеничном ходу, обладающий повышенной маневренностью, способный преодолевать крутые уклоны (до 35 %) при сохранении устойчивости и обеспечения требуемой производительности. Гусеничный самосвал способен надежно работать в стесненных условиях глубинной зоны карьера, преодолевая затяжные крутые уклоны. Повышенные уклоны обеспечивают: значительное сокращение объемов вскрыши, возможность дополнительно добывать оставляемую при применении современных технологий часть полезного ископаемого под дном карьера и в прибортовых целиках, значительное уменьшение расстояния транспортирования, а следовательно, необходимого рабочего парка транспортного оборудования. Конструкция гусеничного самосвала обеспечивает уменьшение его ширины по сравнению с существующими образцами карьерных автосамосвалов, что позволяет уменьшить ширину автодорог в карьере и дополнительно уменьшить объем вскрыши.

Совместно с институтом «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» проведены исследования возможности применения троллейвозов, автосамосвалов с комбинированной энергосиловой установкой на кимберлитовых карьерах Западной Якутии. Расчеты показали значительный эффект от внедрения предложенной техники [2]. Вместе с тем такие расчеты следует считать лишь предварительными и приблизительными. Следует учитывать, что многочисленные разработки по новым и специальным видам транспорта, выполненные в середине и конце XX века, так и не смогли конкурировать с традиционно основными видами карьерного транспорта, хотя в условиях плановой экономики такие разработки инвестировались государством. Это свидетельствует о том, что инновационные разработки в области карьерного транспорта характеризуются высокой

степенью риска. Только при полном учете таких рисков можно говорить об эффективности инновационных проектов.

Исследования по обоснованию стратегического прогноза развития транспортных систем глубоких карьеров, проводимые в ИГД УрО РАН, предполагают получение следующих результатов.

На теоретическом уровне:

1. Уточнение и конкретизация понятийного аппарата теории развития горнотехнических систем.

2. Выявление закономерностей адаптациогенеза и механизма развития горно-транспортных систем карьеров.

3. Доказательство гипотезы о периодическом характере смены основных концептуальных схем эффективного формирования горно-транспортных систем карьеров.

4. Установление закономерностей изменения ведущих ограничений развития горно-транспортных систем карьеров.

5. Интерпретация процесса формирования транспортных систем глубоких карьеров, выявление факторов, определяющих развитие геотехнологии рационального природопользования.

6. Обоснование соотношения тенденций адаптивной специализации и универсализации, выражающихся в создании новых геотехнических средств.

7. Совершенствование критериальной базы оценки развития горно-транспортных систем глубоких карьеров.

На эмпирическом уровне:

1. Разработка универсальной модели функционирования сложных транспортных систем карьеров.

2. Совершенствование методической базы обоснования провозной способности схем путевого развития как ведущего ограничения адаптации сложных транспортных систем.

3. Установление зависимостей между техническими и технологическими параметрами и обоснование технологических требований на создание новых специализированных энерго- и экологоэффективных средств карьерного транспорта.

4. Разработка методики формирования стратегического прогноза развития горно-транспортных систем на основе выявленных закономерностей их развития и усовершенствованной критериальной базы принятия решений.

Литература

1. *Яковлев В. Л.* Развитие методов исследований по проблеме карьерного транспорта / В. Л. Яковлев, В. Ф. Столяров, А. В. Глебов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2005. — № 10 — С. 228 — 237.

2. Специализированные виды автотранспорта для горнодобывающих предприятий. Стратегия создания и области применения / В. Л. Яковлев и др. // Горная промышленность. — 2007. — № 6. — С. 44 — 50.

УДК 622.684:629.114

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

П. И. Тарасов, А. Г. Журавлев

Предпосылками развития новых транспортных технологий служат современные проекты отработки месторождений, в которых за счет более высоких требований к технике увеличиваются объемы добычи, снижаются объемы горнокапитальных работ, продляются сроки службы карьеров. В последние десятилетия решались следующие наиболее актуальные задачи:

— изыскание способов крутонаклонного подъема горной массы с глубоких горизонтов карьеров, обеспечивающих минимальное занятие бортов карьеров транспортными бермами;

— разработка способов и средств перегрузки горной массы при комбинированном транспорте, обеспечивающих эффективную эксплуатацию сборочного и магистрального видов транспорта и минимальное занятие площадей на уступах;

— обоснование рациональной последовательности формирования транспортных систем глубоких карьеров на основе оптимизации параметров и сфер применения основных и специализированных видов карьерного транспорта.

Основные направления совершенствования карьерных автосамосвалов, на наш взгляд, будут выглядеть следующим образом:

- повышение надежности и увеличение срока службы автосамосвалов;
- автоматизация учета, нормирования и планирования расхода материальных ресурсов;
- создание специализированных и специальных автотранспортных средств для конкретных условий эксплуатации, учитывающих специфические особенности месторождения;
- использование комбинированных источников энергии;
- применение нетрадиционных и восполняемых источников энергии;
- создание автоматизированных систем управления карьерным автотранспортом.

Практически все перечисленные направления развития карьерного автотранспорта при неуклонно усложняющихся горнотехнических условиях, ужесточающихся требованиях к надежности, экономичности, удельной мощности, «экологичности» могут быть решены при создании специализированных и специальных автотранспортных средств для открытых горных работ. Мировая промышленность на современном этапе в состоянии создать технически совершенный универсальный карьерный

автосамосвал с высокими мощностью, грузоподъемностью, надежностью и т. д. Гораздо сложнее увязать это со стоимостными, массо-габаритными показателями. Исследования показывают, что более эффективным на сегодня и в ближайшем будущем может оказаться не универсальный, а специализированный транспорт, адаптированный по техническим характеристикам к технологическим особенностям конкретного карьера.

Детальный анализ возможностей отечественного машиностроения позволяет с уверенностью говорить, что предприятия России в состоянии с успехом справиться с такой задачей. Если раньше создание специализированной машины было связано с высокой стоимостью и длительным сроком разработки и изготовления, то на сегодня техника и технологии, а также существующий задел в машиностроении позволяют в относительно короткие сроки и по приемлемой цене изготовить требуемое оборудование. Изучение существующего положения дел в горнодобывающей промышленности позволило сделать вывод, что создание и внедрение специализированной и специальной автотранспортной техники способно предотвратить возможный кризис (по техническим и технологическим причинам) многих горнодобывающих предприятий, а также будет способствовать выходу из сложного экономического положения и увеличению числа заказов для машиностроительных предприятий.

В настоящее время энергосбережение приобретает особую значимость, охватывая большинство сфер промышленного производства. В частности, большое внимание уделяется повышению эффективности транспортирования горной массы карьерным автотранспортом, основной составляющей которого является расход дизельного топлива. Удельный расход топлива на транспортирование горной массы карьерными автосамосвалами составляет 80 — 140 г/т-км. При этом на перевозку 1 т горной массы требуется до 2 л дизельного топлива, а общая потребность в нем на отдельных предприятиях достигает 100 000 в год. В общей себестоимости транспортирования горной массы расходы на дизельное топливо составляют 15 — 30 %.

Все острее становится проблема систематизации условий эксплуатации карьерного автотранспорта, поскольку многообразие параметров и характеристик карьеров не позволяет удовлетворить индивидуальные требования каждого из них в конструкции автосамосвалов. Отечественные производители карьерных автомобилей поднимают вопрос о целесообразности классифицировать действующие и проектируемые карьеры с учетом их перспективного развития на группы по принципу технолого-экономической значимости автотранспорта в общей системе эффективного функционирования карьера [1]. Такая систематизация необходима как автопроизводителям, так и технологам и проектировщикам горных предприятий, и будет способствовать созданию карьерных автотранспортных средств, отвечающих современным горнотехническим условиям конкретных горнорудных предприятий.

На наш взгляд, целесообразно делить карьеры по характеру условий эксплуатации автомобильного транспорта на типовые группы, или зоны, для чего необходимо установить степень эффективного использования

автомобильного транспорта на рудных карьерах. Под типовыми условиями следует понимать совокупность средних, наиболее вероятных, условий, которые определяют эксплуатационные и технико-экономические показатели работы автотранспортных средств. В настоящее время вся совокупность возможных условий эксплуатации карьерного автотранспорта варьируется в значительных пределах. Максимальной глубиной ведения открытых горных работ на ближайшую перспективу можно считать 800 — 1000 м. Так, установлено, что технические возможности открытого способа, например в Западной Якутии, позволяют освоить глубину до 850 м [2], а дальнейшее развитие карьера «Мурунтау» (Навоийский ГМК), предполагается до глубины 1000 м [3]. В качестве определяющего признака классификации при установлении зон предлагается средневзвешенный продольный уклон автодорог, в значительной мере определяющий условия эксплуатации автотранспорта [4].

Безусловно, основным транспортом в ближайшем будущем останутся классические карьерные автосамосвалы с дизельным двигателем в сочетании либо с гидромеханической, либо с электромеханической трансмиссией и колесной формулой 4×2. Удельная мощность дизельных двигателей всего параметрического ряда карьерных автосамосвалов должна отвечать условиям эксплуатации и наиболее вероятно будет иметь, как минимум, два диапазона — для средних и тяжелых условий эксплуатации. При этом скорость движения на 8-процентных затяжных подъемах должна составлять не менее 18 — 20 км/ч. Но наряду с классическими карьерными автосамосвалами все большее распространение будут находить специализированные и специальные автотранспортные средства. Под специализацией понимается конструктивные изменения автотранспорта. Специализация требует изменения большого количества узлов и агрегатов, и особенно силовой установки, к которой в современных условиях предъявляются высокие требования по экологичности, экономичности, надежности при условии обеспечения высокой производительности автосамосвала, то есть скорости и преодолеваемого уклона. Разработка и применение новых типов энергосиловых установок на карьерном автотранспорте целесообразны в том случае, если они при сохранении достигнутого уровня основных показателей эксплуатации будут иметь ряд преимуществ.

Институт горного дела УрО РАН совместно с институтами и предприятиями (РУПП «БелАЗ», Уралгипрорудой, ООО «ОМЗ-Горное оборудование и технологии», ООО «Уральский дизель-моторный завод», Конструкторское бюро транспортного машиностроения, (г. Омск), УКБТМ (г. Нижний Тагил), ФГУП Уралтрансмаш, УГТУ-УПИ и др.) разрабатывает ряд новых транспортных и погрузочных средств (см. таблицу). Концепция комплекса горно-транспортных средств предложена Институтом горного дела УрО РАН. Рассматриваемые предложения направлены на организацию разработки и производства новых транспортных средств для открытых горных работ.

Ближайшими целями проекта по созданию комплекса специализированных транспортных средств являются: получение подтверждения о технико-экономических и эксплуатационно-технических преимуществах

Перспективные специализированные мобильные карьерные транспортные средства

Транспортное средство	Энергосиловая установка	По сравнению с автосамосвалом		Условия применения	Примерные сроки реализации
		преимущества	недостатки		
Автосамосвал со специальными тормозами	Дизельный двигатель (ДВС)	Способен работать на уклонах 14 % и более при обеспечении всех требований безопасности	Связаны с недостатками традиционных автосамосвалов	Транспортирование горной массы сверху вниз (нагорные карьеры)	2008 — 2012 гг.
Троллейвоз	Питание от троллейной сети (ТрС)	Не требуется нефтяное топливо, повышенная производительность, независимость от климатических условий эксплуатации, безгаражное хранение	Низкая автономность и мобильность	Карьеры, расположенные на расстоянии 15 — 30 км от обогатительных фабрик или на карьерах, имеющих постоянные места погрузки и разгрузки	2008 — 2010 гг.
Турбо-аккумуляторный автосамосвал (ТАА)	Газотурбинный двигатель + аккумулятор энергии (ГТД + АЭ)	Снижается расход топлива, повышается производительность, сохраняется мобильность, автономность, безгаражное хранение	Снижается эффективность работы на дорогах со средне-взвешенным уклоном менее 4 % и расстоянием транспортирования менее 2 км	Глубокие карьеры с высотой подъема горной массы не менее 100 м, расстоянием транспортирования 2 км	2010 — 2015 гг.
Углубочный комплекс в составе погрузочного и транспортного средств	В стадии разработки	Работа на больших уклонах (до 32 %) на нижних горизонтах карьеров глубиной 600 и более метров	Небольшой срок службы техники на гусеничном ходу в условиях карьеров	Расстояние транспортирования 0,3 — 1,0 км, высота подъема до 200 м	2008 — 2012 гг.
Троллейавтопоезд (ТАП)	Питание от троллейной сети	Не требуется нефтяное топливо, повышенная производительность, большая грузоподъемность при высокой маневренности и малых размерах в плане	Низкая автономность, сложность конструкции, специфические условия применения	При комбинированной разработке месторождений (как единое транспортное звено для шахты и карьера)	2010 — 2020 гг.
Троллейно-аккумуляторный самосвал (ТрА)	Питание от троллейной сети + аккумулятор энергии (Тр + АЭ)	Не требуется нефтяное топливо, безгаражное хранение	Ограничение условий эксплуатации	На глубоких карьерах в качестве магистрального транспорта	2009 — 2012 гг.

предложенного комплекса перед существующей горно-транспортной техникой; исследование свойств и отработка конструктивных решений предложенных машин; разработка технологий эффективного применения новых средств геотехники.

Перспективные цели проекта: организация серийного производства предложенных транспортных средств для открытых горных работ, широкое их внедрение на горнодобывающих предприятиях.

Основные особенности предложенных транспортных средств.

1. Троллейвоз — карьерный автосамосвал, не имеющий дизельного двигателя и питаемый электроэнергией от контактной (троллейной) сети через токоприемное устройство. Основной причиной, которая не позволяла эксплуатировать троллейвозы на карьерах, это необходимость переустановки троллейных линий в забое и на отвале. Она устраняется за счет устройства на карьерах постоянных мест погрузки и разгрузки путем организации перегрузочных и приемных складов, бункеров и иными способами. Данное условие позволяет применять на открытых горных работах троллейвозы различной грузоподъемности, адаптированные к конкретным горнотехническим условиям.

2. Автосамосвал с комбинированной энергосиловой установкой (автосамосвал с КЭУ) — карьерный автосамосвал, имеющий в составе энергосиловой установки газотурбинный двигатель (ГТД) и аккумулятор энергии, в которой ГТД работает только при движении автосамосвала в грузовом направлении, а аккумулятор энергии — в порожняковом направлении (т.е. на всех вспомогательных операциях транспортного цикла). Такая конструкция позволяет автосамосвалу использовать рекуперацию энергии торможения при движении под уклон при спуске в карьер и запасать эту энергию в аккумуляторе. В дальнейшем эта энергия используется в тяговом режиме автосамосвала.

3. Гусеничный самосвал — карьерный самосвал на гусеничном ходу, обладающий повышенной маневренностью, способный преодолевать крутые уклоны (до 35 %), сохраняя устойчивость и обеспечивая приемлемую производительность. Самосвал может быть выполнен с поворотной платформой, что повышает его маневренность и функциональность за счет исключения разворотов на площадках погрузки и разгрузки.

4. В целях повышения эффективности работы транспортных систем при комбинированной разработке месторождений возникла необходимость создания транспортного средства, которое бы учитывало специфику ведения открытых и подземных горных работ, имело возможность движения по крутым уклонам, высокую грузоподъемность при малом сечении подземных горных выработок. В ИГД УрО РАН ведутся исследования по разработке и внедрению специализированного вида карьерного транспорта — троллейавтопоезда (ТАП) — для комбинированной разработки месторождений. Суть его работы заключается в том, чтобы из забоя (или с перегрузочного пункта) в шахте вывезти всю добытую руду без дополнительных перегрузок, используя карьерное пространство. Под ТАП подразумевается автопоезд на колесном ходу с троллейным питанием, состоящий из нескольких вагонов-прицепов, вытянутых в длину для достижения высокой грузоподъемности при небольших размерах

в поперечном сечении. Не исключается возможность использования дизель-троллейвозного варианта, как и собственно автопоезда (с дизельными двигателями). Вариант автопоезда в троллейном исполнении предназначается в первую очередь для месторождений, расположенных в районах с высокой стоимостью дизельного топлива (например, для районов Севера или районов, где электроэнергия доступнее нефтяного топлива). Возможно исполнение машины и с другими вариантами энергосиловых установок.

Основные преимущества, обеспечиваемые предложенным комплексом карьерных транспортных средств:

1. Троллейвоз обладает повышенной производительностью, высокой надежностью, что особенно актуально в суровых климатических условиях. Троллейвоз не имеет выхлопа отработавших газов, что обеспечивает высокие экологические качества. Троллейвоз имеет низкие эксплуатационные затраты, которые, несмотря на достаточно высокие первоначальные капитальные затраты (на строительство контактных линий), обеспечивают существенное снижение себестоимости транспортирования горной массы. Эксплуатация троллейвозов в качестве магистрального транспорта на горных предприятиях с расстоянием транспортирования от 3 до 30 км, а в отдельных случаях до 50 км, позволяет сократить объем горнокапитальных работ, расход топлива, выбросы вредных веществ с отработавшими газами, повысить производительность, а также снизить эксплуатационные затраты на транспортирование горной массы. Питание технологического транспорта электроэнергией, вырабатываемой на местных источниках энергии (гидроэлектростанции, миниэлектростанции на добываемом угле, местных видах топлива и др.) в отдаленных регионах зачастую значительно выгоднее, чем доставка дизельного топлива за многие тысячи километров. Так, в Западной Якутии до 40 % стоимости дизельного топлива составляют расходы на его доставку.

2. Карьерный автосамосвал с КЭУ обладает повышенной производительностью; токсичность отработавших газов низкая, что исключает простои горного оборудования из-за сверхнормативного загрязнения атмосферы карьера. При повышенной производительности автосамосвал обладает пониженным расходом топлива (за исключением условий транспортировки по горизонтали на большие расстояния, когда использование рекуперации энергии практически исключено). Такой автосамосвал способен без потери производительности преодолевать большие уклоны, чем традиционные карьерные автосамосвалы, поэтому его применение обеспечивает снижение объема извлекаемой пустой породы за счет увеличения уклонов карьерных автодорог, что приводит к снижению затрат на добычу полезного ископаемого.

3. Гусеничный самосвал способен надежно работать в стесненных условиях глубинной зоны карьера, преодолевая затяжные крутые уклоны. Повышенные уклоны обеспечивают: значительное сокращение объемов вскрыши, возможность дополнительно добывать оставляемую при современных технологиях часть полезного ископаемого под дном карьера и в прибортовых целиках, значительное уменьшение расстояние

транспортирования, а следовательно, необходимого рабочего парка транспортного оборудования. Конструкция гусеничного самосвала обеспечивает уменьшение его ширины по сравнению с существующими образцами карьерных автосамосвалов, что позволяет уменьшить ширину автодорог в карьере и дополнительно уменьшить объем вскрыши.

4. При определенных горнотехнических условиях троллейавтопоезд может обеспечить перемещение горной массы от забоя до поверхности, имея при этом следующие преимущества перед другими транспортными средствами: 1) более крутые уклоны транспортных коммуникаций (больше 8 %), а следовательно, снижение объемов работ по вскрытию месторождения; 2) отсутствие загазованности благодаря использованию электроэнергии, а следовательно, меньшие затраты на систему вентиляции и простои, отсутствие затрат на нефтяное топливо; 3) большая грузоподъемность при малых габаритных показателях (ширина — высота), благодаря автопоездной компоновке; 4) повышение производительности за счет подъема (спуска) горной массы из подземных выработок на поверхность через карьерное пространство, без дополнительных перегрузок, с большой скоростью на подъеме; 5) возможность автоматизации процесса транспортирования; 6) отсутствие сложного путевого развития (как при электровозном транспорте), а следовательно, снижение затрат на монтажные и ремонтные работы; 7) снижение затрат: а) отсутствие необходимости в крупном поверхностном (подъемные установки, бункера и т. д.) и подземном дробильном комплексах (возможность транспортировать крупнокусковую горную массу); б) простота и дешевизна околоствольного двора; в) относительно малые сечения выработок, а следовательно, снижение объемов работ по вскрытию месторождения; 8) низкий уровень шума.

К настоящему времени по проекту выполнено следующее.

Троллейвоз. Проработаны компоновочные решения троллейвоза, предложены общие конструктивные решения, определяемые технологией ведения открытых горных работ. К производству троллейвозов готов приступить РУПП «БелАЗ» (Республика Беларусь, г. Жодино). В проекте также готовы участвовать ОАО «Институт «Уралгипроруда», ФГУП КБ «МОТОР» (г. Москва).

Автосамосвал с КЭУ. Проработаны компоновочные решения автосамосвала с КЭУ, предложены параметры энергосиловой установки. Свою заинтересованность в разработке автосамосвалов с КЭУ высказало руководство РУПП «БелАЗ». Обоснованы условия применения на карьерах. Определены потенциальные производители комплектующих: ММПП «Салют» (газотурбинные двигатели), ЗАО «ЭСМА» (аккумуляторы энергии) и др.

Гусеничный самосвал. По разработанному ИГД УрО РАН техническому заданию выполнены технические предложения на создание гусеничного самосвала грузоподъемность 25 — 30 и 40 — 43 тонн предприятиями ФГУП КБТМ (г. Омск) и ФГУП УКБТМ (г. Нижний Тагил). Рассматривается вариант изготовления гусеничного самосвала на базе техники ОАО «ЧТЗ-Уралтрак» грузоподъемностью порядка 10 т. Выпуск вспомогательной техники на гусеничном ходу (машины для доставки лю-

дей и грузов, буровые станки, зарядные машины и др.) может осуществлять ФГУП «Уралтрансмаш», ОАО «НИПИГОРМАШ». Для гусеничного самосвала ФГУП УКБТМ определены стоимость серийного образца и общие затраты на проектирование, испытание и постановку в серийное производство гусеничного самосвала.

Троллейавтопоезд. Обобщен опыт испытаний экспериментального образца шахтного автопоезда АШ-75 (предприятие-изготовитель ОАО «НИПИГОРМАШ»). Разработано техническое задание на создание шахтного автопоезда, учитывающее современные условия на горнодобывающих предприятиях и достижения науки и техники.

Анализ потребности в новых транспортных средствах проводится ИГД УрО РАН совместно с рядом проектных институтов. Так, совместно с Уралгипрорудой проведено исследование возможности применения комплекса новых транспортных средств на существующих и перспективных карьерах Уральского региона, достигающих своих предельных контуров. В большинстве случаев их дальнейшая отработка требует расширения их границ в плане, что зачастую осложнено внешними факторами или экономически неэффективно из-за необходимости выемки больших объемов вскрышных пород. Возникает острая необходимость в новом подходе к отработке глубинных запасов существующих карьеров, особенно это касается транспортной составляющей. Комплекс новых транспортных средств позволяет уменьшить затраты на транспортирование горной массы с больших глубин.

Совместно с институтом Якутнипроалмаз АК «АЛРОСА» проведены исследования возможности применения гусеничных самосвалов на кимберлитовых карьерах Западной Якутии. Расчеты показали значительный эффект от внедрения предложенной техники.

Потребность в таких транспортных средствах не ограничивается рассмотренными в рамках указанной работы предприятиями. Хотелось бы отметить высокие показатели экономии суммарных годовых эксплуатационных затрат во всех вариантах и особенно при применении троллейвозов на сложившихся постоянных дорогах с повышением их качества и автосамосвалов с КЭУ, позволяющих достигать ощутимой экономии дизельного топлива. Гусеничный самосвал при его использовании как вскрывающего новые горизонты углубочного комплекса и позволяющего при помощи повышения транспортного уклона, а следовательно, и общего угла борта карьера добывать дополнительные объемы руды ниже проектных отметок карьера и возможного контура для автомобильного транспорта при этом значительно понизить текущий коэффициент вскрыши.

Осуществление проекта требует взаимодействия большого числа предприятий и организаций и значительных объемов финансирования. Институтом горного дела УрО РАН налажены связи с потенциальными производителями машин в целом и комплектующих для них. Большую часть научно-технических разработок и производства можно осуществлять на Урале, поскольку здесь сложилась развитая инфраструктура научно-исследовательских и проектных институтов, машиностроительных предприятий соответствующего профиля. Достигнуты договоренности о

принципиальном участии ряда предприятий в осуществлении проекта. В реализации проекта заинтересован крупнейший мировой производитель карьерной автотехники — РУПП «БелАЗ». Предложена структура взаимодействия предприятий при осуществлении проекта, для чего необходимо выполнить следующее. Провести технические проработки предложенного комплекса карьерных транспортных средств. Наладить взаимодействие предприятий по созданию новых транспортных средств. Определить объем необходимых средств и организовать финансирование проекта. Проработать проектные решения по технологии ведения открытых горных работ. Решение такой комплексной задачи не под силу одной или нескольким организациям. Необходим некий координирующий орган (например, научно-технический совет), который мог бы заниматься организацией взаимодействия по всем указанным вопросам.

Литература

1. *Егоров А. Н.* Силовые агрегаты карьерных автосамосвалов / А. Н. Егоров, В. Т. Войтов // Горный журнал. — 2004. — № 8. (Спец. вып.). — С. 75 — 77.
2. *Акишев А. Н.* Управление развитием рабочей зоны кимберлитовых карьеров / А. Н. Акишев и др. // Горная промышленность. — 2004. — № 1. — С. 53 — 59.
3. *Камнев Е. Н.* Вклад ВНИПИПромтехнологии в становление и развитие карьера «Мурунтау» / Е. Н. Камнев и др. // Горный журнал. — 2007. — № 5. — С. 14 — 18.
4. *Яковлев В. Л.* Новый взгляд на карьерный автомобильный транспорт / В. Л. Яковлев и др. // Изв. вузов. Горный журнал. — 2006. — № 6. — С. 97 — 107.

УДК 622.684:629

УЧЕТ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ ПРИ ОЦЕНКЕ ОПТИМАЛЬНОГО СРОКА СЛУЖБЫ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ

А. В. Глебов, Г. Д. Кармаев

При решении оптимизационных задач существенным фактором оценки экономической эффективности является учет результатов и затрат во времени, т. е. необходимо оценить фактор времени количественно и выразить его в денежной форме. Поэтому для получения сопоставимых затрат и доходов они приводятся к одному моменту оценки по сложным процентам путем умножения действительных затрат каждого года на соответствующий коэффициент приведения прошлых или будущих лет [1].

При оценке рационального срока службы и момента списания конкретных карьерных самосвалов нет необходимости рассчитывать дисконтированные затраты и доходы, поскольку нет сравниваемых вариантов применения того или иного типа самосвала. Однако в процессе эксплуатации самосвала фактор времени, на наш взгляд, следует учитывать потому, что деньги, вложенные на его покупку в момент начала эксплуатации, будут существенно меньше стоить к моменту выработки самосвалом 90 %-ного ресурса (к концу эксплуатации). Стоимость самосвала к моменту списания ($C_с$), приведенная к году начала его эксплуатации, определяется по формуле

$$C_с = C_н/K_д^t = C_н/(1 + E)^t,$$

где $C_н$ — начальная стоимость самосвала на момент сдачи его в эксплуатацию.

Графическая интерпретация изменения приведенной стоимости самосвала по мере его эксплуатации при норме дисконта E = 12 % приведена на рис. 1, где очевидно, что деньги обесцениваются (дешевеют) к 8-му году эксплуатации почти в 2,5 раза (линия *1*). Это означает, что при покупке нового самосвала в этот год его цена в текущих затратах будет в 2,5 раза выше (линия *2*).

Фактор времени имеет существенное значение при начислении амортизационных отчислений в части накопления средств на реновацию оборудования. При начислении амортизационных отчислений равными долями от стоимости самосвала в течение периода эксплуатации, определяемого сроком службы в годах, исходя из 90 % ресурса, или пробегом, погашается первоначальная стоимость самосвала. Для примера на рис. 1 показано изменение накопленной суммы прямых амортизационных отчислений (линия *3*) в течение срока службы самосвала, принятого равным 7 лет. Очевидно, что сумма накопленных амортизационных отчислений значительно меньше стоимости будущих закупок в текущих ценах к моменту списания самосвала (линия *2*). Из этого следует, чтобы накопить сумму, необходимую для покупки нового самосвала на замену списываемого, амортизационные отчисления целесообразно производить с учетом коэффициента дисконтирования (линия *4*). Вид линии *4* имеет нелинейный характер, что указывает на неравномерность амортизационных отчислений по годам. В табл. 1 годовые (числитель) и суммарные (знаменатель) амортизационные отчисления

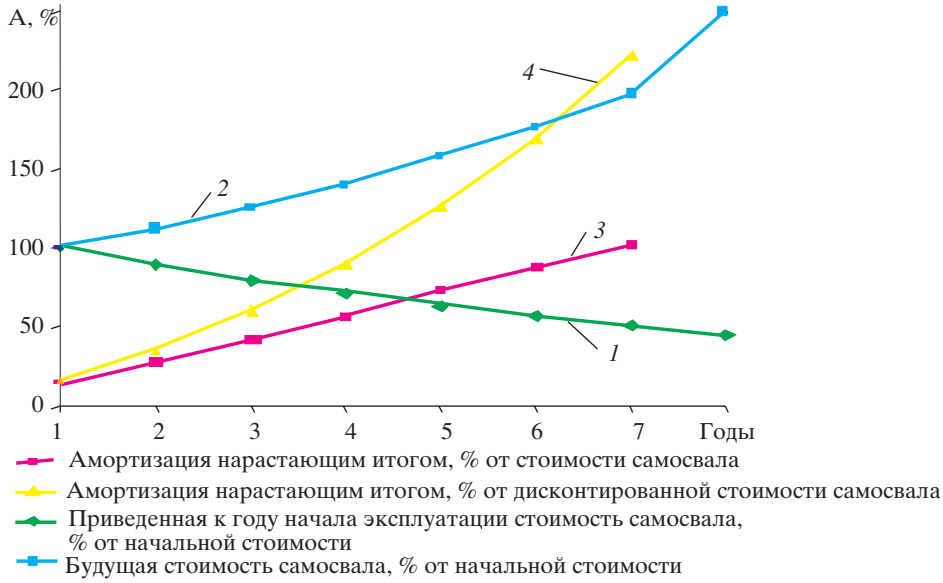


Рис. 1. Изменение стоимости самосвала и амортизационных отчислений с учетом фактора времени (по годам эксплуатации)

в % от первоначальной стоимости самосвала. Данные табл. 1 показывают, что дисконтирование прямых равномерно распределенных по годам амортизационных отчислений существенно изменяет их годовые потоки. Причем наибольшая годовая доля отчислений (более 50 % начальной стоимости) приходится практически на последний год эксплуатации самосвала, когда его техническое состояние не позволяет работать с производительностью, адекватной повышенным затратам. Это свидетельствует о том, что необходимо разрабатывать научно обоснованные нормы амортизационных отчислений на карьерные самосвалы и другую геотехнику. Вариантов может быть несколько, например: равномерное распределение по годам (по пробегу); больший процент отчислений производить в первые годы эксплуатации самосвала; увязать амортизационные отчисления с моментами проведения крупных ремонтов (например, капитальных) и др. Выбор

Таблица 1

Амортизационные отчисления на самосвал, % от начальной стоимости

Амортизационные отчисления	Год						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
Прямые (не дисконтированные) равномерно распределенные по годам	14,3 14,3	14,3 28,6	14,3 42,9	14,3 57,2	14,3 71,5	14,3 85,9	14,3 100,1
Дисконтированные прямые	16,0 16,0	19,9 35,9	24,1 60,0	30,0 90,0	36,0 126,0	43,3 169,3	51,7 221,0

метода амортизации самосвалов должен основываться на денежных потоках в период эксплуатации оборудования.

Учет фактора времени также весьма важен при планировании расходов на запасные части для ремонта самосвалов. Завод-изготовитель (РУПП «БелАЗ») годовые расходы на запасные части рекомендует принимать в % от стоимости самосвала. Пример приведен на рис. 2, линия *1*. Однако, учитывая повышение цены будущих покупок, рекомендуемых средств при текущей (нынешней) стоимости денег окажется недостаточно для приобретения полного годового объема запасных частей. Поэтому, чтобы сохранить годовые объемы закупки необходимых запасных частей на уровне рекомендуемых, затраты на них нужно планировать с учетом коэффициента дисконтирования по выражению

$$З_{з.ч} = З_{з.ч.р} K_д^t = З_{з.ч.р} (1 + E)^t,$$

где $З_{з.ч}$ — дисконтированные затраты на запасные части;

$З_{з.ч.р}$ — рекомендуемые затраты на запасные части.

В пересчете на дисконтированные затраты относительная стоимость запасных частей существенно выше рекомендуемых (рис. 2, линия *2*).

Целесообразность учета фактора времени подтверждается анализом изменения себестоимости транспортирования горной массы самосвалами на карьерах. Для примера в табл. 2 приведена себестоимость 1 т-км транспортной работы самосвалов разных моделей в АК «АЛРОСА» (рис. 3) [2]. Количественно фактор времени учитывается путем приведения разновременных затрат к одному моменту оценки по сложным процентам. В этом случае затраты разных лет становятся сопоставимыми и могут быть суммированы [1]. Их называют дисконтированными.

Для дисконтирования необходимо действительные затраты каждого года умножить или разделить на соответствующий коэффициент приведения в зависимости от момента приведения (затраты прошлых лет ум-

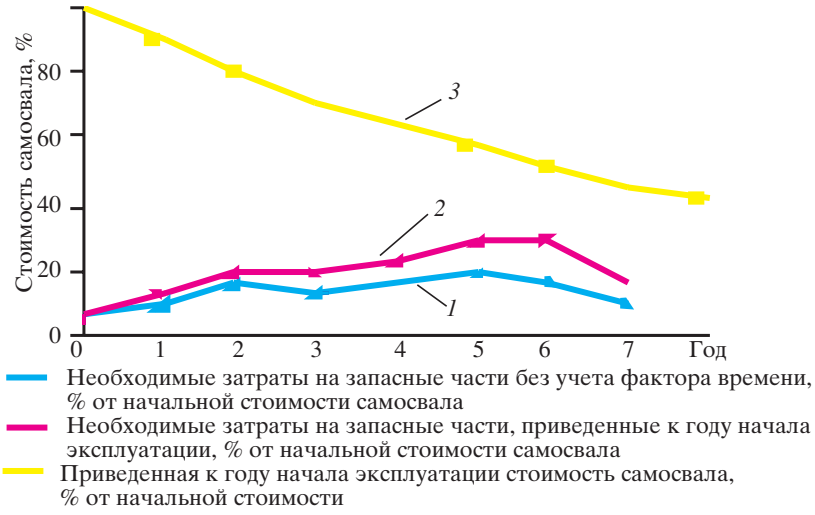


Рис. 2. Изменение стоимости самосвала БелАЗ-75131 и затрат на запасные части с учетом фактора времени (по годам эксплуатации)

Таблица 2

Себестоимость 1 т-км транспортной работы самосвалов

Модель самосвала	Себестоимость 1 т-км по годам, руб.						% в 2004 г. к 1999 г.
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	
HD-1200	2,88	4,23	6,37	4,65	5,18	5,2	181
Cat-785	2,46	3,96	4,38	5,31	5,99	5,43	221
БелАЗ-75125	2,28	2,88	4,2	4,0	4,27	4,15	182
Haulpak 510E	2,47	3,74	4,64	4,69	5,49	7,42	263
БелАЗ-7548 (Мирнинский ГОК)	3,02	4,02	5,68	5,49	6,21	7,05	233
БелАЗ-7548 (Айхальский ГОК)	2,28	3,74	4,64	4,69	5,49	7,42	263

ножаются, будущих — делятся). Рассматривая общее увеличение затрат на 1 т-км транспортной работы в 2004 г. по отношению к 1994 г. коэффициент приведения затрат 1999 г. к 2004 г. равен для самосвалов: БелАЗ-7548 (Мирнинский ГОК) — 1,18; БелАЗ-7548 (Айхальский ГОК) — 1,21; HD-1200 — 1,13; БелАЗ-75125 — 1,13; Cat-785 — 1,17; Haulpak 510E — 1,08. Из рис. 4 — 7 видна достаточная сходимость дисконтированных и фактических затрат, что позволяет применять дисконтирование при прогнозировании себестоимости транспортирования горной массы самосвалами. Если рассматривать статьи расходов, учитываемых в себестоимости транспортной работы карьерных самосвалов, то дисконтирование можно проводить для тех затрат, которые принимаются как доля начальной стоимости машин. К таким затратам при эксплуатации самосвалов можно отнести амортизационные отчисления, которые начисляются

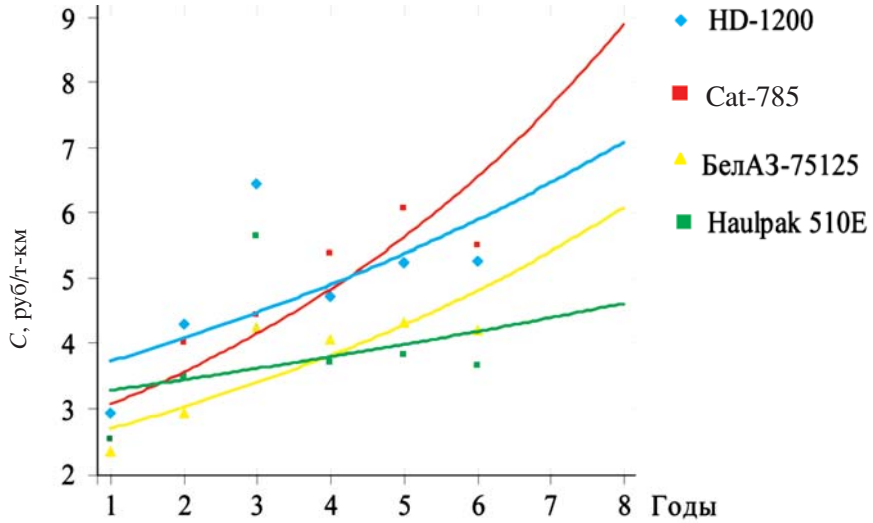


Рис. 3. Изменение себестоимости транспортирования 1 т-км на предприятиях АК «АЛРОСА» различными самосвалами

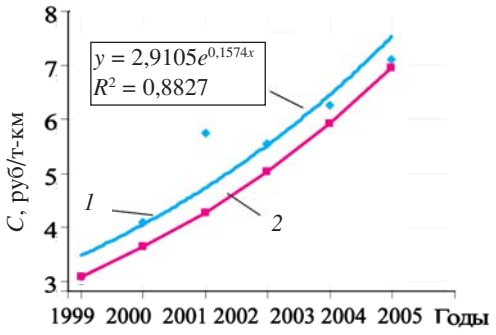


Рис. 4. Изменение фактических (линия *1*) и дисконтированных (линия *2*) затрат на транспортирование самосвалами БелАЗ-7548 на Мирнинском ГОКе АК «АЛРОСА»

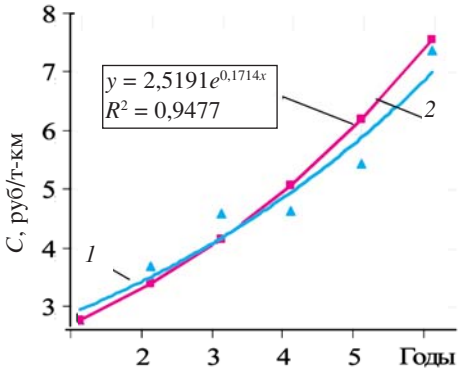


Рис. 5. Изменение фактических (линия *1*) и дисконтированных (линия *2*) затрат на транспортирование самосвалами БелАЗ-7548 на Айхальском ГОКе АК «АЛРОСА»

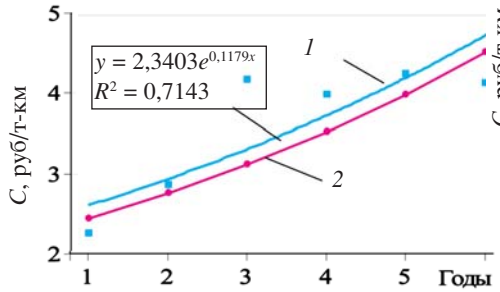


Рис. 6. Изменение фактических (линия *1*) и дисконтированных (линия *2*) затрат на транспортирование самосвалами БелАЗ-75125 на предприятиях АК «АЛРОСА»

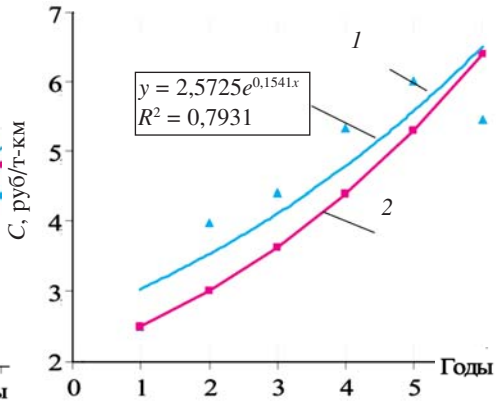


Рис. 7. Изменение фактических (линия *1*) и дисконтированных (линия *2*) затрат на транспортирование самосвалами Cat-785 на предприятиях АК «АЛРОСА»

в % от первоначальной стоимости самосвала в зависимости от его 90 %-ного ресурса, а также затраты на запасные части для проведения плановых ремонтов, рекомендуемые заводом изготовителем в % от первоначальной стоимости.

Литература

1. *Хохряков В. С.* Оценка эффективности инвестиционных проектов открытых горных разработок: учебное пособие / В. С. Хохряков. — Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1996. — 180 с.

2. Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке / П. Л. Мариев и др. — СПб: Наука, 2006. — 387 с.

УДК 622.684

КАРЬЕРНЫЙ АВТОСАМОСВАЛ ИГД УрО РАН

А. В. Зубков

В мировой практике продолжается соревнование за увеличение грузоподъемности карьерных автосамосвалов. В настоящее время автосамосвалы БелАЗ-75600 имеет грузоподъемность 320 т; Terex UnitRigMT5500 326 т; Caterpillar-7978 345 т и Liebherr T282B 363 т.

Идея создания автосамосвала большой грузоподъемности оригинальной конструкции появилась в ИГД МЧМ СССР и начале 1970-х годов. В 1975 г. компоновочная схема такого автосамосвала была обсуждена автором с М. В. Васильевым и была одобрена. В результате созданы патентоспособные:

— рама и кузов [1];
— свечная пневмоподвеска [2];
— рулевой привод и механизм;
— тормозная система: основная и стояночная;
— гидропривод в ступицах колес;
— гидронасос;
— гидрорукав большого диаметра;
— ряд более мелких технических решений.

Предлагаемый автосамосвал (рис. 1) с боковой разгрузкой на обе стороны отличается симметричностью: имеет спереди и сзади одинаковое число управляемых колес, допускает установку двух двигателей и двух кабин — спереди и сзади. Может двигаться под углом 30° к продольной оси при разгрузке на отвале. При использовании шин размером 40.00 — 57 имеет следующие технические характеристики:

Колесная формула	6×4
Грузоподъемность, т	430
Геометрический объем кузова, м^3	200
База, м	13
Радиус поворота по колее переднего внешнего колеса, м	16
Габариты:	
длина, м	18
ширина, м	8,8
высота, м	6,1
Масса (без груза), т	210
Тип трансмиссии	Гидравлическая
Давление в гидросистеме, атм	До 50
Тяга на крюке при скорости 15 км/ч четырех пар колес, т	104
Подвеска	Свечная

Автосамосвал содержит раму *1* с нишами *2* для колес *3*; стенки *4* ниш, контактирующие с кузовом *5*, выполнены наклонными и параллельными

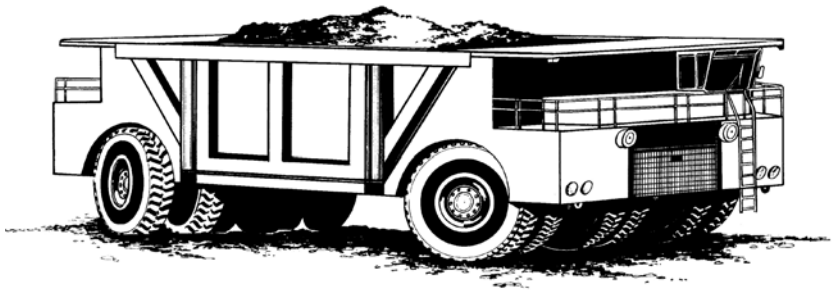


Рис. 1. Карьерный автосамосвал конструкции ИГД УрО РАН

заднему *6* и переднему *7* бортам кузова *5* и охватывают эти борта по всей высоте. На вертикальных стенках *8* ниш *2* смонтированы фиксаторы *9* для соединения верхних углов кузова *5* с рамой *1* (рис. 2). Кузов *5* транспортного средства представляет собой в продольном сечении трапецию с меньшим основанием внизу, а передний *7* и зданий *6* борта наклонены под углом 45° (при меньшем или большем угле наклона уменьшается полезный объем кузова). Боковые борта *13* кузова *5* выполнены с вертикальными углублениями (два на каждом борту) для установки силовых цилиндров опрокида *14*. Корпусы *15* цилиндров *14* с помощью шарниров *16* закреплены на боковых бортах *13*, а штоки *17* цилиндров *14* соединены с рамой *1*. Кроме того, для придания большей жесткости боковые борта *13* выполнены с верхними горизонтальными балками *18*, имеющими на концах выступы *19*. На балках *18* подвешены створки *20* для разгрузки.

Во время движения рама и кузов жестко соединены в четырех точках *19* вверху и четырех точках внизу силовыми цилиндрами *14*. В результате этого получается жесткая арочная конструкция.

Подвеска управляемого колеса автосамосвала (рис. 3) представлена следующим образом. На раме *1* с помощью шарнира *2* закреплен пневмоцилиндр *3* с полым поршнем *4*, который жестко закреплен с мотор-колесами, состоящими из гидродвигателя *5*, встроенного в сдвоенные коле-

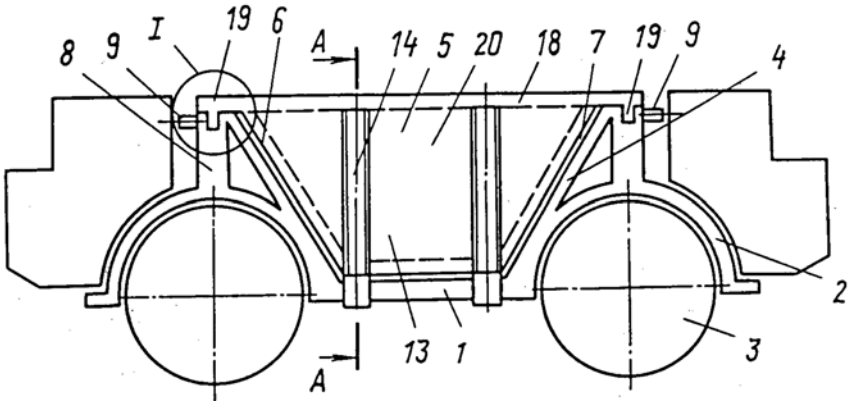


Рис. 2. Эскизная схема автосамосвала

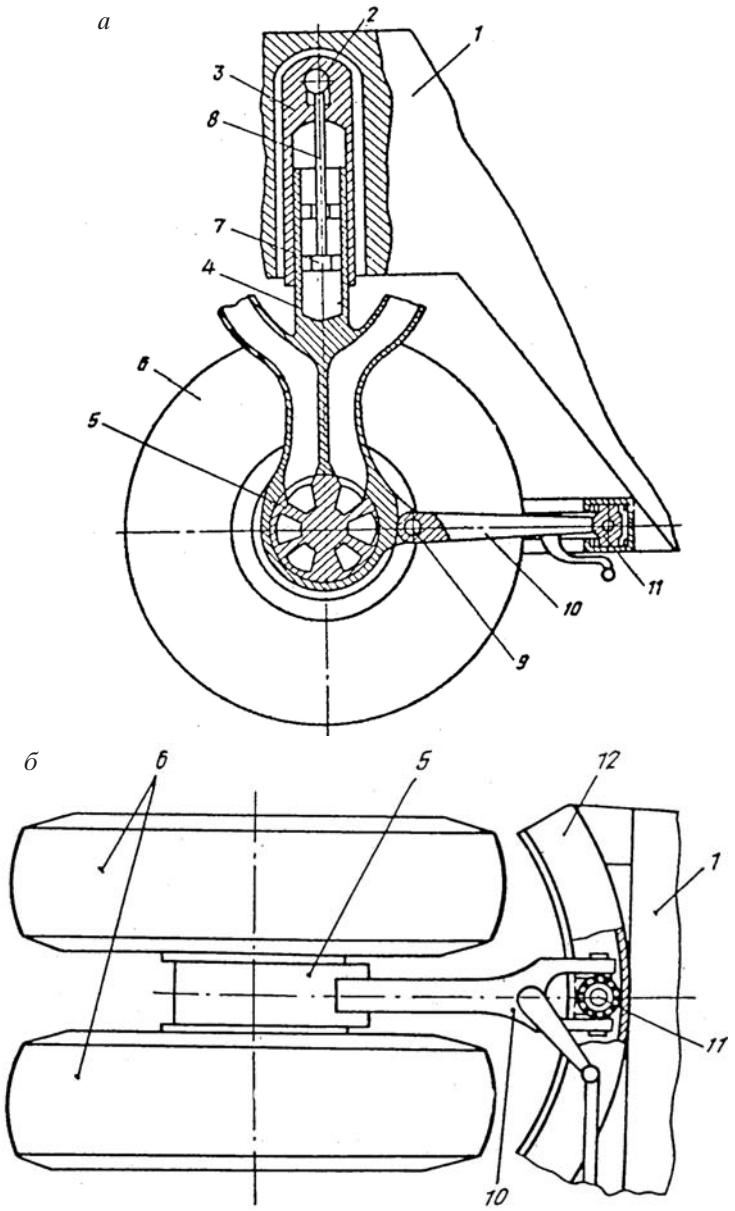


Рис. 3. Свечная подвеска: *а* — вид сбоку, *б* — вид снизу

са *6*. В полом поршне *4* смонтирован гидроамортизатор *7* со штоком *8*, жестко соединенный с пневмоцилиндром *3*. С корпусом гидродвигателя *5* шарниром *9* соединен направляющий поворотный рычаг *10*, одновременно выполняющий функцию передачи тяговых усилий. Другой конец поворотного рычага *10* соединен с кареткой *11*, установленной внутри криволинейной балки *12* коробчатого сечения и изогнутой по окружно-

сти, центр которой находится на пересечении осей пневмоцилиндра и мотор-колес. Криволинейная балка *12* жестко связана с рамой *1* транспортного средства. Поворотный рычаг *10* связан с рулевыми тягами (не показаны) для обеспечения поворота колес транспортного средства.

Максимальный угол поворота, например, трех пар сдвоенных колес возможен до 35°. При повороте передних и задних колес на 30° в одну сторону самосвал на отвале для полной разгрузки кузова может отъезжать по диагонали. Порода колес не засыпает. Колесный модуль крепится к раме в двух местах и для его снятия необходимо отсоединить шарнир *2* силового пневоцилиндра вверху, шарнир продольной тяги *9*, рукава гидросистемы и опустить модуль вниз.

Используя традиционные шины меньших размеров, можно создать автосамосвалы меньших габаритов и грузоподъемности. Так, 110- и 180-тонные самосвалы будут иметь высоту на 1,5 м, ширину на 1 м, радиус поворота на 1 — 2 м меньше, чем у ныне существующих.

Предложен также оригинальный вариант работы шины и на его основе разработана конструкция низкопрофильной крупногабаритной шины с допустимыми нагрузками на 70 — 80 % больше, чем у традиционных шин с одинаковым наружным диаметром [3]. Характеристики новых шин:

Размер шины	21.00 — 48	27.00 — 74	33.00 — 80	40.00 — 92
Наружный диаметр, мм	2000	2690	3022	3550
Ширина профиля, мм	570	737	915	1100
Высота профиля, мм	320	420	510	600
Статистический радиус, мм	960	1300	1460	1715
Допустимая нагрузка, кН	200	420	580	890
Масса шины не более, кг	—	1100	1800	3000
Шина-аналог по допустимой нагрузке	27.00 — 49	37.00 — 54	44.00 — 69	52.00 — 75

Большой внутренний диаметр шины открывает широкие возможности для размещения внутри шины тормозной системы, электродвигателей, редукторов или гидродвигателей.

Использование шин 40.00 — 92 на автосамосвале предлагаемой конструкции позволит поднять его грузоподъемность до 750 т, и размеры составят: длина 23 м; ширина 8,8; высота 6,1. К примеру, БелАЗ-75600 грузоподъемностью 320 т имеет длину 14,9 м, ширину 9,25 м и высоту 7,22 м.

Литература

1. А. с. 1216048 СССР, МКИ4 В 60 Р 1/16, 1/28. Самосвальное транспортное средство / А. В. Зубков, В. П. Смирнов (СССР). — № 3766520/27-11; заявл .09.07.84, опубл. 07.03.86, Бюл. № 9.

2. А. с. 1289701 СССР, МКИ4 В 60 С 3/00. Подвеска управляемого колеса транспортного средства / А. В. Зубков, В. П. Смирнов (СССР). — № 3681501/22-11; заявл. 27.12.83; опубл. 15.02.87, Бюл. № 6.

3. Пат. 2079238 Российская Федерация, МПК 6 В 60 С 3/04. Многополостная шина / А. В. Зубков; заявитель и патентообладатель ИГД УрО РАН. — № 94018192/11; заявл. 18.05.94; опубл. 10.05.97, Бюл. № 13.

УДК 622.458

К ВОПРОСУ НОРМАЛИЗАЦИИ АТМОСФЕРЫ КАРЬЕРОВ

М. М. Конорев

Проблема нормализации атмосферы карьеров возникла в конце пятидесятых — начале шестидесятых годов прошлого века с углубкой ряда карьеров свыше 100 — 150 м и появлением на них первых отечественных большегрузных (по тем временам) экологически несовершенных карьерных автосамосвалов МАЗ-525, которые явились основной причиной начавшихся простоев карьеров из-за сверхнормативного загрязнения их атмосферы. К решению данной проблемы подключился ряд НИИ, вузов, возникла отрасль науки «Аэрология карьеров», которая комплексно рассматривает создание способов и средств нормализации условий труда на открытых работах. В своем заключении редактор классического учебника «Аэрология карьеров» [1, с. 4] академик АН СССР В. В. Ржевский сказал: «Эта научная дисциплина по праву заняла свое место среди дисциплин, формирующих профиль знаний современного горного инженера — руководителя открытых горных разработок». Одним из направлений этой науки является искусственное проветривание — вентиляция карьеров.

Одной из первых работ, посвященных вентиляции карьеров, была работа член-корреспондента украинской академии наук Ф. А. Абрамова, опубликованная в 1957 г. [2]. С конца 1950-х и до конца 1970-х годов шли интенсивные теоретические и экспериментальные исследования, направленные на улучшение естественного проветривания и разработку средств и способов искусственной вентиляции карьеров. В этот период был создан ряд экспериментальных установок на базе реактивных двигателей ВК-1, РД-3М-500 и промышленных вентиляторов на базе вертолетных винтов (Ми-2, Ми-4) и винтомоторных групп самолетов начиная с АН-2 и кончая Ту-114 (ТУ-95); разработан специальный карьерный вентилятор ПВУ-6; тепловые установки — «метеотроны»; рассматривались способы проветривания карьеров через подземные выработки и специальные трубы. По всему этому перечню библиографические данные приведены в работе [3].

Главной стратегической ошибкой большинства исследователей было то, что делались попытки с помощью единичных установок проветрить несопоставимые по требуемым мощностям объемы выработанного пространства карьеров. Наиболее ярким примером являются исследования, выполненные на карьере трубки Мир (в период его эксплуатации) АК «АЛРОСА», и именно там был выполнен основной объем испытаний единичных тепловых установок и установок местного проветривания на базе вертолетного и самолетного винтов. С помощью единичных установок местного проветривания типа УМП [4], исходя из их назначения, или тепловых установок УТСМ, которые в периоды глубоких инверсий становились дополнительными источниками

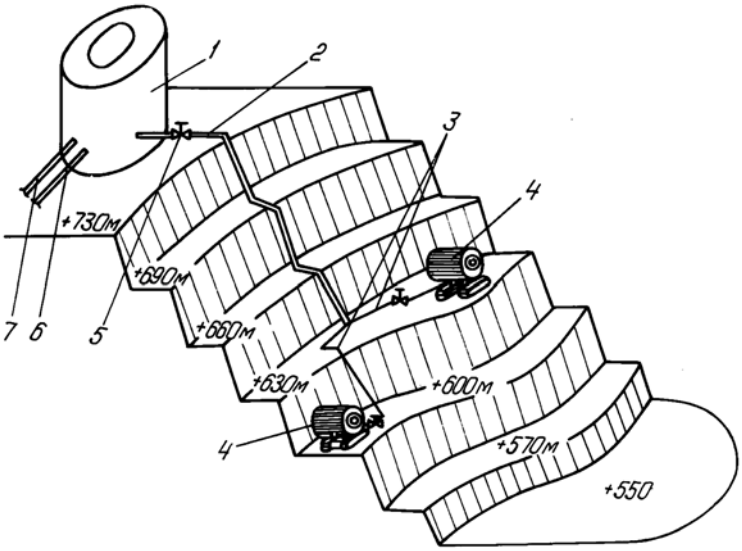


Рис. 1. Схема системы всесезонного пылегазоподавления в карьере Приаргунского горно-химического комбината

загрязнения атмосферы, в принципе не могла быть решена проблема нормализации санитарно-гигиенических параметров атмосферы такого карьера, как Удачный.

Исследователи школы карьерных аэрологов, созданной докторами технических наук, профессорами К. В. Кочневым и С. С. Филатовым в ИГД МЧМ СССР, исходя из анализа многолетних исследований пришли к выводу о необходимости создания систем вентиляции и пылегазоподавления на базе мощных турбовентиляторов — генераторов искусственных осадков. Эта идея была успешно реализована в конце 1970-х — начале 1980-х годов на уранодобывающих карьерах Целинного и Приаргунского горно-химических комбинатов с использованием турбовентиляторов НК-12КВ [5, 6], причем на карьере последнего была создана система вентиляции и всесезонного пылегазоподавления (рис. 1 и 2). Главным результатом этих исследований является то, что была доказана возможность пылегазоподавления в атмосфере карьера при отрицательных температурах, а также был сделан вывод о том, что «чистая» вентиляция карьеров может применяться лишь тогда, когда невозможно связать загрязняющие атмосферу ингредиенты, например, инертный радиоактивный радон.

В то же время Институтом горного дела МЧМ СССР и Якутнипроалмаз был разработан проект системы вентиляции и пылегазоподавления карьера Мир, при реализации которого ставилась задача всесезонного подавления вредных примесей в атмосфере карьера, в том числе и сероводорода, выделявшегося из подмерзлотных вод [7].

При выборе средств для создания систем вентиляции карьера необходимо учитывать энергозатраты на компенсацию дефицита энергии неус-

Рис. 2. Работа НК-12КВ в карьере Тулукуй в режиме генератора снежных осадков

тойчивости ΔE его атмосферы в инверсионные периоды, которая в общем виде определяется из выражения

$$\Delta E_y = (E_п + E_в)_и - (E_п - E_в)_а, \quad (1)$$

где $E_п$, $E_в$ — соответственно, потенциальная и внутренняя энергии атмосферы карьера, Дж; индексы а, и — соответственно, адиабатическое и инверсионное состояние.

В качестве примера приводим оценку дефицита энергии неустойчивости атмосферы карьера Мурунтау НГМК, которая была выполнена по трем этапам его отработки до глубины 300, 400 и 600 м (рис. 3). Так как в периоды инверсий атмосфера карьера оказывается замкнутой, то можно считать, что выделяющаяся при работе средств искусственной вентиляции энергия полностью расходуется на изменение ΔE_y. При определенном времени работы средств искусственной вентиляции в процессе разрушения температурных инверсий $\tau = (1 - 1{,}5)$ число установок общеобменного проветривания (НК-12КВ) можно ориентировочно определить по формуле

$$Z = \frac{\Delta E_y}{\tau_в N_1}, \quad (2)$$

где N_1 — единичная мощность одной установки, Дж/ч.

Для турбовентилятора-оросителя НК-12КВ $N_1 = 10^{11}$ Дж/ч при расходе топлива $G\tau = 2300$ кг/ч.

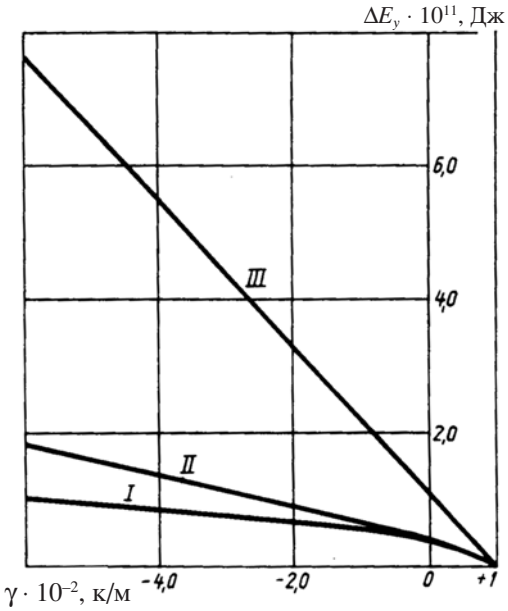


Рис. 3. Оценка дефицита энергии неустойчивости атмосферы карьера для трех этапов отработки:
I этап — $H_{кI}$ = 270 м, $V_{кI}$ = 680 · 10^6 м^3;
II этап — $H_{кII}$ = 360 м, $V_{кII}$ = 1080 · 10^6 м^3;
III этап — $H_{кIII}$ = 540 м, $V_{кIII}$ = 2280 · 10^6 м^3

Анализ результатов расчетов показывает, что для компенсации дефицита энергии неустойчивости в атмосфере карьера при $\gamma = -0{,}06$ к/м для первого этапа отработки достаточно одного вентилятора-оросителя НК-12КВ-1М, для второго — двух и для третьего — пяти ($\tau_в$ = 1,5 ч). Однако, учитывая то обстоятельство, что кроме компенсации дефицита энергии неустойчивости следует обеспечить усреднение концентрации примесей в атмосфере и вынос их за пределы карьера, возникает необходимость увеличения числа вентиляторных установок и применения комбинированных схем искусственной вентиляции.

Результаты промышленной эксплуатации систем вентиляции на карьерах упомянутых предприятий, а также опытная эксплуатация вентиляторов-оросителей НК-12КВ-1М на карьере Мурунтау показывают, что для обеспечения вентиляции последнего при неблагоприятных метеорологических условиях необходимо на первом этапе ($H_к$ = 270 м) иметь три вентилятора-оросителя НК-12КВ-1М и два-три вентилятора УМП-21 (1АВК-35), на втором ($H_к$ = 360 м) и третьем ($H_к$ = 540 м) этапах, соответственно, четыре вентилятора НК-12КВ-1М и по пять вентиляторов УМП-21 (2АВК-35); НК-12КВ-1М и УМП-21 (2АВК-35). Краткие характеристики установок для комплектации систем искусственной вентиляции и пылегазоподавления карьеров приведены в таблице.

Расчет энергоемкости систем вентиляции крупных карьеров показывает, что для осуществления воздухообмена в карьере требуются вентиляционные установки с суммарной мощностью, сопоставимой с мощностью всего комплекса горных машин в карьере. С учетом энергетического фактора и ужесточения экологических требований нами сделан вывод, что основную тяжесть исследований необходимо перенести на решение проблемы пылегазоподавления в атмосфере рабочей зоны карьера. Предпосылкой успешного решения этой задачи является то, что с середины 1960-х годов и по настоящее время исследователи упомянутой школы карьерных аэрологов занимаются разработкой средств и технологий пылегазоподавления в атмосфере карье-

Расчетные характеристики установок системы искусственной вентиляции карьеров при адиабатическом распределении температуры в атмосфере карьера

Марка установки	Тип, мощность привода, кВт	Начальный диаметр струи, м	Начальный расход воздуха, $м^3/с$	Начальная скорость, м/с	Параметры активного участка струи			Стадии разработки
					Длина, м	Расход воздуха, $м^3/с$	Объем активной части, $м^3$	
УМП-21	Электродвигатель (1000 кВт)	21	220	9,6	1030	78 500	$140 \cdot 10^6$	Опытное производство
НК-12КВ	Газотурбинный двигатель (11 000 кВт)	5,6	1680	61	1300	174 500	$287 \cdot 10^6$	Опытно-промышленная эксплуатация
АВК-35*	Газотурбинный двигатель (8000 кВт)	35	12 000	12,5	1980	$136 \cdot 10^4$	$950 \cdot 10^6$	Рабочий проект

* Разработан институтом Уралгипроруда по исходным требованиям и техническому заданию ИГД Минметаллургии СССР и ВНИПИпромтехнологии.

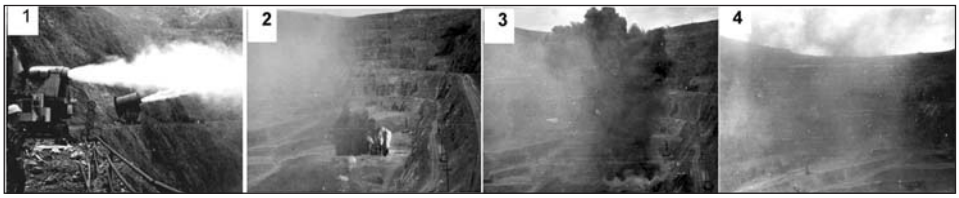


Рис. 4. Активное воздействие воздушно-газо-жидкостных струй на пылегазовое облако:
1 — орошение зоны блока перед взрывом; *2*, *3*, *4* — динамика воздействия воздушно-водяной струи на пылегазовое облако

ров при работе горно-транспортного оборудования и производстве массовых взрывов [8]. Момент активного подавления пылегазового облака при массовом взрыве приведен на рис. 4. Информация о результатах промышленных испытаний систем пылегазоподавления приведена в наших работах [3, 5, 6]. Идеализированная модель технологии пылегазоподавления приведена на рис. 5.

В заключение можно сделать вывод, что выполненные опытно-конструкторские разработки и промышленные испытания систем вентиляции и всесезонного пылегазоподавления дают основание для перехода от чистой вентиляции карьера к технологиям создания нормальных условий труда, не исключая всего комплекса организационных и технических ме-

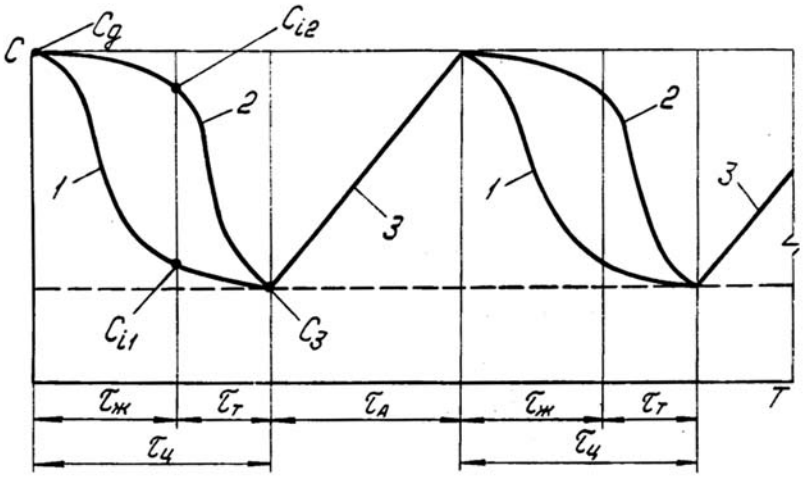


Рис. 5. График, поясняющий характер изменения концентрации вредных примесей в атмосфере карьера при обработке ее жидкими и твердыми связующими:
1 — крупные фракции пыли и ядовитых газов;
2 — радиактивные инертные аманации и гидрофобные ядовитые газы при нагнетании в атмосферу карьера диспергированного твердого связующего в течение времени $\tau_ж$ и диспергированного твердого связующего в течение времени $\tau_т$;
3 — вредности в целом в течение времени $\tau_д$.
$C_д$ — предельно допустимый уровень вредностей в атмосфере карьера; $C_з$ — заданный уровень остаточной концентрации вредностей;
C_{i1} и C_{i2} — текущие значения концентрации вредностей

роприятий [9], и защиты окружающей среды путем подавления вредных примесей в рабочей зоне карьера, при этом инверсионное распределение температуры в его атмосфере может рассматриваться как положительный фактор.

Литература

1. *Ушаков К. З.* Аэрология карьеров / К. З. Ушаков, В. А. Михайлов. — М.: Недра, 1975. — 248 с.

2. *Абрамов Ф. А.* К вопросу о проветривании глубоких карьеров / Ф. А. Абрамов // Материалы межобластной научно-технической конференции по открытой разработке месторождений Украины / ДГИ. — Днепропетровск, 1957.

3. *Конорев М. М.* Искусственная вентиляция и пылегазоподавление в атмосфере карьеров: дис. … д-ра техн. наук / М. М. Конорев; МГГУ. — М., 1999. — 363 с.

4. Создание и применение карьерных вентиляторных установок типа УМП / Ю. М. Коркин. и др. // Горный журнал. — 1984. — № 11. — С. 43 — 45.

5. Конструктивные особенности и технико-экономические показатели карьерного вентилятора-оросителя НК-12КВ-1М / С. С. Филатов, М. М. Конорев, Г. Ф. Нестеренко и др. // Горный журнал. — 1981. — № 6. — С. 43 — 46.

6. Система вентиляции и всесезонного пылегазоподавления / М. М. Конорев и др. // Горный журнал. — 1990. — № 7. — С. 47 — 49.

7. Обоснование проектных решений при разработке системы искусственной вентиляции и пылегазоподавления карьера трубки «Мир» / М. М. Конорев, В. Н. Макаров, Г. Ф. Нестеренко и др. // Горный журнал. — 1984. — № 9. — С. 57 — 59.

8. *Конорев М. М.* К вопросу снижения негативного воздействия на окружающую среду массовых взрывов в карьерах / М. М. Конорев, Г. Ф. Нестеренко // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2005. — № 1. — С. 109 — 113.

9. Проблемы нормализации атмосферы на открытых горных работах отрасли / В. Н. Мосинец… М. М. Конорев // Горный журнал. — 1991. — № 1. — С. 48 — 52.

УДК 622.88

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОСВОЕНИЯ ГЕОРЕСУРСОВ В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Г. М. Чайкина

Освоение георесурсов в сложных природно-климатических условиях начинается с изъятия и нарушения земной поверхности и сопутствующих биологических компонентов биосферы. Возникающие изменения проявляются по-разному в зависимости от типов добываемого сырья, условий его залегания в массиве, технологии добычи, физико-географических особенностей района разработки.

Сложные природно-климатические и горно-геологические условия характерны для районов перспективного освоения георесурсов по проекту «Урал промышленный — Урал Полярный» в пределах Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономных округов (ЯНАО и ХМАО) и северных районов Свердловской области [1] УрФО (рис. 1).

Территории располагаются в нескольких природных зонах: от крайнего севера зоны тундры (ЯНАО), лесотундры (ХМАО) до северной тайги лесной зоны Свердловской области. Для горных работ изымаются земли разного качества — от тундровых болотных в арктической зоне, до подзолистых, дерновоподзолистых и дерново-луговых в зоне лесотун-

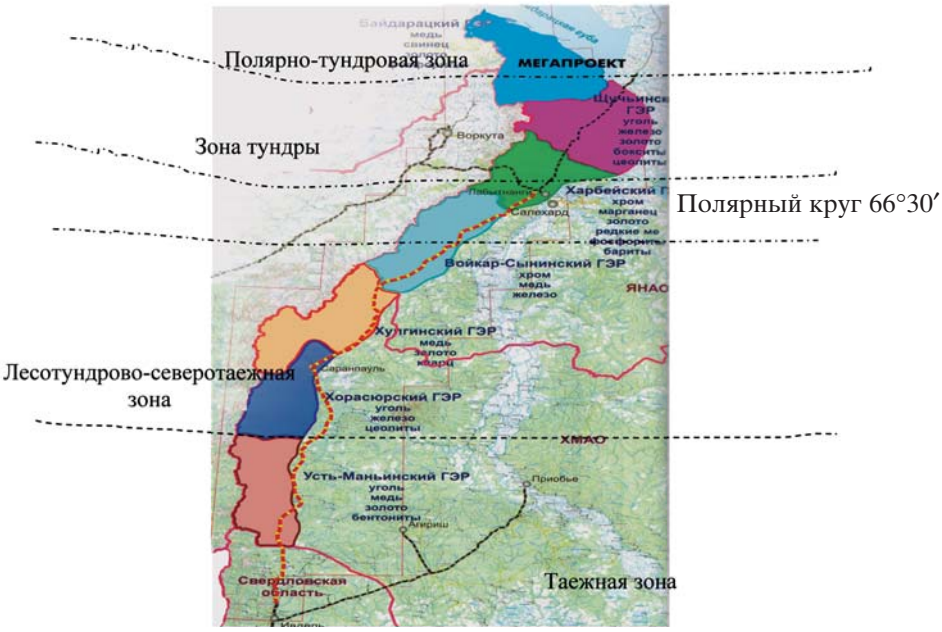


Рис. 1. Районирование территории Уральского федерального округа со сложными природно-климатическими условиями освоения георесурсов

Рис. 2. Взаимодействие природной и техногенной среды в районах горнопромышленного комплекса

дры и северной тайги. Освоение георесурсов сопровождается комплексным воздействием на природную среду, приводя к объемному ее изменению, включая не только поверхность Земли с естественной биотой, но и лито-гидроатмосферу (рис. 2).

Особо сложны природно-климатические условия на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, характеризующиеся развитием многолетнемерзлых пород (ММП). Более половины территории округа находится за Полярным кругом в пределах Заполярной (севернее Полярного круга) и Северной зоны, занимающих центральную и южную части округа [2].

Для Заполярной зоны характерно сплошное распространение многолетнемерзлых сильнольдистых пород, достигающих мощности 300 и более метров. Близость к побережью Карского моря обусловила наличие в геологическом строении морских суглинисто-супесчаных образований. В целом грунты Салехардской толщи представлены глинисто-алевролитовыми и мореподобными суглинками и супесями хлоридно-сульфатного засоления. Сильнольдистые грунты при оттаивании дают большие тепловые осадки, вызывающие деформации земной поверхности, инженерных сооружений, техногенные нарушения растительного покрова.

В Заполярной зоне ЯНАО — Байдаракский и Щучьинский геолого-экономические районы — месторождения полезных ископаемых располагаются от Карского моря в безлесной зоне тундры (см. рис. 1). В Щучьинском районе в 1997 г. образован Горнохадатинский государственный биологический заказник на площади 1750 км^2, в пределах которого постоянно (или временно) может быть запрещена хозяйственная деятель-

ность. Через центральную часть района с юга на север проходит железнодорожная магистраль от станции Обская до станции Бованенково. Бованенковское газо-кондексатное месторождение находится на землях оленеводческого совхоза, в 80 км от побережья Карского моря.

Северная зона тундры — Харбейский, Войкаросынинский и Хулгинский районы (см. рис. 1) — наиболее освоенная часть ЯНАО с населенными пунктами Харп, Полярный и железнодорожной магистралью от станции Сайда к городу Лабытнанги, далее — на Воркуту и Москву. В Северной зоне ЯНАО многолетнемерзлые породы относятся преимущественно к слабольдистым и лишь торфяники — к сильнольдистым. Для них установлено прерывистое распространение и выраженная широтная зональность, проявляющиеся в закономерном уменьшении многолетнемерзлых пород с севера на юг с 90 до 30 % и увеличении глубины сезонного протаивания грунтов. Особенностью Северной зоны ЯНАО является сильная заболоченность территории при постоянном переувлажнении слоя ММП в период их сезонного протаивания. При снятии верхнего гумусированного слоя оттаивание распространяется на многолетнемерзлые породы и может привести к сплывам грунта по склонам, образованию оврагов значительной глубины, то есть к изменению рельефа местности.

Изъятие земель для нужд горнопромышленного комплекса (ГПК) — процесс объективный и неизбежный. Влияние промышленного производства на этот вид ресурса проявляется в нескольких аспектах (рис. 3). В ХМАО основные нарушения производят предприятия нефтедобывающей и геологоразведочной отраслей, а также газовой промышленности и строительства автодорог. Ежегодно в округе отводится до 10 тыс. га земель лесного фонда и земель запаса. Под будущие объекты нефтедобычи зарезервирован 21 % земель от площади округа. Нарушение земель произво-

Рис.3. Влияние освоения георесурсов на земельные ресурсы

дятся не только под объектами добычи, но и за пределами полосы отвода, достигая 0,38 га на каждый отведенный гектар. В ЯНАО 64 % нарушенных предприятиями ГПК земель дают предприятия газовой промышленности. В той и другой административной единице УрФО земли, нарушенные предприятиями ГПК, составляют до 98 % общей величины нарушений [3].

Запасы комплексных полиметаллических полезных ископаемых, а также хромиты, медь, золото, фосфориты и кварц проектируются к отработке как открытой, так и подземной геотехнологией, то есть со строительством карьеров и отвалов, с обогащением рудного сырья сепарацией, гравитацией и флотацией, строительством хвостохранилищ для складирования мелких хвостов. Основные техногенные нарушения, возникновение которых неизбежно при освоении ресурсов углеводородного сырья и твердых полезных ископаемых северных территорий, кроме того, связаны с обустройством площадок: разведочного бурения; строительства нефте- и газопроводов, транспортных путей; территорий, нарушенных тяжелой транспортной техникой (вне дорожных покрытий); территорий, загрязненных разливом нефтепродуктов. Добыча твердых полезных ископаемых на северных территориях в рамках проекта «Урал промышленный — Урал Полярный» приведет к тому, что поверхностные нарушения, производимые при добыче углеводородного сырья, увеличатся за счет строительства карьеров и отвалов, дополнительных транспортных магистралей с твердым покрытием и тому подобных объектов.

Потребность в землях определяется условиями разработки месторождений и складирования отходов, размещения объектов производства, социальной и других сфер жизни человека. Формируются категории «нарушенных» и «занятых» земель, требующих различных геоэкологических решений, направленных на:

— создание условий для воспроизводства на месте нарушенных, исключенных из естественного природного цикла, территорий новых культурных экосистем;

— восстановление биотехнологическими методами деградированных и загрязненных территорий в направлениях, отражающих природноресурсную и социально значимую функцию земель конкретного объекта ГПК [4].

Поэтому экологические аспекты освоения георесурсов на рассматриваемых территориях заключаются в необходимости многосторонней оценки территории с учетом направлений последующей реабилитации (рис. 4).

Искусственное восстановление нарушенных земель биологическими методами в условиях продолжающейся до 9,5 месяцев зимы и короткого — с июля по сентябрь — периода с положительными температурами не перспективно. Это было предопределено постановлением правительства СССР [5]: «… в районах Крайнего Севера … и в необжитых отдаленных местностях условия проведения указанных работ определяются в каждом конкретном случае…» государственными органами территории с учетом прежнего использования земельных ресурсов. Наличие многолетней мерзлоты на небольших глубинах (не более 1,0 — 1,5 м), малая сумма положительных температур в короткий теплый период приводят к низким темпам восстановления почвенно-растительного покрова.

Рис. 4. Экологические аспекты освоения георесурсов Урала в сложных природно-климатических условиях

Различные экологические аспекты освоения северных территорий рассмотрены ранее [6 — 8]. Как вариант ускорения процессов восстановления нарушенных экосистем рассматривается его двухэтапность: «интенсивный» луговой период и «ассимиляционный», связанный с изучением вторичных (восстановленных) зональных экосистем. Полное восстановление главных структур тундровых экосистем зафиксировано при этом через 35 лет после нарушения [9]. На сокращение этого периода направлен предлагаемый комплекс мероприятий (рис. 5).

Таким образом, освоение георесурсов в сложных природно-климатических условиях приведет к созданию техногенных форм нарушений,

Рис. 5. Технолого-биологические мероприятия по снижению отрицательного влияния на земную поверхность при освоении георесурсов

идентичных подобным в других природных зонах страны. Поэтапность комплексного освоения месторождений [10] необходимо осуществлять с учетом не только процессов изъятия и нарушения легкоранимых компонентов биосферы Севера, но и синхронного проведения мер охраны и восстановления их (см. рис. 4 и 5).

Стратегия освоения георесурсов в сложных природных условиях [11] должна быть ориентирована на минимизацию нарушений и последующее выполнение мер охраны всех видов природных ресурсов северных территорий, обеспечивающую нормальные социальные условия проживающих на ее территории народов.

Литература

1. Новый центр горнорудной промышленности // Технадзор. — 2007. — № 5. — С. 50 — 52.

2. *Кушнаренко С. Г.* Инженерно-геологические изыскания в строительстве как основа освоения севера (на примере ЯНАО) / С. Г. Кушнаренко, М. И. Богданов // Инженерная геология. — 2007. — № 3. — С. 23 — 24.

3. Исследование тенденций и особенностей развития окружающей среды в районах горнопромышленных комплексов: отчет о НИР / ИГД УрО РАН; рук. Конорев М. М. — Екатеринбург, 2006. — 141 с.

4. *Чайкина Г. М.* Изменение природно-территориальных комплексов и рекультивация земель в районах интенсивного техногенного воздействия / Г. М. Чайкина, В. А. Объедкова, Н. Ю. Антонинова // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: материалы конф. / УрГУ — Екатеринбург, 2007.— С. 730 — 743.

5. О рекультивации земель, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы при разработке месторождений: постановление Правительства СССР от 02.06.76, № 407 // Собрание Постановлений Правительства СССР. — 1976. — № 11. — С. 152.

6. *Яковлев В. Л.* Проблемы охраны окружающей среды при разработке месторождений Севера России / В. Л. Яковлев, М. М. Конорев, Г. М. Чайкина // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: материалы междунар. конф.: в 2-х т.: т. 1 / РАН, УрО РАН, Институт экологических проблем Севера. — Архангельск: Правда Севера, 2002. — С. 254 — 257.

7. *Пикалова Г. М.* Перспективы рекультивации земель в условиях Заполярья / Г. М. Пикалова, Е. П. Дороненко, К. К. Жерносенко // Почвообразование в антропогенных условиях: межвуз. сб. / УрГУ. — Свердловск, 1981. — С. 101 — 108.

8. *Пикалова Г. М.* Условия и особенности рекультивации в Заполярье / Г. М. Пикалова // Устойчивость растительности к антропогенным факторам и биорекультивация в условиях Севера: материалы Всесоюз. совещ. Охрана растительного мира северных регионов: в 3-х т.: т. 2. — Сыктывкар: Коми филиал АН СССР, 1984. — С. 189 — 190.

9. Экологические основы восстановления экосистем на Севере / Коми НЦ Институт биологии. — Екатеринбург: УрО РАН, 2006. — 79 с.

10. *Корнилков С. В.* Стратегия ускоренного освоения: проект с точки зрения специалистов горного дела / С. В. Корнилков, А. В. Глебов, В. В. Балашенко // Технадзор. — 2007. — № 5. — С. 55 — 57.

11. *Яковлев В. Л.* Методологические аспекты стратегии освоения минеральных ресурсов / В. Л. Яковлев, А. В. Гальянов. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2001. — 152 с.

УДК 622.458

К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКОСИСТЕМЫ КАРЬЕР — ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Г. Ф. Нестеренко

В развитии горнорудной промышленности прослеживается устойчивая ориентация на открытый способ разработки как наиболее экономичный и высокопроизводительный. За последние 30 лет доля руд черных и цветных металлов, добытых на карьерах, увеличилась, соответственно, на 50 и 40 %. Аналогичная тенденция наблюдается и в угольной промышленности.

Исследованиями на многих карьерах установлено, что при высокой интенсификации и концентрации производства, с увеличением их глубины происходит загрязнение атмосферы вредными примесями, превышающее ПДК даже при благоприятных метеоусловиях: по запыленности воздуха на рабочих местах в 3 — 5 раз, по оксидам углерода в 1,5 — 3 раза, по оксидам азота в 5 — 7 раз, что приводит к появлению профессиональных заболеваний горнорабочих, снижению производительности труда и производственному травматизму. Это свидетельствует о низкой эффективности существующих организационно-технологических мероприятий и средств подавления вредных примесей у источников их образования.

С ухудшением экологической обстановки на открытых горных работах в 1950 — 1960-х годах начала интенсивно развиваться новая область горной науки — аэрология карьеров, основоположником которой был академик А. А. Скочинский. Теоретической базой новой науки явились рудничная аэрогазодинамика, горная теплофизика, высшая математика, метеорология и др.

Значительное влияние на решение теоретических и практических вопросов оздоровления условий труда на карьерах и сокращения вредного воздействия на окружающую среду открытых горных работ оказали труды Ф. А. Абрамова, П. В. Бересневича, Н. З. Битколова, Я. З. Бухмана, А. А. Вершинина, Л. Г. Качурина, М. М. Конорева, К. В. Кочнева, А. А. Кулешова, В. А. Михайлова, А. И. Павлова, Г. А. Радченко, К. З. Ушакова, С. С. Филатова и других.

Важнейшими факторами, формирующими микроклимат атмосферы карьеров и санитарно-гигиеническое состояние прилегающих к ним территорий, являются:

а) климатические, определяющиеся в основном географическим положением местности, радиационный и ветровой режимы; синоптическая обстановка — продолжительность штилевых периодов, формирование задерживающих слоев (инверсий), интенсивность и форма осадков (снег, дождь, иней, «морось» и др.);

б) горно-геологические — форма и размеры выработанного пространства; географическая ориентация большой оси карьера и расположе-

ние прилегающих гор (холмов, впадин и др.); физико-химические свойства горных пород — крепость, влажность, способность поглощать (отражать) солнечную энергию и выделять токсичные вещества (H_2S, CH_4, бериллий, радиоактивность и др.);

в) технологические — интенсивность выделения загрязняющих веществ (ЗВ) при работе технологического комплекса; эффективность организационно-технологических мероприятий и технических средств по подавлению ЗВ у источников их образования; расположение отвалов горных пород (хвостохранилищ), горно-перерабатывающего комплекса (ДОФ, ГПП, склады, в т. ч. забалансовых руд, и др.); применение малоотходных (безотходных) технологий; состав и состояние средств и систем экологического мониторинга.

Усложняет загрязнение атмосферы глубоких карьеров климат районов их расположения, в частности, продолжительность штилевых периодов и приземных инверсий. В наиболее неблагоприятных условиях в этом отношении находятся карьеры Якутии, Восточной Сибири, Северо-Запада и Урала, где штилевые периоды в сочетании с инверсиями составляют, соответственно, 3500, 2700, 1650, 1200 часов в год.

Решения новой отрасли науки до конца 80-х годов прошлого века были посвящены интенсивным теоретическим и экспериментальным исследованиям, направленным на улучшение естественного воздухообмена в атмосфере карьеров и разработку средств и способов подавления вредных примесей у источников их образования и искусственной вентиляции. Был создан ряд экспериментальных образцов карьерных вентиляторов на базе турбореактивных авиадвигателей ВК-1 и РД-3М-500(УВУ-1) и промышленных вентиляторов; разработаны специальный вентилятор ПВУ-6 (на двух ж.-д. платформах) и тепловые установки («метеотроны» — УТ-СМ); предлагались гипотетические варианты средств и способов искусственной вентиляции — через подземные горные выработки и специальные подвесные трубы, а также с применением двухконтурных реактивных двигателей (ДТРД).

Наибольшие успехи в области теоретических исследований и разработки средств искусственной вентиляции и пылегазоподавления в атмосфере карьеров были достигнуты школой карьерных аэрологов, созданной в ИГД МЧМ СССР профессорами К. В. Кочневым и С. С. Филатовым, в сотрудничестве с КБ института, работниками проектных организаций(Уралгипроруда, НИПИгормаш и др.) и горнодобывающих предприятий (ГБРУ НТМК, комбинатов Ураласбест, Магнезит, ССГОК, ЦГХК, НГМК, ПГХК, Забайкальский ГОК; фирма «ВИСМУТ» ГДР). На основании теоретических и экспериментальных исследований были разработаны, внедрены в производство и успешно прошли промышленные испытания карьерные вентиляторы-оросители на базе авиационных винтов (УМП-1 — в серийном производстве; ВОКМ-2-300П — имеются рабочие чертежи) и турбовинтовых двигателей (АИ-20КВ, НК-12КВ-1М; ВОКМ-4-2500 — имеются рабочие чертежи), а также винтов вертолетов (УМП-14, УМП-21; АВК-35 — имеются рабочие чертежи). Кроме того, для комплексного решения проблемы нормализации атмосферы карьеров совместно с институтами «ВНИИНАУЧПРИБОР», г. Ленин-

град), «Уралчерметавтоматика» (г. Свердловск), НПО ХИМАВТОМАТИКА» (г. Москва) были разработаны и прошли промышленные испытания мобильная газоаналитическая лаборатория «Карьер-1» и система экологического мониторинга и управления средствами пылегазоподавления «Диспетчер-2». Внедрению средств и систем экологического мониторинга воспрепятствовал низкий в то время уровень научных исследований в этой области (отсутствие точных и многокомпонентных газоанализаторов, пылемеров и др.).

Одной из главных стратегических ошибок исследователей в области искусственной вентиляции карьеров явилось стремление проветрить карьер с помощью одной установки без учета того, что в периоды температурных инверсий атмосфера карьера оказывается замкнутой, вследствие чего дефицит энергии неустойчивости намного превышает энергию струи единичного вентилятора. Наиболее ярким примером этого являются исследования, выполненные на карьере Мир АК «АЛРОСА» (Якутия), где с помощью единичных тепловых установок (УТ-СМ и др.), установок на базе вертолетного (УМП-21) и самолетного (УМП-1) винтов безуспешно пытались нормализовать состав атмосферы.

В результате опыта промышленной эксплуатации карьерных вентиляторов-оросителей АИ-20КВ и НК-12КВ(1М) на карьерах ГБРУ НТМК, ЦГХК и ПГХК была доказана реальная возможность нормализации состава атмосферы карьеров за счет разрушения температурных инверсий, кондиционирования воздуха и всесезонного пылегазоподавления с применением газовоздушных и многофазных турбулентных струй.

Карьерные вентиляторы-оросители АИ-20КВ и НК-12КВ прошли в 1973 г. межведомственные испытания и были рекомендованы для серийного производства, чему воспрепятствовали, в основном, субъективные факторы, отсутствие жесткого экологического законодательства, а после 1991 г. — экономические трудности и экологический нигилизм. В настоящее время, когда львиная доля акций (≈80 %) находится у иностранных фирм, перспектива инвестиций в решение экологических проблем горнодобывающих предприятий призрачна. Нельзя признать убедительными доводы о неудовлетворительных санитарно-гигиенических и технико-экономических характеристиках средств пылегазоподавления на базе ТВД: вентиляторы-оросители НК-12КВ-1М(ВОКМ-4-2500) оснащены мощной системой шумоглушения, имеют низкий удельный расход топлива и могут работать на экологически чистом топливе — природном газе. Все двигатели НК-12КВ, снятые с самолетов ТУ-114, были переданы РАО «Газпром» для газоперекачивающих станций и работают на природном газе.

Следует отметить, что при нормальном (естественном) воздухообмене регулирование и управление пылегазовым и климатическим режимами в атмосфере карьеров осуществляется за счет природных аэрогазодинамических и тепломассообменных процессов. Применяемые организационно-технические и технологические мероприятия обеспечивают лишь частичное сокращение выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в окружающую среду. Однако при отсутствии осадков (дождь, град, снег, иней) выделяющиеся при работе технологического комплекса вредные

примеси выносятся ветровыми потоками и загрязняют прилегающие к карьерам территории — почву, воздушную и водную среду. При мороси и тумане в атмосфере карьеров может возникнуть «смог» в результате адсорбции перенасыщенными влагой частицами воздуха токсичных веществ (оксидов азота, бензапирена и др.), выделяющихся при работе автотранспорта с отработавшими газами (ОГ). Поскольку ПДК ЗВ для окружающей природной среды, в т. ч. жилых зон, значительно ниже (на порядок), чем для атмосферы карьеров и промплощадок, то в данном случае следует учитывать **экологический ущерб, который не может быть скомпенсирован в виде платы предприятиями за выбросы ЗВ**. Кроме того, даже при «благоприятных» метеоусловиях происходит загрязнение почвы и поверхностных вод прилегающих к карьерам территорий при выносе ЗВ, адсорбированных осадками, а через поверхности выработанного карьерного пространства — и подземных вод. Серьезную опасность для существования экосистемы карьер — окружающая среда представляют массовые взрывы. В окружающую среду входят жилые массивы, специфичные для района расположения (состав атмосферного воздуха, почвенного покрова), флора, фауна, поверхностные и подземные (грунтовые) воды. Образующееся при массовых взрывах пылегазовое облако (ПГО) при выходе за пределы карьера под воздействием ветровых потоков перемещается, загрязняя почву, поверхностные воды и значительные объемы окружающего воздушного бассейна. Кроме того, до 40 — 60 % вредных примесей остается во взорванной горной массе, что при отсутствии эффективных средств и способов их подавления может привести к отравлению горнорабочих при экскавации и транспортировании взорванной горной массы и загрязнению грунтовых вод. В связи с этим с экологической точки зрения производство массовых взрывов в периоды высокой ветровой активности недопустимо без применения эффективных средств и способов активного подавления ЗВ в ПГО и взорванной горной массе.

При неблагоприятных метеоусловиях экологическая ситуация лишь усугубляется, тогда, в соответствии с требованиями ЕПБ, возникает необходимость прекращения открытых горных работ. Вынужденные простои карьеров приводят к экономическому ущербу предприятий и свидетельствуют о низкой эффективности существующих организационно-технических и технологических мероприятий и средств регулирования пылегазового режима в атмосфере карьеров. В связи с этим необходимость применения технических средств, позволяющих эффективно **регулировать** и **управлять** пылегазовым и климатическим режимами атмосферы карьеров путем искусственного формирования аэрогазодинамических и тепломассообменных процессов для нормализации ее состава и предотвращения выброса ЗВ в прилегающие к карьерам территории является обязательным условием обеспечения безопасности жизнедеятельности экосистемы карьер — окружающая среда, в том числе и при «нормальном» естественном воздухообмене. В связи с этим необходимо проводить активную нейтрализацию и адсорбцию выделяющихся при работе технологического комплекса загрязняющих веществ.

В качестве экологически безвредных адсорбентов может быть ис-

пользован силикагель, образующийся в результате химических реакций нейтрализации ЗВ водными растворами солей угольной и кремниевой кислот, и природные цеолиты (фожазит, натролит, сколецит, шабазит и др.). Процесс адсорбции при этом является необратимым и происходит на молекулярном уровне.

Необходимо отметить, что Государственной программой РФ в ближайшее время предусмотрено развитие сырьевой базы в районе «Малого БАМа», на юге Якутии, с уникальным растительным и животным миром. В связи с этим проблема обеспечения безопасности жизнедеятельности экосистемы карьер — окружающая среда потребует кардинального решения вопросов (в т. ч. демографических) при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом в сложных горно-геологических и суровых природно-климатических условиях. Для этого потребуется искусственное регулирование и управление аэрогазодинамическими и тепломассообменными процессами (пылегазовым и климатическим режимами) в атмосфере карьеров, что можно обеспечить при включении в состав технологического комплекса современных средств и систем экологического мониторинга и управляемых по полученной от них информации эффективных средств всесезонного пылегазоподавления.

Детальный анализ характеристик различных средств и систем экологического мониторинга воздуха рабочих зон и атмосферы показал:

— для условий карьеров характерна высокая мобильность фронта горных работ, вследствие чего системы и средства пылегазового контроля должны включать средства радиотелекоммуникации для передачи информации по радиоканалу;

— существенными недостатками стационарных и передвижных комплексов являются высокая стоимость (вследствие комплектации однокомпонентными газоанализаторами) и отсутствие средств радиотелекоммуникации;

— средств радиотелекоммуникации, как у системы «Диспетчер-2», у современных средств и систем экологического мониторинга нет;

— самыми надежными и точными являются многокомпонентные газоанализаторы и комплексы производства ЗАО «УКРАНАЛИТ» (Украина);

— для условий карьеров пригодны приборы, имеющие цифровые выходы (интерфейсы RS232 или RS485), которые позволяют адаптировать пылегазоанализаторы путем преобразования информации в радиосигналы.

В результате анализа также установлено, что существует реальная возможность внедрения в практику модернизированной системы «Диспетчер-2». Суть модернизации заключается в следующем:

1. В центральном устройстве большие интегральные схемы заменяются на ПК, к примеру, конфигурации AMD Athlon 64300+/DDR 512/HDD 160Gb SATA/X600 256 Mb с периферией — жидкокристаллическим монитором 17” Acer AL 1772, модемом и принтером HP 1020. Узел радиокоммуникации системы «Диспетчер-2» сохраняется.

2. Полустационарные станции (на пневматическом ходу) базируются

на основе стандартного павильона «ПОСТ-2», в котором, кроме метеоаппаратуры, размещаются:

— многокомпонентные газоанализаторы 325ФА20 на CO, CO_2, NO, NO_2, SO_2; m = 9 кг, предельная относительная погрешность измерений ±5 % (производство ЗАО «УКРАНАЛИТ», Украина);

— средства радиокоммуникаций СГСА-2 системы «Диспетчер-2»;

— пылемеры ПИКП-Т производства ФГУП СПО «Аналитприбор» (г. Смоленск) или ИКП-4 производства ПКГ «Гранат» (г. Санкт-Петербург»).

3. Для экологического мониторинга воздуха в рабочих зонах, в кабинах средств пылегазоподавления и горнотранспортного оборудования (экскаваторов, автосамосвалов и др.) устанавливаются портативные газоанализаторы серии ИГС-98 производства ФГУП НПО «Дельта» НПЦ-5 (г. Санкт-Петербург) и аналитические спектральные комплексы 306АС01 (на NO, NO_2, CO, CO_2, SO_2, CH_4) производства ЗАО «УКРАНАЛИТ». В качестве газоанализаторов серии ИГС-98 устанавливаются «МАК-СВ» (CO), «Бином-СВ» (C_mH_n), «Агат-СВ» (NO_2), они портативные (m = 0,2 кг) с габаритами 135 × 65 × 40 мм. Они имеют тревожную сигнализацию — световую и звуковую. Кроме того, устанавливаются средства радиотелекоммуникаций системы «Диспетчер-2».

4. Сбор информации от полустационарных газоаналитических станций и от газоанализаторов с рабочих мест производится на диспетчерском пункте, с которого осуществляется управление аэрогазодинамическими и тепломассообменными процессами на рабочих местах и атмосфере карьеров с применением средств пылегазоподавления.

Для оперативного контроля со стороны пылевентиляционной службы карьера и государственного надзора необходимо использовать передвижную экологическую лабораторию «ЛИК» производства ЗАО «УКРАНАЛИТ» (Украина). В лаборатории, кроме метеоприборов и многокомпонентных газоанализаторов, устанавливаются дополнительно приемо-передающие радиотехнические средства системы «Диспетчер-2». Для снижения вредного воздействия карьеров на окружающую среду необходимо в направлении воздушных потоков, ориентированных на жилые массивы, установить вандалоустойчивые таксофоны «Орех», на мачтах которых разместить многокомпонентные газоанализаторы 325ФА 20 (производства ЗАО «УКРАНАЛИТ»). Информация о концентрации вредных примесей в воздушных потоках, ориентированных в направлении жилых массивов (для карьера Мурунтау — поселки Солнечный и Мурунтау), передается на диспетчерский пункт, с которого производится включение средств пылегазоподавления — водяных завес или паро-воздушных струй.

Наличие радиотелеметрических устройств в модернизированной системе «Диспетчер-2», а также средств экологического мониторинга атмосферного воздуха и радиотехнических средств в кабинах горнотранспортного оборудования позволяет реально использовать систему спутниковой навигации для экологического мониторинга и управления средствами пылегазоподавления.

УДК 622.012.3+622.413

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ НОРМАЛИЗАЦИИ АТМОСФЕРЫ КАРЬЕРОВ

А. В. Зорин

Обеспечение оптимального воздействия горного производства на состояние воздуха рабочей зоны при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом остается одной из проблем горной науки и производства. Анализ материала длительных наблюдений свидетельствует о том, что загрязнение атмосферы в карьерах неблагоприятно сказывается на состоянии здоровья трудящихся, повышая опасность возникновения профессиональных заболеваний, а иногда и острых отравлений, снижает производительность труда и наносит определенный экономический, а также социальный ущерб.

На предприятиях горной промышленности учет потерь от неблагоприятных погодных условий в настоящее время не ведется, хотя добыча полезных ископаемых в карьерах во многих случаях при опасных для производства метеорологических явлениях осложняется. Предупреждения о таких явлениях позволяют принимать меры по сокращению простоя людей и механизмов. Без обеспечения безопасного состояния атмосферы карьеров по фактору загрязнения невозможно стабильное ритмичное ведение горных работ и создание комфортных условий для персонала рудников.

Основным направлением проводимых исследований является изучение закономерностей и причин нарушения естественного воздухообмена в карьерах и сопровождающее его загрязнение атмосферы; определение потребности в энергетических ресурсах для выведения атмосферы карьерного пространства из состояния устойчивости; прогнозирование моментов наступления загрязнения атмосферы карьеров; разработка средств и методов оперативной регистрации параметров физического и санитарно-гигиенического состояния атмосферы в карьерах.

В последнее время активно обсуждается искусственная вентиляция глубоких карьеров, при этом главный упор делается на оценку технической возможности проветривания, а вопрос о его целесообразности даже не ставится, поскольку ответ на него вроде бы очевиден: оно необходимо для нормализации условий труда персонала [1]. Известно, что какие бы идеальные условия производственной среды ни создавались, повышенная чувствительность отдельных работников к химическим воздействиям обусловливает возникновение общих и профессиональных заболеваний. А поскольку определено, что работники карьеров трудятся и объективно будут продолжать трудиться в условиях сверхнормативного загрязнения атмосферы, то положение только усугубляется. Поэтому применение средств обеспечения персонала карьеров воздухом нормативного состава становится неизбежным.

Попытки применения для принудительного проветривания карьерного пространства изотермических и термических искусственных струй по-

казали их несостоятельность как в природном (невозможность изменить фактическое состояние атмосферы внутри карьера и над районом его расположения), в технологическом (громоздкость установок, большое их количество), так и в экономическом плане (огромные энергетические затраты).

Пути нормализации атмосферы карьеров различны по полноте решения проблемы. Коренное решение — полное подавление и улавливание вредных примесей, выделяющихся при работе оборудования, транспорта и технологических процессах в карьере. Сюда относятся: жесткий контроль за качеством топлива, использование катализаторов на выхлопе двигателей, герметизация кабин горного оборудования и использование фильтров для очистки поступающего в кабины воздуха, проведение массовых взрывов при метеорологических условиях, способствующих естественному проветриванию карьерного пространства, мониторинг состояния карьерной атмосферы и окружающего пространства. Все эти вопросы нужно не только декларировать, но и решать на практике.

Атмосфера карьеров является открытой системой; состояние ее весьма чувствительно к изменениям, происходящим в окружающей среде, и требует учета существующих между ними связей. Стремление атмосферы к образованию циркуляционных течений самого различного масштаба (хотя и не всегда четко выраженных) характерно для течений, возникающих в объеме карьера. Масштаб циркуляционных течений в основном определяет объем воздуха, в котором происходит рассеивание вредных примесей. Учитывая, что атмосфера карьера является открытой системой, контроль ее функционирования включает следующие основные условия: наличие потоков воздуха и энергии через границы системы и, соответственно, потоков массы примесей; суммарный поток массы примесей, покидающих систему, должен быть не менее поступающего свежего потока [2]. Эти условия зачастую не принимаются во внимание исследователями, что приводит к субъективным оценкам масштабов воздействия на систему.

Анализ взаимодействия физических процессов в атмосфере карьера и граничной воздушной массе при устойчивом ее состоянии позволил получить представление о неадекватности воздействия их друг на друга, то есть состояние атмосферы карьера полностью определяется состоянием окружающей среды. При общем крупномасштабном устойчивом состоянии воздушных масс и их механическом равновесии ввод дополнительной энергии на локальных участках приводит лишь к усилению процесса рассеяния примесей в определенном объеме, ограниченном областью действия возникающей местной циркуляции.

Представляется перспективным изыскание новых методов использования энергии естественных процессов для активизации воздухообмена в карьерах. Методы нормализации состава атмосферы в карьерах, в том числе и вентиляция, являются составной частью технологического комплекса, только в совокупности с которым возможно эффективное и экономичное создание безопасных условий труда.

При современном уровне развития техники и технологии ведения открытых горных работ неизбежен рост затрат, связанных с поддержани-

ем воздушной среды в карьерах в пределах ПДК. Для организации функционирования системы вентиляции карьеров необходимо нарушить тепловое или механическое равновесие в атмосфере не только в объеме карьера, но и за его пределами, что при современных ограниченных энергетических ресурсах является практически неосуществимой задачей, поэтому становится совершенно неочевидной возможность санитарно-гигиенической нормализации атмосферных условий в карьере с помощью вводимой антропогенной энергии. Правильный выбор технологии горных работ является наиболее эффективным средством улучшения атмосферных условий, не требующим специальных материальных затрат. В дальнейшем целесообразно комплексное решение следующих вопросов:

— совершенствование методов прогнозирования опасных по загрязнению атмосферы метеорологических ситуаций,

— разработка методов снижения выделения вредных примесей при всех технологических процессах и используемом оборудовании,

— изыскание экологически чистых технических средств и технологий ведения открытых горных работ,

— разработка методов социально-экономической оценки системы нормализации состояния атмосферы глубоких карьеров,

— рассмотрение возможности предварительной оценки стоимости вынужденных простоев по метеорологическим факторам за год и отнесение ее на себестоимость продукции, а также учет в планах добычи и отгрузки; оценка эффективности применения метеопрогнозов.

Комплексная проработка проблемы нормализации атмосферы в карьерах на базе современной технологии позволит обеспечить чистоту воздуха в карьерном пространстве и на прилегающих территориях.

Литература

1. *Сытенков В. Н.* О целесообразности искусственного проветривания глубоких карьеров / В. Н. Сытенков // Горный журнал — 2003.— № 8.— С. 89 — 93.

2. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы / Л. Т. Матвеев. — Л.: Гидрометеоиздат, 1984. — 751 с.

УДК 622.234.42

КОМПЛЕКСНАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ЖИДКИХ И ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДНОКОЛЧЕДАННЫХ РУД

Ф. Ф. Борисков

Сырьевой базой металлургии цветных, драгоценных, редких металлов и химических элементов на Урале в основном являются колчеданные медно-цинковые месторождения. Они источник меди, цинка, золота, серебра, кадмия, индия, серы, селена, теллура.

Отработка месторождений сопровождается формированием техногенной среды, характеризующейся нарушением природного равновесия из-за накопления отвалов отходов производства, сдвижения горных пород с образованием зон обрушения и развития процессов окисления минералов, потерянных при добыче и переработке сырья. Окисление колчеданных руд и сульфидсодержащих отходов сопровождается образованием токсичных компонентов: серной кислоты и водорастворимых сульфатов железа, меди, цинка. Повышенная концентрация этих токсикантов отмечается в водах шахт, отрабатывающих подземным способом колчеданные месторождения, а воды с высоким содержанием металлов относятся к гидроминеральному сырью [1], из которого раньше извлекалась медь осаждением ее на железный скарп.

При обогащении колчеданных руд используется щелочная техническая вода с высоким значением pH (до 12), которое поддерживается гидроксидом кальция (известковое молоко). Содержание ионов тяжелых металлов в жидкой фазе пульпы низкое, мг/л: 0,02 — 10,0 меди, 1,0 цинка и 0,05 железа [2], так как в щелочной среде образуются осадки гидроксидов этих металлов, плохо растворимые в воде [3].

Техническая вода обогатительных фабрик — другой вид жидких отходов колчеданных месторождений. С технической водой сульфидные минералы, которые были потеряны при обогащении, направляются в виде пульпы (смесь дисперсных частиц с водой) в отвал — хвостохранилище. При обезвоживании отвала, возникающего при дренаже воды, открывается доступ воздуха в отвал. Концентрация кислорода (по массе) в порах хвостов до 23,1 % (содержание в воздухе) при растворимости его в воде 0,004 % [4]. Углекислый газ, хорошо растворимый в воде, образует с ней углекислоту с pH = 3,7 [5]. Кислород, углекислый газ и вода являются основными природными реагентами, существенно изменяющими химическую обстановку в хвостохранилище: углекислый газ нейтрализует техногенную щелочь пульпы, кислород окисляет минералы, вода ускоряет эти процессы. Изучение этих процессов проводилось с использованием хвостов Учалинской обогатительной фабрики (ОФ). Водная вытяжка с отношением твердое (Т) : жидкое (Ж) = 1 : 1 из хвостов, лежавших 1 — 2 месяца на поверхности пляжа, характеризуется низкой величиной pH (от 2,8 до 3,2 — кислая среда) и, в отличие от свежих хвостов

Состав жидкой фазы пульпы лежалых пиритных хвостов Учалинской обогатительной фабрики (Т : Ж = 1 : 1)

№ пробы и показатели	Содержание металлов α, мг/л		
	Cu	Zn	Fe
1	271	160	117
2	786	3460	9050
3	54	260	890
4	380	1900	—
ПДК в воде санитарно-бытового использования	0,1	1,0	0,5
Промышленная концентрация металлов (ПК) в растворах, утилизируемых гидрометаллургией	50	50	100
Превышение ПК (α/ПК)	1,1 — 15,7	3,2 — 69,2	1,2 — 90,5

(pH ≈ 12), содержит в водорастворимой форме большое количество меди, цинка, железа — соответственно, до 786; 3460 и 9050 мг/л, т. е. в сотни и тысячи раз больше, чем в жидкой фазе пульпы ОФ, и в десятки тысяч раз выше значений, нормируемых предельно допустимыми концентрациями (ПДК) этих компонентов в воде (см. таблицу).

В воде почвы, погребенной под хвостохранилищами сульфидсодержащих отходов обогащения, где хвосты лежат десятки лет (Карабашский медькомбинат), количество продуктов окисления также очень высокое: концентрация сульфат-иона достигает 8 %, катионов металлов до 4 % при pH = 1,6 ÷ 4,0.

Изменение pH водной среды хвостохранилища Учалинской ОФ было изучено при моделировании процесса хранения хвостов этой фабрики. В пробу хвостов массой 1 кг добавили 1 л известковой воды и довели pH до 12. Отвал разместили на поддоне и хранили во влажном состоянии на воздухе в лабораторных условиях. Из хвостов 1 раз в день отбиралась навеска 20 г, в которую добавлялось 20 мл воды. После перемешивания пульпы в течение 10 секунд водную вытяжку извлекали из хвостов и измеряли в ней pH. В течение 7 суток щелочная среда водной фазы хвостов изменилась на нейтральную. Быстрое изменение pH обусловлено тем, что гидроксид кальция энергично реагирует с углекислотой с образованием кальцита в соответствии с реакцией

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3\downarrow + H_2O. \quad (1)$$

Щелочь, используемая при обогащении колчеданных руд, нейтрализует процессы окисления сульфидов, а также измельчающих тел (шары, стержни) и аппаратного железа в мельницах мокрого измельчения. Окисление сульфидов начинается после нейтрализации щелочи в соответствии с выражением (1):

пирит: $FeS_2 + O_2$ (воздуха) $+ 2H_2O$ (осадки, воздух) $\rightarrow 2FeSO_4 + 2H_2SO_4$, (2)

халькопирит: $CuFeS_2 + 4O_2 \rightarrow CuSO_4 + FeSO_4$, (3)

сфалерит: $ZnS + 2O_2 \rightarrow ZnSO_4$. (4)

Двухвалентное железо в присутствии кислорода окисляется до сульфата трехвалентного железа $Fe_2(SO_4)_3$, который при гидролизе дает H_2SO_4 и бурую взвесь $Fe(OH)_3$, ответственную за образование высокоминерализованных потоков сточных вод — «рыжих ручьев» (г. Карабаш) с отвалов различных отходов:

$$Fe_2(SO_4)_3 + 6H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3 + 3H_2SO_4. \quad (5)$$

Моделирование процесса образования водорастворимых форм меди и цинка проводилось также с использованием пробы учалинских хвостов, взятой с пляжа, на поверхность которого сброс хвостов не производился около 2 месяцев. Проба была высушена на воздухе и разбавлена водой (Т : Ж = 1 : 1) с pH = 7. Во время перемешивания (~10 секунд) величина pH добавленной воды снизилась с 7 до 3, т. е. нейтральная среда жидкой фазы пульпы быстро перешла в кислую область. Содержание металлов в водной вытяжке составило, мг/л: медь — 121,2; цинк — 1060. После отмывки пробы от водорастворимых форм металлов, высушивания хвостов на воздухе и повторного смешивания их с водой (pH = 7) содержание металлов в водной вытяжке неожиданно увеличилось в два раза: до 212,1 мг/л (медь) и 2180 мг/л (цинк). Величина ПК этих металлов в растворе была превышена, соответственно, в 4,2 и 43,6 раза (см. таблицу). Только проведение подобной операции в третий раз уменьшило количество металлов в растворе: концентрация меди в нем сравнялась с промышленной (48 мг/л), а содержание цинка, снизившись до 192 мг/л, оставалось выше промышленной концентрации в 3,8 раза. Таким образом, проведение простой операции промывки учалинских хвостов позволяет получать из них богатую жидкую руду.

Скорость образования продуктов окисления в дисперсных материалах выше, чем в крупнокусковых отложениях. Например, в первые годы эксплуатации хвостохранилища Кировградской ОФ (Свердловская обл.) в него поступали пиритные хвосты с содержанием меди 0,36 %, цинка 3 %. Через 30 лет в хвостах были обнаружены только следы меди, а концентрация цинка снизилась до 0,59 % [6]. Содержание меди уменьшилось также в хвостах Карабашского медькомбината с 0,3 % в момент их складирования до 0,2 % в настоящее время. Негативные социальные и экономические последствия промедления в освоении пиритных хвостов таковы: площади деградируемых территорий расширяются с загрязнением их токсикантами; ценность пиритных хвостов снижается природным выщелачиванием, которое приводит к безвозвратным потерям ценных для промышленности компонентов (медь, цинк, железо) и вредных для окружающей среды. Поэтому, чем раньше будет организована переработка пиритных хвостов, тем меньший урон нанесут они экологии Урала и тем большая доля затрат на их освоение может быть компенсирована реализацией продуктов, полученных при их переработке.

Постоянное образование токсичных жидких руд в сульфидсодержащих отходах диктует необходимость проведения мероприятий по снижению фильтрующей способности хвостохранилищ и защиты природы от этих выбросов. Ю. С. Рыбаков рекомендует переваливать старые отва-

лы отходов на гидроизолирующее основание, чтобы избежать, в некоторых случаях, значительного загрязнения подземных вод [7]; кроме того, новые отвалы в обязательном порядке должны располагаться на гидроизолирующем экране.

Чтобы исключить вынос токсичных жидких руд в природу их необходимо перерабатывать, так как традиционный метод борьбы с ними путем нейтрализации известью приводит к образованию вторичных отходов — шламов нейтрализации, переработка которых пока не осуществляется.

Способность быстрого окисления с образованием серной кислоты и сульфатов различных металлов пиритных хвостов и других сульфидсодержащих отходов производства была использована для разработки нового способа приготовления раствора для сернокислотного выщелачивания сырья, который предусматривает получение высококонцентрированных жидких руд и снижение расхода кислоты [8]. Кислота приготовляется за счет реакций (2) окисления сульфидов и гидролиза $Fe_2(SO_4)_3$ (5), сульфаты металлов образуются в соответствии с выражениями (2), (3) и (4). Получение серной кислоты и сульфатов различных металлов происходит самопроизвольно под воздействием природных факторов. Скорость получения кислоты повышается созданием лучших условий окисления сульфидов. С этой целью используются отвалы в виде усеченных пирамид небольшой высоты с большой удельной поверхностью, при которой улучшается аэрация, водопроницаемость и прогревание в теплый сезон окисляемого сульфидного сырья. Повышение фильтрующей способности отвалов приводит к росту скорости окисления минералов, так как к ним в большем количестве доставляется кислород воздуха свежими порциями раствора взамен вытекающему с дефицитом кислорода. Очевидно, что орошение хвостов с паузами играет такую же роль. Перерывы в орошении открывают доступ кислорода воздуха к глубоким частям отвала сырья при вытекании раствора вниз из капиллярно-пористой среды отвала. Процессы окисления сульфидов развиваются при этом в большем объеме с увеличением концентрации кислоты и сульфатов металлов в растворе. Использование раствора повторно для орошения хвостов позволяет получать продуктивные растворы с высоким содержанием ценных металлов. При необходимости сернокислый раствор, получаемый за счет окисления сульфидов, подкрепляется серной или другими кислотами до концентрации, которая требуется для интенсификации процесса растворения ценных минералов. С увеличением содержания серной кислоты в выщелачивающем растворе возрастает извлечение меди и цинка. При pH = 2 извлечение меди в раствор достигает 94 %, а цинка 63 % в течение 5 минут. Увеличение pH до 1 (0,98 % H_2SO_4) приводит к росту извлечения металлов в раствор: меди до 97 %, цинка до 75 % [9].

Производственный цикл выщелачивания сульфидного сырья с максимальным использованием природных факторов включает сбор и переработку жидкой руды с извлечением растворенных металлов в селективные концентраты гидрометаллургическим методом. Экологическая безопасность данной технологии обеспечивается размещением выщелачиваемого сырья на гидроизоляционном экране и применением полного

водооборота. Применение рудничных и сточных вод со значительным содержанием растворенных металлов позволяет комплексно перерабатывать твердые отходы (лежалые хвосты, забалансовые руды, минерализованные вскрышные породы) и жидкие стоки (шахтные воды), образующиеся при разработке колчеданных месторождений. Применение данной технологии обеспечивает получение богатых жидких руд и экологическую безопасность горного производства с использованием полного водооборота и создания бессточной технологии переработки твердых и жидких отходов, образующихся при разработке медноколчеданных месторождений Урала.

Литература

1. Дренажные воды — источник техногенного гидроминерального сырья на Урале / О. Н. Грязнов и др. // Изв. вузов. Горный журнал. — 1997. — № 11 — 12. — С. 58 — 65.

2. Минеральные ресурсы Учалинского горно-обогатительного комбината / И. Б. Серавкин и др. — Уфа: Башкирское кн. изд-во, 1994. — 328 с.

3. *Лурье Ю. Ю.* Справочник по аналитической химии / Ю. Ю. Лурье. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Химия, 1979. — 480 с.

4. Химический энциклопедический словарь / под. ред. Кнунянц И. Л. — М.: Советская энциклопедия, 1983. — 792 с.

5. *Некрасов Б. В.* Основы общей химии: в 3-х т.: т. 2 / Б. В. Некрасов. — М.: Химия, 1967. — 400 с.

6. *Чуянов Г. Г.* Хвостовое хозяйство обогатительных фабрик / Г. Г. Чуянов // Изв. вузов. Горный журнал. — 1997. — № 11 — 12. — С. 130 — 174.

7. *Рыбаков Ю. С.* Охрана и предотвращение загрязнения водных объектов от стока с техногенных образований: автореф. дис. … д-ра техн. наук / Ю. С. Рыбаков; Российский науч.-исслед. ин-т комплексного использования и охраны водных ресурсов. (РосНИИВХ). — Екатеринбург, 1998. — 40 с.

8. Патент № 2215138 Российская Федерация, 7 Е 21 В 43/28. Способ приготовления раствора для выщелачивания сырья / Ф. Ф. Борисков, Д. Ф. Борисков, Л. О. Макаранец; заявитель и патентообладатель Институт горного дела УрО РАН // № 2001120400/03; заявл. 20.07.01; опубл. 27.10.03, ИПМ № 30 (II ч.). — С. 424.

9. Совершенствование технологии нейтрализации шахтных вод Левихинского рудника / В. З. Козин и др. // Изв. вузов. Горный журнал. — 1997. — № 11 — 12. — С. 211 — 214.

УДК 622.234.42:622.882

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ТЕРРИТОРИЙ УСТАНОВОК КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА

Н. Ю. Антонинова

История золотодобывающей промышленности Урала насчитывает более 250 лет, однако ее минерально-сырьевая база далеко не исчерпана. Уральская колчеданоносная провинция занимает первое место в мире по запасам золота и серебра, заключенных в рудах. Добытые, разведанные и подтвержденные запасы золота только в золотосодержащих колчеданных месторождениях Уральской провинции составляют не менее 1000 т [1]. Прогнозные ресурсы рудного золота в Свердловской области превышают разведанные запасы более чем в 5 раз, рудных платиноидов в 20 раз. Ресурсы россыпного золота и платины соответствуют разведанным запасам промышленных категорий. Кроме того, в Уральском регионе накоплено значительное количество техногенных отходов, образующихся при добыче и переработке полезных ископаемых, представленных вскрышными, вмещающими породами и некондиционными рудами, хвостами обогащения, отходами металлургического, химического и других производств. Значительная часть их после переработки, а в ряде случаев и без нее, представляет интерес для дополнительного извлечения полезных компонентов основной добычи и является потенциальным источником сырья при применении технологии кучного выщелачивания.

Характерной экологически отрицательной особенностью технологии кучного выщелачивания, определяющей ее экологическую опасность, является использование высокотоксичного реагента — цианида натрия (NaCN) для извлечения золота и серебра из руды. Расход цианида натрия в зависимости от типа выщелачиваемой руды и от производительности предприятия значителен (исчисляется десятками тонн в год). В то же время применение этого реагента позволяет достигать высоких показателей извлечения из различных золотосодержащих руд. Следовательно, главной экологической задачей является защита воздуха, почвы, поверхностных и подземных вод от загрязнения цианидами, то есть основным направлением решения этого вопроса в природоохранной деятельности горно-обогатительных предприятий остается технология реабилитации окружающей среды района расположения установок кучного выщелачивания. В отсутствие реабилитации нарушенной территории негативное техногенное воздействие может на длительное время определить состояние окружающей среды в районе предприятия кучного выщелачивания. Опыт работы предприятий показывает, что их экологическая безопасность достигается при реализации природоохранных, инженерных и организационных решений, базирующихся на исследованиях поведения различных форм цианидов в объектах окружающей среды и разложения этих токсикантов различными средствами.

Таким образом, необходимость проведения реабилитационных работ вслед за окончанием процесса выщелачивания рудных штабелей обусловлена: требованиями экологической безопасности территории, обеспечиваемой, в том числе, за счет восстановления нарушенных земель; консервацией объемов отработанной руды для уменьшения геохимического загрязнения окружающей среды.

Мероприятия по охране, рациональному использованию и восстановлению земель при реабилитации территорий установок кучного выщелачивания могут быть разделены на две группы. Первую группу составляют мероприятия предохранительного характера, предусматривающие максимально возможное, экономически оправданное и технически осуществимое сокращение прямого и косвенного воздействия на земли. Во вторую группу входят мероприятия восстановительного характера, направленные на устранение последствий негативного воздействия производства на окружающую среду. Критерием полноты и достаточности обезвреживания руды является остаточное содержание токсичных веществ (в первую очередь цианидов) на уровнях, не превышающих действующих санитарно-гигиенических нормативов.

В настоящее время все более важную роль в процессах обезвреживания отвальных стоков приобретает биологический метод. В его основе лежат биохимические процессы окисления, фильтрования, поглощения, накопления органических и неорганических веществ и др. Биологический метод характеризуется высокой производительностью и стабильностью; отсутствием дефицитных материалов и реагентов, необходимых для проведения процесса; возможностью использования этого метода в комплексе с другими. Важная характеристика процесса — его рентабельность. В основе одного из методов лежит способность высших водных растений к накоплению, утилизации, трансформации многих веществ сточных вод, что делает их незаменимыми в общем процессе самоочищения водоемов. Высшие водные растения первыми реагируют на воздействие ядов, что позволяет оценить степень токсичности водной среды при ее биотестировании.

К числу таких растений относится ряска малая (*Lemna minor*) — высшее растение-индикатор, обладающее повышенной чувствительностью и способностью к быстрой реакции на вредные вещества. Ряска представляет собой округлую или продолговатую листовидную пластинку, от которой отходит корень. На Урале распространена ряска с размером пластинок ~4 мм. Она интенсивно размножается ветвлением пластинок в воде при pH ≈ 8,0 — 8,7 с образованием сплошного зеленого покрова на поверхности водоемов. В кислой среде (pH менее 5,0) растение погибает, а в щелочной (pH более 9,5) — плохо размножается с замедлением процессов разложения токсикантов.

Исследования по очистке сточных вод от цианидов и роданидов проводили на хвостовых растворах опытно-промышленной установки кучного выщелачивания золото-серебросодержащих руд Сафьяновского месторождения (100 км к северо-восточнее Екатеринбурга, г. Реж). Концентрация основных ингредиентов цианидов и роданидов в сточных водах аварийной емкости составила, соответственно, 24,5 и 57,3 мг/л. Для

определения оптимальных режимных параметров обезвреживания проводилась серия экспериментов, программа которых включала два этапа [2]: изучение поведения ряски малой в зависимости от продолжительности эксперимента, расхода минеральных удобрений для подкормки растений, площади поверхности сточных вод, занимаемой ряской; изучение влияния вещественного состава ложа прудков на разложение цианидов и роданидов.

В результате исследований было установлено:

— искусственное добавление фосфора и азота в виде аммофоса в отвальные стоки кучного выщелачивания интенсифицирует очищение воды ряской от цианидов и подпитывает микрофлору;

— способность ряски интенсивно разрушать цианиды и роданиды в растворах с их повышенной концентрацией позволяет применять это растение в начальных стадиях очистки стоков с высокой концентрацией токсикантов для удаления их основной массы из раствора.

Одним из важных факторов обезвреживания цианидсодержащих сточных вод является физиологическое состояние ложа биопрудов. Многочисленными экспериментами по формированию дна в биопрудах, проведенными в разных странах мира, показано, что в водоемах с кислой средой практически нет растительности, отсутствует животный мир и, следовательно, они характеризуются большей степенью загрязнения, только техногенные водоемы с нейтральной и щелочной средой отличаются меньшей степенью загрязнения, то есть степень загрязнения остаточных водоемов находится в прямой зависимости от pH среды. Понижение кислотности дает положительные результаты: почва обогащается кальцием, что способствует более полному удовлетворению потребности растений в этом элементе, улучшаются условия для деятельности полезных микроорганизмов, что благотворно сказывается на питании растений. Введение в вещественный состав ложа прудков таких пород, как известняк, позволит сократить время очистки отвальных стоков установки кучного выщелачивания. Интенсификация развития ряски в присутствии известняка объясняется наличием элементов и микроэлементов, входящих в его состав, которые улучшают питание растений.

Проведенные эксперименты показали, что использование каскада искусственно созданных биологических прудов с ряской позволит снизить остаточную концентрацию токсикантов в растворе до уровня ПДК при последовательном протекании раствора по каскаду.

Целесообразность использования мероприятий для конкретной установки кучного выщелачивания определяется условиями оптимизации параметров техногенных ландшафтных комплексов и гармоничного сочетания их с природными. Из значительного числа факторов, регулирующих экологические взаимоотношения промышленного объекта и природной среды, основным является разработка и внедрение природоохранных схем и способов восстановления территорий кучного выщелачивания. Научные исследования и их анализ проводятся по следующим основным направлениям:

— ликвидация источников загрязнения окружающей среды;

— оптимизация режима работы технологического оборудования установки;

— экологический мониторинг и экологическое картографирование;

— контроль за санитарно-гигиеническими условиями труда персонала;

— изучение изменений флоры и фауны и разработка мер для сохранения биоразнообразия [3].

Многообразие горно-геологических условий месторождений исключает применение универсальной технологии реабилитационных работ. В основу мероприятий должен быть положен общий методический подход, который предусматривает проведение комплекса натурных, лабораторных и аналитических исследований.

Литература

1. Проблемы геологии и разведки месторождений золота, извлечения благородных металлов из руд и отходов производства (Материалы Международной научно-технической конференции) / УГГГА. — Екатеринбург, 1999. — 110 с.

2. *Антонинова Н. Ю.* Экологическая реабилитация установок кучного выщелачивания (на примере Сафьяновского месторождения: автореф. дис. … канд. техн. наук. / Н. Ю. Антонинова; ИГД УрО РАН. — Пермь, 2007. — 18 с.

3. *Мосинец В. Н.* Горные работы и окружающая среда / В. Н. Мосинец, М. В. Грязнов. — М.: Недра, 1978. — 183 с.

Геомеханика и разрушение горных пород

УДК 622.83:550.034

ГЕОМЕХАНИКА ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ ПРИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ

А. Д. Сашурин

Со второй половины XX века и в настоящее время горная наука, выступавшая ранее исключительно как область естественнонаучных знаний об извлечении полезных ископаемых из глубин недр и строительстве промышленных горнотехнических комплексов, существенно расширила границы своего внимания. Накопленные в ней знания и опыт обеспечения безопасности оказались востребованными в более широкой сфере экономики, которой посвящается оформившееся в последнее время направление в науках о Земле — недропользование. Наряду с традиционной добычей полезных ископаемых в этом направлении рассматривается широкий спектр научно-технических вопросов обеспечения безопасности при создании и эксплуатации объектов, у которых массив горных пород и земная поверхность являются неотъемлемыми конструктивными элементами — основанием или вмещающей средой; фундаментальную основу решения составляют современные достижения геомеханики.

Земля щедро одарила человека всем необходимым для существования. И вся его история знаменуется бесконечной борьбой с природой за освоение ее ресурсов — покорение земных недр, глубин океанов, земной поверхности, космического пространства. И в этой борьбе людям порой кажется, что они изучили планету, приспособились к ее капризам, и даже пытаются управлять ее процессами. По поверхности Земли проложили автомобильные и железнодорожные магистрали, опутали ее паутиной нефте-газопроводов, наземных и подземных линий связи и электропередачи. Самые глубокие скважины достигли глубины 12 км, подземные рудники углубились до 3,5 км, а самые глубокие карьеры перешли километровую отметку. В горнодобывающих регионах десятки миллиардов тонн полезных ископаемых и вскрышных пород извлекаются из земных недр и перемещаются на новые места.

И все это планета терпеливо сносит лишь до определенного предела. Там, где у Земли кончается терпение или не учтен ее нрав, она наказывает человека за его невежество и самонадеянность. В сейсмически спокойных районах разрушаются города, взметаются факелы разрушенных магистральных газопроводов, в огне которых сгорают пассажирские поезда, разливается нефть разорванных нефтепроводов, уничтожая все живое на прилегающих территориях и в реках, смещаются железнодорожные пути, превращаются в руины города и поселки нефтяников и газодобытчиков.

Разрушение автомобильного моста — путепровода через транссибирскую железную дорогу в г. Екатеринбурге

Все эти события могут быть разделены на два вида. К первому виду относятся катастрофы, обусловленные игнорированием естественных природных процессов, когда ответственные сооружения помещают на активные разломы в земной коре, когда магистральные продуктопроводы прокладывают через активные разломы без учета параметров перемещения смежных блоков. И тогда вдруг появляются необъяснимые участки повышенной аварийности, рвутся магистральные газопроводы в районе г. Краснотурьинска на Урале, в Башкирии, в районе г. Ярославля и на ряде других участков. По непонятным причинам разрушается на завершающей стадии строительства мост — путепровод через транссибирскую железную дорогу в г. Екатеринбурге (см.рисунок). Ко второму виду относятся катастрофы, обусловленные провоцирующим влиянием техногенной деятельности, возникающие в районах с относительно спокойной геодинамической обстановкой. Техногенное воздействие на земную кору сегодня достигло таких масштабов, что способно вызвать геодинамические явления в районах, отнесенных к сейсмически неопасным.

За последнее десятилетие на горных предприятиях произошли десятки техногенных землетрясений с магнитудами от 2,5 до 4,4. К наиболее мощным среди них, нанесшим серьезный ущерб, могут быть отнесены техногенные землетрясения: на Кировском руднике (16.04.1989 г., M = 3,4 — 3,6); на шахте Курбазакская ЮУБРа (28.05.1990 г., M = 3,5 — 4,0); на руднике Умбозеро (3 —9.11.1991 г., M = 2,2 — 2,6; 17.08.1999 г., M = 4,0 — 4,4); на руднике Таштагол (31.08.1992 г., M = 2,5); на Березниковском калийном руднике-2 (5.01.1995 г., M = 3,5 — 3,8) [1]. Важно отметить, что все они произошли в районах, считающихся сейсмически спокойными. Кроме отмеченных контрастных техногенных землетрясений, с явлениями геодинамической подвижности могут быть связаны прорыв вод на шахте Западная Ростовской области, затопление Березниковского калийного рудника, трагедия на шахте Ульяновская Кемеровской области и другие.

К сожалению, в современной практике обеспечения промышленной безопасности детально рассматриваются сценарии и меры предотвращения мельчайших аварий и полностью остается без внимания опасность проявления крупных техногенных катастроф, угрожающих существованию не

только самого предприятия, но и окружающей инфраструктуре и проживающим там людям. Наиболее яркими примерами подобной ситуации могут служить Коркинский угольный разрез и карьеры комбината Ураласбест. На Коркинском угольном разрезе карьер, достигший глубины 500 м, и отвалы вскрышных пород создали идеальную моментную пару нагружения литосферы, способную вызвать техногенное землетрясение. По масштабам нагружения она давно перешагнула критический уровень, отмечаемый статистикой подобных событий. Аналогична ситуация с опасностью техногенной катастрофы и на комбинате Ураласбест, но здесь дополнительно в область потенциальной опасности попадает Белоярская атомная станция. Причина подобного отношения к проблеме кроется в том, что знания об истоках и закономерностях развития техногенных катастроф на объектах недропользования и технология снижения риска не стали всеобщим достоянием и не отражены в законодательных и нормативных актах.

В последнее десятилетие в Российской академии наук сделаны шаги в направлении предотвращения техногенных катастроф при недропользовании. В Институте горного дела УрО РАН создана специализированная лаборатория, ведущая фундаментальные и прикладные исследования по этой проблеме. Развернуты экспериментальные исследования природы и закономерностей формирования очагов техногенных катастроф, ставшие возможными лишь с внедрением в практику научных исследований технологий спутниковой геодезии GPS. Решающую роль сыграл Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ), оказавший финансовую поддержку в организации при ИГД УрО РАН центра коллективного пользования уникальным оборудованием — «Уральского центра геомеханических исследований природы техногенных катастроф в районах добычи полезных ископаемых», оснащенного комплексами спутниковой геодезии фирмы Trimble (США).

Комплексный подход к предотвращению катастроф стал возможным благодаря финансированию фундаментальных исследований Российской академией наук, Российским фондом фундаментальных исследований и Министерством образования и науки в рамках программы Президента РФ по поддержке ведущих научных школ.

Прикладные исследования, направленные преимущественно на разработку технологий снижения риска техногенных катастроф, выполняются на основе хозяйственных договоров с предприятиями по решению конкретных задач, связанных с предотвращением катастрофических ситуаций.

Долгое время в науках о Земле современные тектонические деформации и подвижки горного массива и земной поверхности рассматривались главным образом в плане опасности землетрясений, на основе чего и были разработаны методики и нормативные акты по сейсмическому районированию и сейсмостойкому строительству. Те же многочисленные аварии и катастрофы, которые происходили на объектах недропользования в сейсмически неопасных районах, трактовались исключительно с позиций возникновения осадок фундаментов и прочих оползневых явлений. Коренной пересмотр традиционных взглядов на роль геодинамических факторов в оценке риска возникновения и механизма развития аварий и катастроф на объектах недропользования произошел в конце XX века, когда многочисленные экспе-

риментальные исследования на геодинамических полигонах выявили интенсивные современные движения земной коры, причем как вертикальные, так и горизонтальные, проявляющиеся на тех ее участках, которые по фактору опасности землетрясений являлись асейсмичными. Эти движения, получившие у Ю. О. Кузьмина название суперинтенсивных современных движений, обладают знакопеременным цикличным характером, проявляющимся на фоне определенной трендовой направленности, высокоамплитудны (до 50 — 70 мм), в геологических масштабах времени короткопериодны (0,1 — 1 год), и при этом пространственно локализованы (0,1 — 1 км) в зонах тектонических разломов различных рангов [2]. Применение дифференциальных технологий спутниковой геодезии позволило творческому коллективу уральской школы геомехаников углубить знания об указанном явлении и выявить новый класс современных геодинамических движений, которые также концентрируются вблизи тектонических нарушений и в разломных зонах различных рангов и при этом обладают аномально высокоамплитудным (до 85 — 110 мм) цикличным характером с минимальными периодами колебаний от нескольких минут до часа и более [3, 4].

Таким образом, экспериментально установлено, что многие тектонические нарушения испытывают сложный комплекс цикличных и трендовых современных геодинамических движений с широким спектром частот и амплитуд. При этом амплитуды цикличных движений соизмеримы, а зачастую и превосходят величину трендовых подвижек. Массив горных пород, слагающий такие нарушения, находится в непрерывном движении, выступающем в качестве формы существования геологической среды. Практика свидетельствует, что именно данное природное явление часто является причиной аварий и катастроф инженерных объектов, находящихся в зоне его действия, причем как непосредственного — за счет превышения допустимых деформаций, так и опосредованного — через проявление усталостных эффектов в конструкциях и материалах, а также изменений прочностных свойств породных массивов и грунтов в основаниях объектов и, таким образом, через провоцирование неравномерной осадки фундаментов и развитие оползневых эффектов.

Сложность учета вышеописанных факторов прежде всего связана с пространственной и временной изменчивостью современных геодинамических движений, в особенности цикличных короткопериодных. Пространственная изменчивость обусловлена иерархически блочным строением литосферы, вследствие чего на любом сколь угодно локальном участке земной поверхности неизбежно присутствует иерархический набор тектонических нарушений и дислокаций различных масштабных рангов. При этом, согласно данным многочисленных натурных наблюдений, не прослеживается прямой зависимости между рангом тектонической структуры и ее геодинамической активностью: очень часто деформации, замеряемые на конкретном участке массива, концентрируются на более мелкомасштабных нарушениях и разломах. С иерархически блочным строением массива связана и изменчивость параметров геодинамических движений во времени, вследствие чего активность конкретной тектонической структуры зачастую претерпевает качественные изменения в процессе деформирования.

Фундаментальные исследования ИГД УрО РАН ориентированы на изу-

чение природы современных геодинамических движений, в первую очередь цикличных короткопериодных, и выявление их взаимосвязи с напряженно-деформированным состоянием и иерархически блочным структурным строением породных массивов на локальных участках земной поверхности. В ходе исследований впервые в мировой геомеханической практике путем прямых инструментальных мониторинговых наблюдений было выявлено, что в деформируемом горном массиве на фоне существующего иерархически блочного строения происходят процессы вторичного структурирования (кластеризации), проявляющиеся в формировании консолидированных породных объемов, выделяемых по их знакопеременным подвижкам. Эти процессы вносят существенную дифференциацию в деформационное поле массива, поскольку проявляются на базах, соизмеримых с крупными инженерными объектами. При этом границы консолидированных структур сохраняются на протяжении значительных промежутков времени (до десятков лет), а амплитуды цикличных деформаций массива, обусловленные знакопеременными подвижками этих структур, превышают ±0,1 мм/м. Полученные экспериментальные данные позволили по-новому взглянуть на природу формирования естественного напряженно-деформированного состояния массива горных пород, изменить акценты в оценке роли гравитационных и тектонических факторов, их статических и динамических составляющих. Все это в комплексе дает реальную возможность внести существенные коррективы в оценку роли этих факторов при прогнозировании риска проявления техногенных катастроф в процессе недропользования и открывает возможность оперативно осуществить диагностику геодинамической активности локального участка земной поверхности, направленную на прогноз и предотвращение катастроф.

Выявленные взаимосвязи между современными геодинамическими движениями и механизмом разрушения объектов недропользования создают теоретическую основу для определения стратегии и разработки технологии снижения риска возникновения катастроф при недропользовании. Все технологические разработки по предотвращению и снижению риска техногенных катастроф прошли практическую проверку и внедрение более чем на 50 предприятиях, охватывающих разнообразные виды недропользования от горных предприятий, магистральных нефтегазопроводов, атомных электростанций, инженерных коммуникаций до жилых и общественных зданий.

Литература

1. *Новичков А. В.* Закономерности проявления техногенных землетрясений на зарубежных и отечественных рудниках / А. В. Новичков, И. А. Кузьмин // Геомеханика в горном деле: докл. междунар. конф., 19 — 21 ноября 2002 г. / ИГД УрО РАН. — Екатеринбург, 2003. — С. 191 — 200.

2. *Кузьмин Ю. О.* Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании / Ю. О. Кузьмин. — М.: Агентство экологических новостей, 1999. — 220 с.

3. *Сашурин А. Д.* Современная геодинамика и техногенные катастрофы / А. Д. Сашурин // Геомеханика в горном деле: докл. междунар. конф., 19 — 21 ноября 2002 г. / ИГД УрО РАН. — Екатеринбург, 2003. — С. 180 — 190.

4. *Сашурин А. Д.* Диагностика геодинамической активности на участке недропользования / А. Д. Сашурин // Горный информационно-аналит. бюл. — 2004. — № 6. — С. 185 — 187.

УДК 622.831.32

ПЕРСПЕКТИВНАЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОВМЕСТНОГО ВЛИЯНИЯ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ОТРАБОТКИ НА ОДНОМ ИЗ УЧАСТКОВ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

М. В. Гилев, С. А. Константинова, Р. Р. Хасаншин, С. А. Чернопазов

За последние 20 лет на уникальном по запасам и единственном в России разрабатываемом месторождении калийных солей — Верхнекамском — произошли три чрезвычайных события (1986 г. — затопление Третьего Березниковского рудника; 1995 г. — горно-тектонический удар на Втором Соликамском руднике; 2006 г. — затопление Первого Березниковского рудника), которые не могут быть объяснены в рамках действующих на месторождении нормативно-методических документов. Поэтому обязательным условием дальнейшей безопасной эксплуатации месторождения является геодинамическое районирование недр и земной поверхности с целью выделения потенциально опасных участков на уже отработанных и еще не отработанных площадях рудников ВКМКС.

Для увеличения балансовых запасов Первого Соликамского рудника к его горному отводу с восточной стороны прирезается участок горного отвода Третьего Соликамского рудника.

В связи с аварией на Первом Березниковском руднике на ВКМКС оказались весьма ограниченные площади, где отрабатывается пласт В карналлитового состава и добывается карналлитовая руда.

На основании комплексной оценки запасов карналлита в западной части шахтного поля рудника СКРУ-3 [1] запасы пласта $В_к$ мощностью 3 — 6 м, которые были ранее отнесены к площади смешанных солей, относятся в настоящее время к балансовым запасам карналлита. Была выполнена работа [2], в которой проведен расчет параметров системы отработки на тех площадях, где планируется отработка карналлитового пласта $В_к$.

Ниже изложены некоторые результаты перспективной геодинамической оценки совместного влияния горно-геологических условий и проектных параметров [2] системы отработки пластов $В_к$ и Красный II на напряженное и деформированное состояние водозащитной толщи (ВЗТ) и надсолевой толщи, которая выполнена с применением современного численного метода механики сплошных сред — метода конечных элементов (МКЭ) с использованием геологических, геофизических и маркшейдерских данных.

Методические основы оценки геодинамической безопасности недр и земной поверхности при эксплуатации Верхнекамского месторождения калийных солей достаточно подробно изложены в работе [3].

Пластичные породы продуктивных пластов, междупластовая и покровная каменная соль моделировались уравнениями наследственной

ползучести с ядром Абеля. Для остальных пород применялась упругая модель деформирования с использованием модулей деформации. Разрушенные горным давлением породы моделировались с помощью деформационной теории пластичности с сопротивлением пластическому деформированию, равным остаточной прочности.

Физико-механические характеристики горных пород приняты равными средним для рудников ВКМКС и приведены в табл. 1 и 2.

По данным геологических скважин (пробуренным с поверхности и подземным) построены вертикальные геологические разрезы широтного направления, один из которых показан на рис. 1. Протяженность геологических разрезов значительно превышала размеры участка прирезки. На геологические разрезы нанесены параметры и годы отработки отдельных камер на пластах, а также «геофизические» аномалии по Н. М. Джиноридзе [4] и Г. Г. Кассину [5]. Построенные геологические разрезы в совокупности с данными таблиц 1 и 2 использованы в качестве физико-геологических моделей подработанного породного массива, для которого выполнены геомеханические расчеты. При геомеханических расчетах в «разломных» зонах снижали прочностные и деформаци-

Таблица 1

Физико-механические характеристики, принятые в упругой модели пород

Порода	Модуль деформации E, МПа	γ, Н/м^3	Коэффициент Пуассона μ	Сцепление C, МПа	Угол внутреннего трения φ, град
Четвертичные отложения	1000	20 000	0,30	—	—
ПЦТ	6600	24 000	0,28	5,7	30
ТКТ	12 600	23 000	0,28	11,0	30
СМТ	7400	23 000	0,26	11,0	24

Таблица 2

Физико-механические характеристики, принятые в вязкоупругой модели пород

Порода	Упругие характеристики		Мгновенная прочность		Длительная прочность		Параметры ползучести	
	E, ГПа	μ	$\sigma_{сж}$, МПа	φ, град	$\sigma_{сж\,\infty}$, МПа	φ_∞, град	α	δ_c, ч$^{\alpha-1}$
Покровная каменная соль	10	0,24	23,1	26	40 % от $\sigma_{сж}$	21	0,7	0,1
Сильвинито-карналлитовая зона, карналлит $В_к$	16,3	0,17	11,5	34	10 % от $\sigma_{сж}$	11	0,7	0,025 ÷ 0,4
Междупластовая каменная соль	13,5	0,25	21,5	32	40 % от $\sigma_{сж}$	21	0,7	0,11
Сильвинит Кр II	14,6	0,25	23	35	30 % от $\sigma_{сж}$	20	0,7	0,18
Сильвинит АБ	12,2	0,25	19	27	30 % от $\sigma_{сж}$	15	0,7	0,45
Подстилающая каменная соль	15	0,23	35	30	40 % от $\sigma_{сж}$	21	0,7	0,1

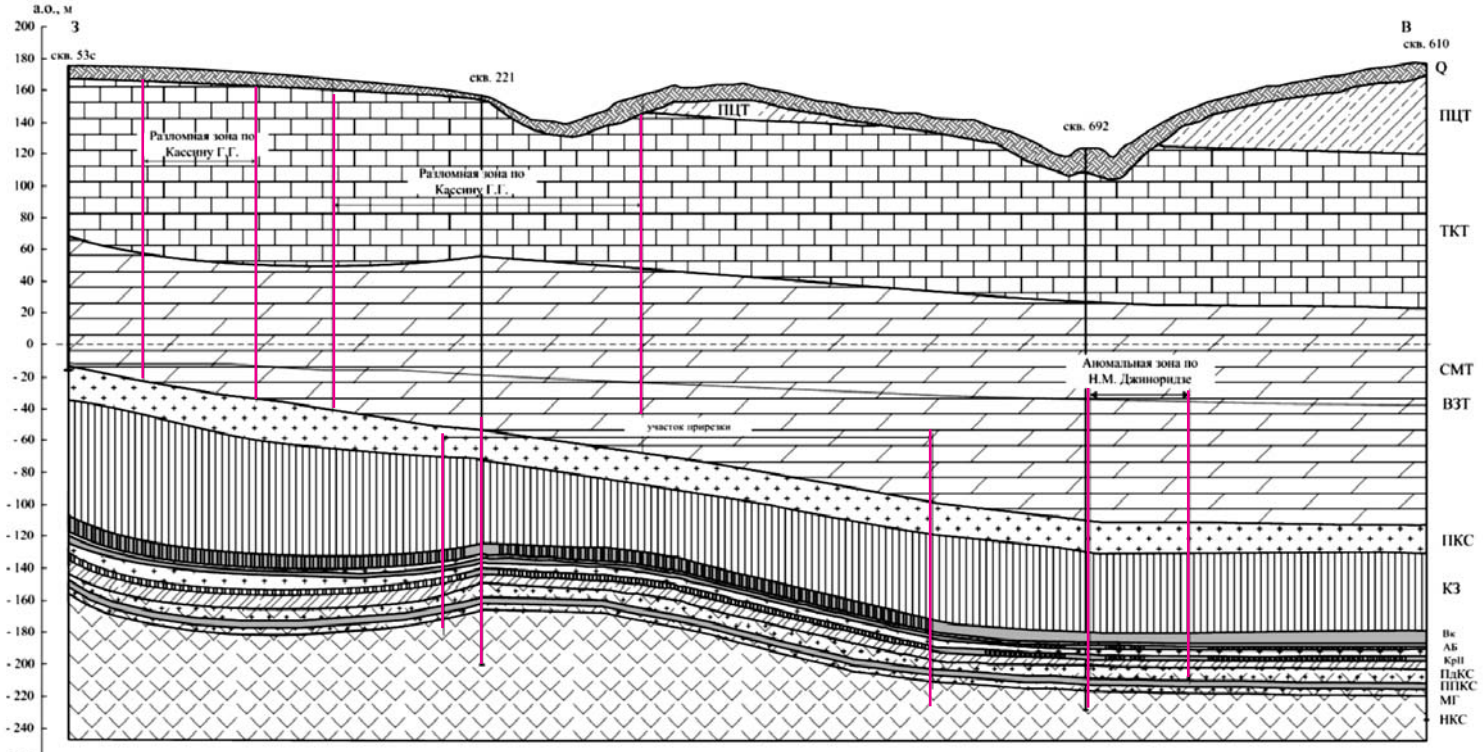


Рис. 1. Геологический разрез по линии скважин 53с — 221 — 692 — 610

Таблица 3

Параметры отработки пластов $В_к$ и КрII в области прирезки по разрезу 2 бис — 221-220 — 119г — 294

Местоположение	Пласт	*a*, м	*b*, м	*h*, м	*H*, м
7 ВП	$В_к$	8,0	23	6,5	320
западный блок	Кр II	12,5 [5,5 + 1,5 (мхц) + 5,5]	18,5	4,0	335
7 ВП	$В_к$	8,0	14,5	4,5	335
восточный блок	Кр II	12,5 [5,5 + 1,5 (мхц) + 5,5]	10,0	3,8	345

Таблица 4

Параметры отработки пластов $В_к$ и Кр II в области прирезки по разрезу 53с — 221 — 692 — 610

Местоположение	Пласт	*a*, м	*b*, м	*h*, м	*H*, м
11 ВП	$В_к$	8,0	17,0	6,5	290
западный блок	Кр II	12,5 [5,5 + 1,5 (мхц) + 5,5]	12,5	4,0	300
11 ВП	$В_к$	8,0	16,0	5,5	315
восточный блок	Кр II	12,5 [5,5 + 1,5 (мхц) + 5,5]	11,5	3,8	330

онные характеристики [3]. Проектные параметры системы разработки пластов $В_к$ и Красный II в области прирезки приведены в табл. 3 и 4.

Начало горных работ по линии скважин ств. 2 бис — 221-220 — 119г — 294 — 2000 год, завершение — 2026 год. Начало горных работ по линии скважин 53с — 221 — 692 — 610 — 1983 год, завершение — 2026 год.

Вычислительные средства, использованные в расчетах, — конечно-элементная компьютерная программа собственной разработки Earth 2D.1 и программа Crawl-14, реализующая инженерные методики оценки состояния несущих элементов системы разработки.

К особенностям строения породного массива в направлении геологического разреза по скважинам 53с — 221 — 692 — 610 (см. рис. 1) следует отнести «разломную» зону в надсолевой толще, расположенную восточнее скважины 53с и вокруг скв. 221. Продуктивные пласты в средней части разреза залегают с уклоном в восточном направлении, в краевых частях разреза продуктивные пласты залегают горизонтально. Карналлит пласта $В_к$ в области «разломной» зоны, согласно данным ГИ УрО РАН, характеризуется пониженной мгновенной прочностью на сжатие, равной 7 — 9 МПа.

Естественное поле напряжений находили из пошагового решения реологической задачи о напряженном и деформированном состоянии геологического разреза под действием сил тяжести. В качестве начальных напряжений принимали напряжения, найденные из упругого решения. Пошаговое интегрирование реологических уравнений состояния пород выполняли до установления реологически равновесного напряженного состояния. Это напряженное состояние принимали в качестве естественного поля напряжений.

По двум критериям (максимальные касательные напряжения и энергия упругого формоизменения) были выделены три природные тектонические напряженные зоны (ТНЗ), расположенные в краях и центре разреза. ТНЗ в центре разреза обусловлена негоризонтальным залеганием породных пластов, ТНЗ в восточной части разреза обусловлена большей глубиной залегания пород, слагающих ВЗТ. ТНЗ в западной части разреза обусловлена значительным отклонением от горизонтального залегания соляных породных пластов на границе разреза. Указанные зоны являются неблагоприятными с точки зрения ведения горных работ. Техногенные напряжения здесь могут иметь повышенный уровень, как и естественные напряжения.

Напряженное и деформированное состояние существующей (в западной части разреза) и запроектированной в прирезке системы разработки двух разрабатываемых продуктивных пластов $В_к$ и Красный II оценивали по двум критериям:

✓ оседания земной поверхности (этот критерий отвечает за скорость сжатия целиков);

✓ возникновение и развитие областей запредельного деформирования (позволяет оценить время устойчивого состояния системы разработки).

В «Методических рекомендациях …» [6] в разделе «Оценка состояния ВЗТ методом математического моделирования» сказано: «В зависимости от поставленной задачи оценка безопасных условий подработки ВЗТ может быть проведена на основе различных критериальных соотношений».

В ОАО «Галургия» для оценки техногенных нагрузок на недра, которые вызваны разработкой калийного месторождения, используется подход академика Е. И. Шемякина и др. [7], развиваемый для случая пластового месторождения, сложенного релаксирующими породами.

Ретроспективный геомеханический анализ причин аварий на Втором Соликамском руднике (1995 г.) и Первом Березниковском руднике (2006 г.) позволил сделать вывод о возможности применения критерия изменения энергии возмущения во времени [8, 9] при перспективной оценке геодинамической безопасности недр и земной поверхности.

Некоторые результаты расчетов показаны на рис. 2 — 4.

Геомеханические расчеты позволили установить, что на период времени до 2030 г. на участке скважин 53с — 221 — 692 — 610:

✓ междукамерные целики на пласте Красный II деформируются в жестком режиме;

✓ междукамерные целики на карналлитовом пласте $В_к$ на негоризонтальных участках залегания пласта полностью разрушены и деформируются в запредельном режиме, однако области запредельного деформирования не распространяются в ВЗТ;

✓ целики на пласте $В_к$, расположенные на горизонтальных участках залегания пласта, сохраняют устойчивость достаточно долго;

✓ максимальная концентрация техногенной энергии приходится на ТНЗ, расположенную в западной части разреза и обусловленную негоризонтальным залеганием пластов;

✓ расчетные значения оседаний земной поверхности не превысят 17 см, что согласуется с результатами маркшейдерских замеров по профилю № 28 на шахтном поле рудника СКРУ-1 на настоящее время;

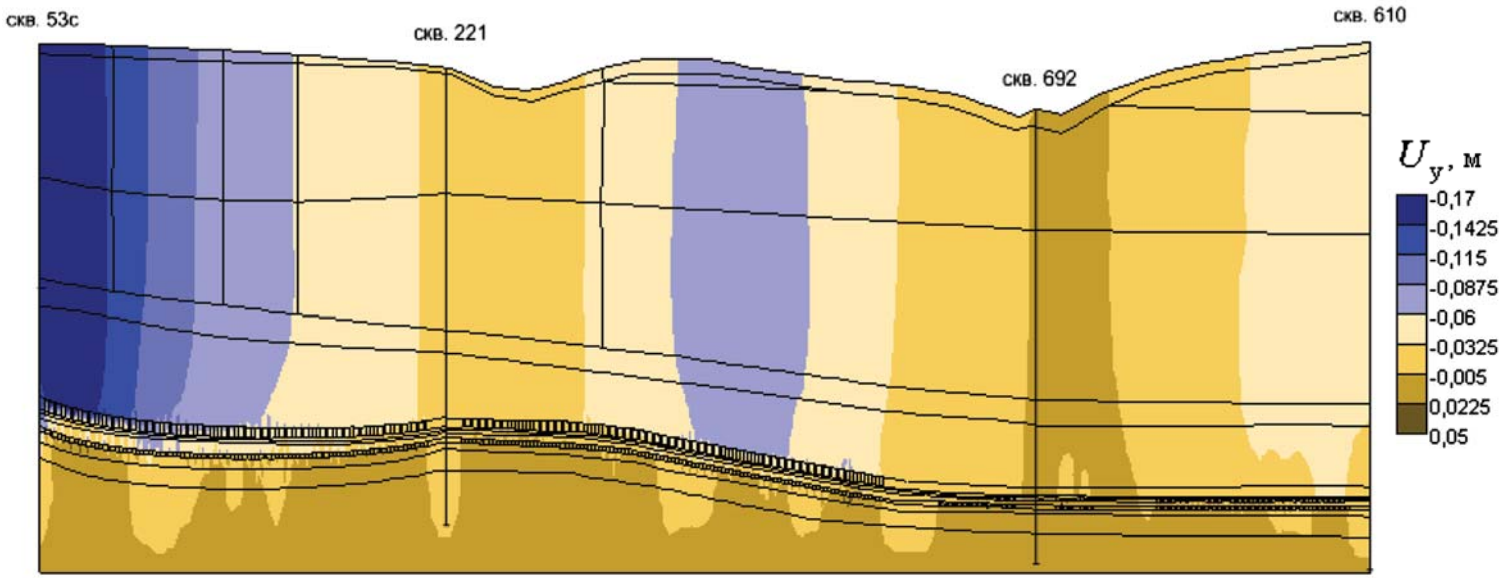


Рис. 2. Изолинии вертикальных перемещений в подработанном породном массиве, залегающем по линии скважин 53с — 221 — 692 — 610: T = 2033 год

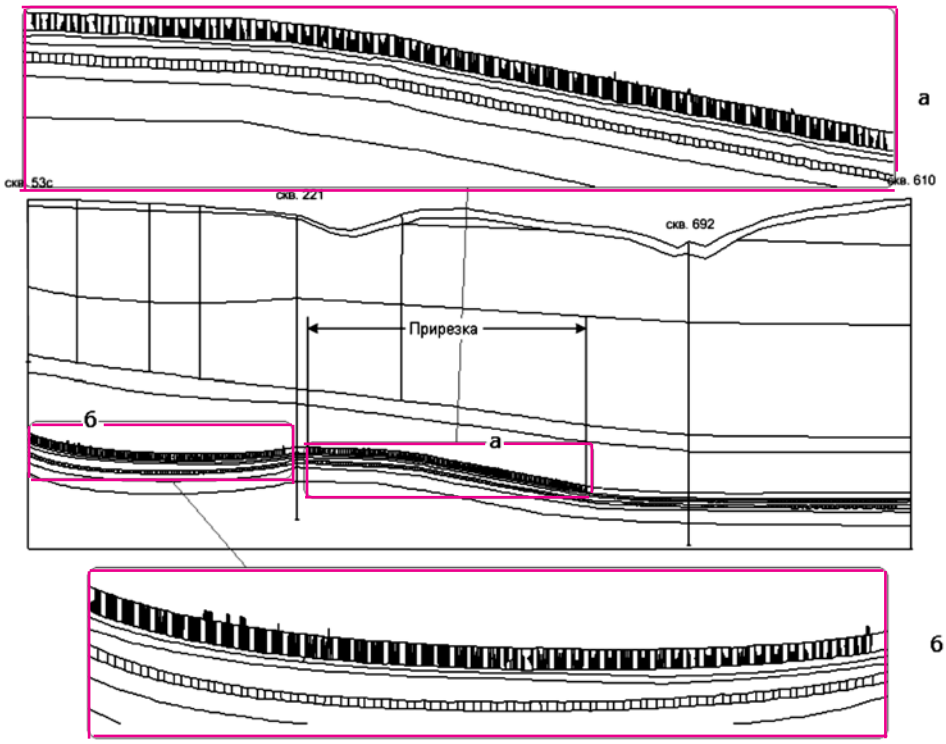


Рис. 3. Прогноз областей запредельного деформирования (разрушения) пород на 2033 год. Начало горных работ в прирезке по пласту $В_к$ — 2013 год

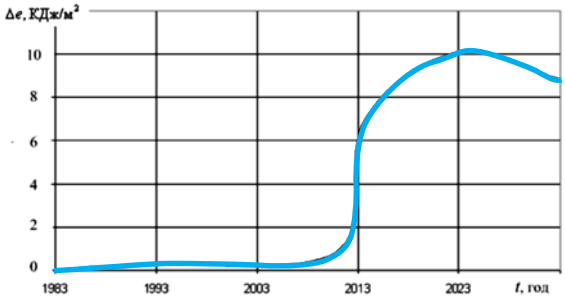


Рис. 4. Изменение техногенной энергии формоизменения. Разрез 53с — 221 — 692 — 610, восточная часть прирезки (x = 2600 м)

✓ в зоне прирезки карналлитовые целики при негоризонтальном залегании пластов сохраняют устойчивость не более 2 — 4 лет, следовательно, отставание закладочных работ от очистных не должно превышать 1,5 года.

Следует особо отметить, что наибольшее значение энергии возмущений на участке исследований (см. рис. 4) на порядок меньше, чем вблизи скв. 17 на шахтном поле Первого Березниковского рудника и на два порядка меньше, чем на аварийном участке Второго Соликамского рудника в районе скв. 140с и «широкого» целика на пласте АБ [8, 9].

Таким образом, проведенный геомеханический анализ позволяет сделать вывод о том, что на прирезаемом участке в районе отработки карналлитового пласта $B_к$ и сильвинитового пласта Красный II при параметрах системы разработки, предлагаемых в качестве проектных в работе [2], геодинамическая безопасность недр и земной поверхности до 2030 года будет обеспечена. Кроме того, расчеты позволили установить, что междукамерные целики на пласте Красный II до 2030 года деформируются в жестком режиме. Технологическое междупластье сохраняет устойчивость как угодно долго, следовательно, разрабатываемые пласты $B_к$ и Красный II — не сближенные, поэтому условие соосности очистных камер и междукамерных целиков может не соблюдаться. Кроме того, карналлитовый пласт разрабатывается и закладывается значительно раньше, чем пласт Красный II (~на 10 лет). В этой связи было рекомендовано рассмотреть возможность повышения извлечения полезного ископаемого на пласте Красный II на прирезаемом участке, что и было сделано. В результате в качестве исходных данных для проектирования были предложены параметры системы разработки, позволяющие по сравнению с [2] увеличить извлечение сильвинитовой руды с пласта Красный II. На рис. 5 показана предложенная нами схема отработки пла-

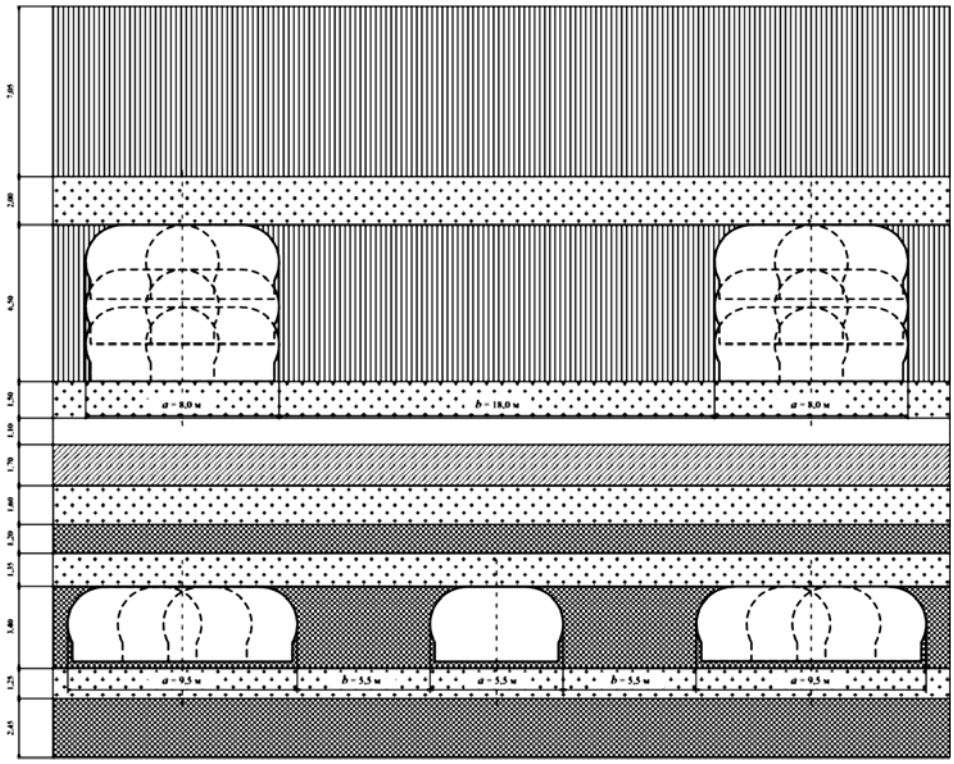


Рис. 5. Рекомендуемая схема отработки карналлитового пласта $B_к$ и сильвинитового пласта Красный II

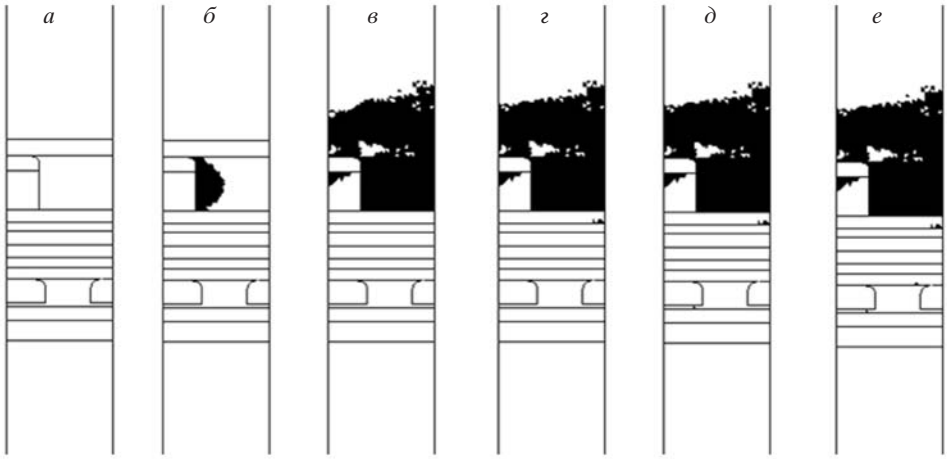


Рис. 6. Развитие зон запредельного деформирования пород на карналлитовом пласте $В_к$:

а — *t* = 1-й год; *б* — 2-й год; *в* — 3-й год; *г* — 15-й год; *д* — 16-й год; *е* — 40-й год

стов на участке прирезки в районе 7-й восточной панели и геологическое строение породного массива.

Так как данная горнотехническая ситуация, когда одноходовая очистная камера на пласте Красный II проходится под целиком на вышележащем пласте $В_к$, относится, согласно [10], к нештатным, то были проведены геомеханические расчеты для оценки устойчивости конструктивных элементов системы разработки с применением модели деформирования и разрушения соляных пород [11]. На рис. 6 иллюстрируется картина развития зон запредельного деформирования пород. Видно, что через 3 года после проведения очистных выработок на карналлитовом пласте в целиках, а также в кровле камер разовьются зоны запредельного деформирования пород, которые не проникают глубоко в водозащитный целик (водозащитную толщу — ВЗТ) (см. рис. 1). Отработка очистных камер на пласте Красный II не отразится на размерах зон запредельного деформирования пород вокруг камер на пласте $В_к$. Расчеты показали, что технологическое междупластье и целики на сильвинитовом пласте Красный II сохраняют устойчивость как угодно долго.

Работа выполнена при финансовой поддержке ОАО «Сильвинит» и РФФИ (проект 07-01-97613 р-офи).

Литература

1. Переоценка запасов Соликамского и Ново-Соликамского участков Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (с подсчетом запасов по состоянию на 01.01.2006 г.): отчет о НИР / Агрохимбезопасность. — М., 2006.

2. Геомеханическое и гидрогеологическое обоснование параметров системы разработки на участке отработки карналлита для корректировки рабочего проекта «Вскрытие и отработка запасов Ново-Соликамского участка ВКМКС руд-

ником СКРУ-1»: отчет о НИР / ОАО Галургия; рук. В. Е. Мараков. — Пермь, Березники, 2008.

3. *Гилев М. В.* Некоторые методические подходы, применяемые для оценки геодинамической безопасности недр и земной поверхности при эксплуатации Верхнекамского месторождения калийных солей / М. В. Гилев, С. А. Константинова, С. А. Чернопазов // Маркшейдерия и недропользование. — 2006. — № 3. — С. 35 — 36, 41 — 42.

4. Петротектонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей / под ред. Н. М. Джиноридзе. — СПб.: — Соликамск: ОГУП Соликамская типография, 2000.

5. *Кассин Г. Г.* Геодинамический анализ Верхнекамского месторождения калийных солей по геофизическим данным / Г. Г. Кассин, В. В. Филатов // Геофизические аспекты изучения геологического строения калийных солей. — Л.: ВНИИГ, 1989.

6. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей: методические рекомендации / ВНИИГ. — СПб., 2008.

7. *Шемякин Е. И.* К вопросу о классификации горных ударов / Е. И. Шемякин, М. В. Курленя, Г. И. Кулаков // ФТПРПИ. — 1986. — № 5. — С. 3 — 11.

8. *Константинова С. А.* Горно-тектонический удар на Втором Соликамском руднике / С. А. Константинова / С. А. Константинова // Безопасность труда в промышленности. — 2004. — № 12. — С. 14 — 18.

9. *Константинова С. А.* Авария на Первом Березниковском руднике: некоторые результаты ретроспективного геомеханического анализа / С. А. Константинова // Безопасность труда в промышленности. — 2008. — № 1. — С. 34 — 37.

10. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей (Технологический регламент) / ВНИИГ. — СПб., 2008.

11. *Константинова С. А.* Развитие наследственной модели деформирования и разрушения соляных пород / С. А. Константинова, С. А. Чернопазов // ФТПРПИ. — 2004. — № 1. — С. 50 — 61.

УДК 622.86

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИ ОБОСНОВАННАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ — НАДЕЖНЫЙ ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ НА ДЛИТЕЛЬНУЮ ПЕРСПЕКТИВУ

Я. И. Липин, А. В. Зубков

Комплексные геомеханические исследования, включающие измерение первоначального напряженного состояния, определение физико-механических свойств пород и породных массивов, выявление закономерностей изменения вторичного поля напряжений при разработке мощных железорудных месторождений, позволили создать способ естественного управляемого самообрушения налегающих пород, который с успехом применяется в настоящее время и заложен в проекты выемки залежей в ближайшем будущем.

При разработке мощных слепых наклонно- и крутопадающих железорудных месторождений неизбежно возникал вопрос ликвидации образующихся при выемке пустот, так как это коренным образом влияло на безопасность горных работ (воздушные удары при внезапном обрушении) и на эффективность технологии разработки (непроизводительные затраты на проходку выработок, обуривание и взрывание пустых налегающих пород, увеличение потерь и разубоживания рудной массы). Логика и практика ведения горных работ подсказали, что в первую очередь необходимо отказаться от непроизводительных затрат на принудительное обрушение налегающих пород, а затем сделать этот процесс управляемым. Момент управляемого обрушения пород необходимо было выбрать на основе геомеханических исследований.

В целом сущность геотехнологии добычи руды с применением управляемого самообрушения налегающих пород заключается в том, что в соответствии с горнотехническими и геомеханическими условиями определяют, при какой площади подработки начнется самообрушение налегающих пород. Рудное тело вынимают на значительной площади, поддерживая налегающие породы целиками, после взрыва которых происходит самообрушение налегающих пород, локализуя или ликвидируя пустоты [1, 2, 3]. Длительный путь подхода к рассматриваемой геотехнологии заключался в том, что для геомеханического обоснования параметров выработанного пространства, при которых произойдет самообрушение налегающих пород, на каждом конкретном месторождении было определено разработанными в основном в ИГД УрО РАН методами [4, 5] напряженное состояние и закономерности его роста с глубиной [6, 7]. Кроме того, на каждом месторождении были определены физико-механические (прочностные и упругие) свойства горных пород и руд [8], а затем были найдены пути перехода от образца к массиву в зависимости от его структурных особенностей, главным образом трещиноватости [9, 10].

Таким образом, решение вопроса о времени самообрушения сводилось к сравнению действующих напряжений вокруг выработанного пространст-

ва в различные стадии его выемки с прочностными характеристиками вмещающего его массива по известным критериям прочности. Следует к этому добавить, что если на начальном этапе исследование этих геомеханических вопросов для получения величин коэффициентов концентрации первоначальных напряжений вокруг выемок использовались плоские задачи, то в настоящее время для их оценки найдены объемные решения [11].

По мере развития геомеханических исследований и представлений о напряженном состоянии верхней части земной коры в пределах глубин, на которых ведутся горные работы, совершенствуется и способ естественного самообрушения налегающих пород при подземной разработке месторождений. Так, по мере получения новых данных о пульсирующем характере изменения тектонических напряжений в верхней части земной коры Урала [12] они учитываются в расчетах при оценке действующих в массиве напряжений. Кроме того, появляется возможность использовать эти данные с учетом времени работы горных конструкций (камер, выработанных пространств, целиков, стволов и горных выработок). Так, например, в северном сегменте земной коры Урала (шахты Краснотурьинска, Североуральска, Нижнего Тагила, Кушвы) максимум напряжений приходится на 2006 — 2009 гг.; на 2018 — 2021 гг. и т. д., а в промежутке между ними их уровень может быть снижен на 20 — 35 %. Ярким подтверждением периодов и сроков вариаций тектонических напряжений является интенсивность и периодичность землетрясений, горно-тектонических и горных ударов.

Важным и сложным при решении рассматриваемой геомеханической задачи является изучение структурных особенностей налегающих пород, их тектонической нарушенности и трещиноватости. Для решения этого вопроса в ИГД УрО РАН в последнее время широко используются геофизические исследования, основным из которых является сейсмопросвечивание в варианте компьютерной томографии [13]. Выявленные этими исследованиями данные рекомендуются для использования в проектных решениях не только при применении естественного управляемого самообрушения налегающих пород, но и при предупреждении геодинамических явлений при выемке рудных тел.

Разработанная в ИГД УрО РАН геотехнология с управляемым самообрушением налегающих пород применена при разработке железорудных месторождений Урала (Высокогорское, Лебяжинское, Естюнинское, Гороблагодатское, Валуевское, Бакальское и др.). Наиболее широко эта геотехнология нашла применение при разработке Песчанской группы месторождений, где она использована в проектах выемки пяти залежей и планируется к применению в дальнейшем, по крайней мере, еще на трех.

Наиболее ярким примером успешного применения данной технологии является заканчивающаяся разработка Верхней залежи, введенной в эксплуатацию в 1992 г. Верхняя залежь Песчанского месторождения, залегающая на глубине 500 м, имеет линзообразную форму с длиной по простиранию до 380 м, вкрест простирания до 170 м. Вертикальная мощность рудного тела изменяется от 35 до 85 м. Залежь расположена в блоке между двумя геологическими нарушениями крутого падения, ограничивающими рудное тело с запада и с востока. Крепость руды по шкале Протодьяконова составляет 9 — 10, коэффициент структурного ослабления равен 0,4 —

0,5. Выход керна по рудной зоне из скважин выше 70 %. Вмещающие породы представлены мраморизованными известняками массивной текстуры, которые на контакте с рудным телом слабо устойчивы, а также гранатовыми и пироксен-гранатовыми скарнами, порфиритами и их туфами. К северо-западу скарны сменяются роговообманковыми порфиритами, разбитыми сетью трещин. На востоке от рудного тела скарны сменяются диоритами, разбитыми серией даек мощностью от 0,05 до 5 м.

Напряженное состояние участка до начала отработки залежи было определено комплексным методом, включающим щелевую разгрузку и электрометрию (подземное электрическое зондирование). В результате измерений на нижележащем горизонте были получены с достаточной для практики надежностью 0,95 следующие напряжения: вкрест простирания рудного тела $\sigma_x = 19 \pm 1{,}5$ МПа, по простиранию $\sigma_y = 14{,}5 \pm 0{,}8$ МПа, а вертикальные $\sigma_z = 15 \pm 0{,}6$ МПа. Используя полученное напряженное состояние массива горных пород в качестве граничных условий, а также геологическую характеристику месторождения, были просчитаны параметры выработок и целиков, заложенные в проект отработки залежи. Расчет устойчивости камер показал, что на их контуре при пределе прочности пород на сжатие 40 — 50 МПа и коэффициенте структурного ослабления 0,4 — 0,5 напряжения не превысят 16 МПа, т. е. стенки камер будут в устойчивом состоянии. Напряжения в кровле камер шатровой формы с углом при вершине шатра, равном 120° (по проекту), достигают 51 МПа.

Была также проведена оценка устойчивости конструктивных элементов, в ходе которой предложено угол при вершине шатра уменьшить до 90° для создания объемного напряженного состояния в малом объеме. Напряжения в кровле будут несколько выше, чем при угле при вершине шатра 120°, но они не превысят предела прочности пород и имеют запас прочности примерно 1,5. Следовательно, шатровая кровля камер также устойчива и при угле шатра 90°, что предпочтительнее, чем в предыдущем варианте. В варианте с плоской кровлей в камерах высотой до 70 м в кровле камер возможно обрушение.

Геомеханический анализ различных схем порядка выемки залежи показал, что выработанное пространство остается устойчивым при оставлении целика в центральной части рудного тела шириной 20 м, как с длинной осью по простиранию, так и вкрест простирания, а также и без целика. После дополнительных геофизических исследований, включающих сейсмопросвечивание и сейсмопрофилирование в выработках массива налегающих пород, показавших, что блок руды и пород между двумя нарушениями не имеет крупных дефектов, отработка была продолжена одной камерой шириной и высотой порядка 100 м с оставлением на днище рудной подушки высотой не менее 20 м. А только при длине камеры 110 м, когда от контура выемки до плоскости падающего от залежи нарушения оставалось 30 м, при взрыве очередной секции был взорван массив пород для вскрытия этого нарушения. С этого момента началось постепенное обрушение налегающих пород с выходом его на поверхность, причем углы обрушения составили 110° и 70°.

В настоящее время продолжается разработка Верхней залежи системой отбойки руды на зажатую среду. Кроме того, ведется подготовка к

выемке с применением рассматриваемой геотехнологии слепой Южной залежи, а также проводится проработка вариантов разработки слепой Западной залежи медистых магнетитов.

Таким образом, построенная на геомеханических исследованиях геотехнология успешно использована при разработке многих уральских железорудных месторождений и планируется ее дальнейшее практическое применение.

Литература

1. Внедрение естественного управляемого обрушения вмещающих пород на железных рудниках Урала и Казахстана / Влох Н. П., Зубков А. В. и др. // Горный журнал. — 1981. — № 4. — С. 55 — 58.

2. Погашение выработанного пространства при разработке слепых рудных тел / Влох Н. П., Зубков А. В., Липин Я. И. И др. // Горный журнал. — 1975. — № 9. — С. 47 — 49.

3. Применение метода управляемого самообрушения налегающих пород на шахте «Сидеритовая» / Влох Н. П., Зубков А. В. и др. // Горный журнал. — 1987. — № 12. — С. 43 — 45.

4. *Влох Н. П.* Совершенствование метода щелевой разгрузки / Н. П. Влох, А. В. Зубков, Ю. Г. Феклистов // Диагностика напряженного состояния породных массивов: сб. науч. тр. / ИГД СО РАН СССР. — Новосибирск, 1983. — С. 30 — 35.

5. *Влох Н. П.* Метод частичной разгрузки на большой базе / Н. П. Влох, А. В. Зубков, Ю. Г. Феклистов // Диагностика напряженного состояния породных массивов: сб. науч. тр. / ИГД СО РАН СССР. — Новосибирск, 1983. — С. 37 — 42.

6. *Zoubkov Albert V*. Stress state in the Urals earth crust and its relationship with geological and tectonic evolution // Proc. of the Intern. Symp. on rock stress: Kumamoto/Japan/7—10 okt. 1977 / Albert V. Zoubkov, Yakov I. Lipin. — Rotterdam: Balkema, 1997. — P. 403 — 408.

7. *Зубков А. В.* Напряженное состояние верхней части земной коры Урала и тектоническое развитие региона / А. В. Зубков, Я. И. Липин, А. Н. Гуляев // ФТПРПИ. — 1996. — № 4. — С. 61 — 69.

8. Физико-механические свойства горных пород Урала / В. Е. Боликов, А. В. Зубков А. В. и др. // Сб. науч. тр. / ИГД Минчермета СССР. — Вып. 37. — Свердловск, 1972. — С. 83 — 86.

9. *Зубков А. В.* Модуль деформации массива горных пород — функция рангов слагающих его блоков / А. В. Зубков, Ю. М. Зубков // Геодинамика и напряженное состояние земных недр: материалы междунар. конф., 4—7 октября 1999 г. / ИГД СО РАН. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. — С. 65 — 70.

10. *Шуплецов Ю. П.* Прочность и деформируемость скальных массивов / Шуплецов Ю. П. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2003. — 195 с.

11. *Зубков А. В.* Зависимость напряженного состояния кровли и стенок камеры от ее трехмерности / А. В. Зубков // ФТПРПИ. — 1987. — № 5. — С. 11 — 16.

12. *Зубков А. В.* К оценке параметров вариации поля упругих напряжений в земной коре Урала / А. В. Зубков, Я. И. Липин, А. А. Смирнов и др. // Геодинамика и напряженное состояние недр земли: труды междунар. конф. / ИГД СО РАН. — Новосибирск, 2004. — С. 267 — 270.

13. *Ивансон С.* Межскважинная томография на проходящих волнах // Сейсмическая томография / С. Ивансон; под ред. Г. Ноллета. — М.: Мир. 1991. С. 169 — 198.

УДК 622.831.3

УПРАВЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫМ СОСТОЯНИЕМ СКАЛЬНОГО МАССИВА ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ

А. Е. Балек

Вследствие иерархически блочного строения, характерного для большинства массивов скальных горных пород рудных месторождений, важную роль в формировании напряженно-деформированного состояния массива играют взаимные перемещения структурных породных блоков, от которых во многом зависит устойчивость горных выработок. Недостаточная изученность этих процессов нередко оборачивается крупными аварийными нарушениями ответственных выработок. Особую актуальность проблема приобретает с углублением горных работ и ростом параметров напряженного состояния массива.

В настоящее время при проектировании подземных сооружений и разработке методов управления горным давлением, как правило, используют расчетные схемы, отображающие поведение скального массива геомеханическими моделями сплошной среды, в которых взаимные перемещения структурных породных блоков не учитываются [1]. Однако с углублением горных работ и ростом напряженного состояния эти подвижки становятся все более значимым фактором, и результаты расчетов уже существенно расходятся с реальностью. Попытки же применения геомеханических моделей дискретной среды, отображающих динамику структурных неоднородностей конкретных участков массива, сопряжены со сложностью задания граничных условий для всего того огромного множества структурных блоков и их иерархии, которые вовлекаются во взаимные перемещения. Это делает проблематичным практическую реализацию моделей дискретной среды.

Для решения данной проблемы ИГД УрО РАН предложен новый подход, использующий явление самоорганизации (диссипативного структурирования) деформируемых сред. Явление заключается в объединении разнонаправленных подвижек структурных элементов деформируемой среды во временно стабильные образования (объемы), выделяемые по их относительно согласованным совместным подвижкам, вследствие чего в хаос взаимных перемещений отдельных структурных элементов вносится трендовая упорядоченность и сформировавшийся (консолидированный) объем можно рассматривать как сплошную среду. Ранее такие процессы выявляли при деформировании образцов различных твердых материалов [2] и сыпучих сред [3], а также при кратковременных (взрывных и вибрационных) воздействиях на скальный массив [4, 5].

В ИГД УрО РАН впервые в практике геомеханических исследований процессы самоорганизации зафиксированы в реальном породном массиве на больших пространственно-временных базах, соответствующих масштабам ведения горных работ: десятки — сотни метров за месяцы —

десятки лет. Экспериментально было установлено, что при определенных условиях (которыми можно управлять) в деформируемом массиве формируются зоны концентрации деформаций, разделяющие его на временно стабильные области (объемы) со свойствами сплошной среды. Это открывает возможность для адаптации решений упругой задачи, путем внесения в них соответствующих корректирующих поправок, также определенных по результатам натурных исследований.

Путем сопоставления результатов натурных наблюдений, проводившихся на протяжении десятков лет на шахтах Урала и Казахстана, и математического моделирования напряженно-деформированного состояния горных массивов выявлено основное условие возникновения в иерархически блочных массивах скальных горных пород временно стабильных породных объемов. Они формируются в тех областях, где в процессе перераспределения первоначальных напряжений направление изменения (временно́й градиент) углов α разворота главных осей тензоров напряжений и деформаций меняется на противоположное.

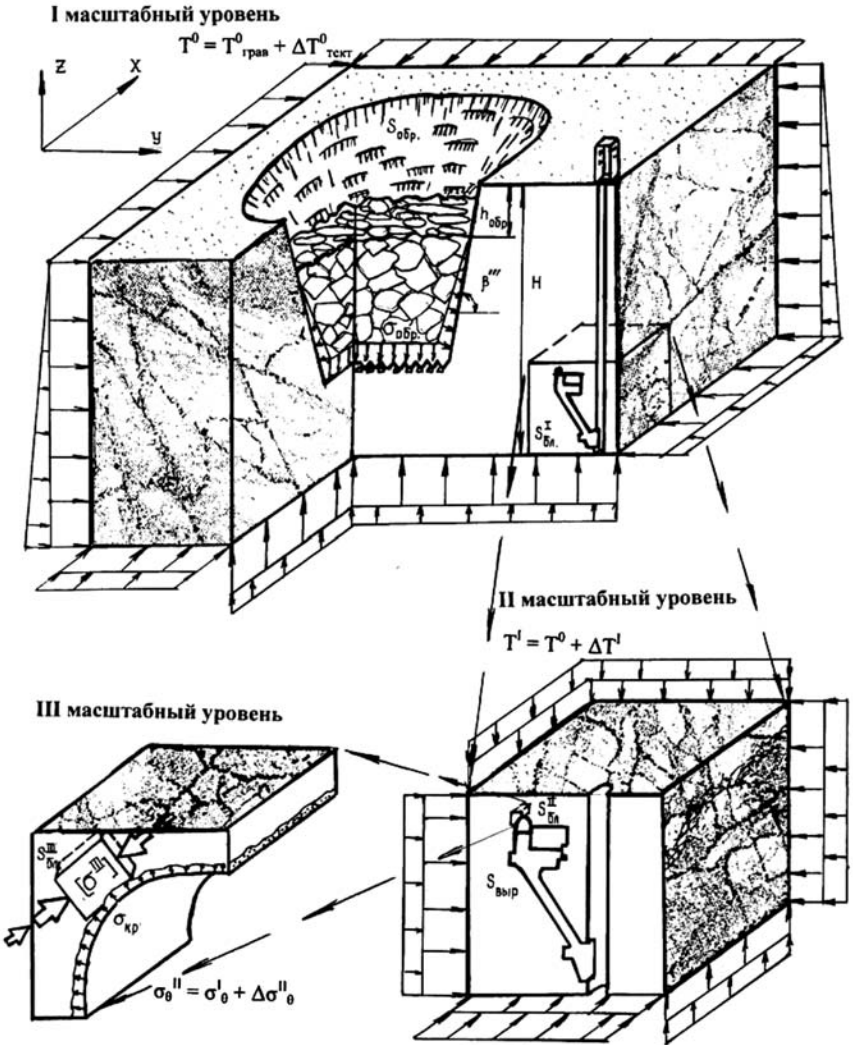
По результатам натурных инструментальных наблюдений выявлена зависимость условий консолидации породных объемов от масштабов техногенного воздействия. Установлено, что при перераспределении первоначальных напряжений в окрестностях крупных зон обрушения (с поперечными размерами 250 — 300 м и более, что типично для условий разработки мощных рудных залежей) критерий смены знака перед временным градиентом приращения углов α является достаточным при любой категории устойчивости массива. При перераспределении же напряжений вокруг горных выработок критерий применим лишь для сравнительно низкопрочных массивов (по классификации З. Бенявского — выработок четвертой и пятой категорий устойчивости).

Определен критерий, связывающий параметры процесса консолидации породных объемов с параметрами подземной разработки мощных рудных залежей системами с обрушением. Критерий представляет собой отношение ширины целикового участка рудной залежи, отработка которого обусловливает возникновение в прилегающем породном массиве области со сменой знака перед временным градиентом приращения углов α, к расстоянию между наиболее крупными структурными нарушениями, выделяемыми в пределах этой области. На нем основан прогноз размеров и границ временно стабильных участков со свойствами сплошной среды, ширина которых составит от 1/3 до 1 ширины планируемого к отработке целикового участка.

Путем сопоставительного анализа результатов натурных замеров и математического моделирования напряженно-деформированного состояния выявлена корреляционная зависимость, связывающая решения упругой задачи с фактическим напряженно-деформированным состоянием скального массива. Установлено, что в окрестностях зон обрушения с поперечными размерами более 250 — 300 м поведение массива на базах 20 — 30 и более метров соответствует поведению сплошной среды при условии введения в расчетные значения техногенной деформации, полученные решением упругой задачи, корректирующих коэффициентов $K_{\text{погр}} = 3{,}0 \pm 0{,}3$ — для пространственно протяженных зон концентрации

деформаций; $K_{конс} = 0{,}5 \pm 0{,}06$ — для относительно стабильных участков массива, находящихся между этими зонами. При этом амплитуда изменчивости техногенных деформаций находится в пределах 1 мм/м независимо от последовательности и интенсивности выемки рудной залежи.

На основании выявленных закономерностей разработана новая модель задания граничных условий для управления горным давлением и расчета параметров устойчивых выработок при подземной разработке мощных рудных тел системами с обрушением. Модель отличается тем, что масштабные уровни напряженного состояния деформируемой среды определяются не структурным строением массива, а его напряжено-деформированным состоянием на двух уровнях (см. рисунок): в окрестнос-



Модель задания граничных условий к расчетам устойчивости выработок

тях зоны обрушения на базах в десятки-сотни метров и в окрестностях рассматриваемой подземной выработки на базах менее 20 — 30 метров. Граничные условия, определяющие напряженное состояние в окрестностях выработки, необходимое для расчета ее параметров, складывается из первоначальных напряжений нетронутого массива и дополнительных, обусловленных влиянием зоны обрушения, которые рассчитываются с учетом процессов консолидации породных объемов путем внесения в результаты решения упругой задачи выявленных корректирующих коэффициентов: $K_{погр}$ или $K_{конс}$ (в зависимости от местоположения выработки) и универсальной поправки на изменчивость техногенных деформаций.

На основании выявленных зависимостей обоснованы новые методы управления горным давлением в окрестностях зон обрушения с целью обеспечения устойчивости горных выработок. Предложено провоцировать формирование консолидированных областей в нужных местах путем регулирования развития зоны обрушения за счет целенаправленной (с учетом первоначального напряженного состояния и структурного строения окружающего породного массива) последовательности ведения очистных работ с оставлением и последующей выемкой целиковых участков рудной залежи таким образом, чтобы в течение всего времени эксплуатации шахты избегать пересечения горных выработок пространственно протяженными зонами концентрации деформаций, обеспечивая нахождение наиболее ответственных капитальных выработок в пределах формирующихся стабильных областей. Новые же выработки следует проектировать с учетом уже сформировавшихся консолидированных областей.

Разработанные научно-технические решения позволили существенно продлить срок службы крупнейших шахт России (являющихся градообразующими предприятиями Свердловской области) за счет вовлечения в отработку глубоких горизонтов. Впервые новые технологические решения были реализованы на шахте Северопесчанская Богословского рудоуправления при обосновании влияния отработки фланговых участков залежи и нижележащих горизонтов шахты на напряженное состояние массива в районе центральных стволов. Это позволило увеличить нормативный угол сдвижения с 50 до 55° и вовлечь в отработку свыше 20 миллионов тонн запасов нижележащих горизонтов. На шахте Южная Гороблагодатского рудоуправления обеспечение устойчивости выработок строящихся околоствольных дворов горизонтов –320 и –480 м также решено на основе учета подвижек больших объемов скального массива в окрестностях крупного тектонического разлома, находящегося под влиянием зоны обрушения шахты.

На рудниках Республики Казахстан самоорганизация деформируемых горных массивов впервые выявлена натурными исследованиями ИГД УрО РАН на Донских хромитовых месторождениях (г. Хромтау). Причем, вследствие аномально низкой прочности тектонически напряженных массивов, характерной для этих месторождений, процессы были инструментально зафиксированы не только в окрестностях зон обрушения (как на Урале), но и вокруг капитальных горных выработок [6, 7].

С учетом данного явления разработаны мероприятия по внедрению оптимальных видов крепи и методов управления горным давлением при ведении очистных работ на глубоких горизонтах (гор. –480 и –560 м) шахты им. Десятилетия независимости Казахстана Донского ГОКа АО «Транснациональная компания Казхром».

Литература

1. *Булычев Н. С.* Механика подземных сооружений: учеб. для вузов / Н. С. Булычев. — М.: Недра. — 1994. — 382 с.

2. *Панин Е. И.* Структурные уровни деформации твердых тел / Е. И. Панин, В. А. Лихачев, Ю. В. Гриняев. — Новосибирск: Наука, 1985. — 247 с.

3. *Ревуженко А. Ф.* О механизме деформирования сыпучего материала при больших сдвигах / А. Ф. Ревуженко, С. Б. Стажевский, Е. И. Шемякин // ФТПРПИ. — 1974. — № 3. — С. 130 — 133.

4. *Курленя М. В.* Проблемы нелинейной геомеханики: ч. 1 / М. В. Курленя, В. Н. Опарин // ФТПРПИ. — 1999. — № 3. — С. 12 — 26.

5. *Курленя М. В.* Проблемы нелинейной геомеханики: ч.. 2 / М. В. Курленя, В. Н. Опарин // ФТПРПИ. — 2000. — № 4. — С. 3 — 26.

6. Геомеханические проблемы при проходке и креплении капитальных горных выработок на шахте «Центральная» / В. Е. Боликов, А. Е. Балек и др. // Горный журнал. — 1998.— № 6. — С. 15 — 17.

7. *Балек А. Е.* Натурные исследования по обеспечению устойчивости капитальных выработок в условиях запредельного напряженного состояния / А. Е. Балек // Изв. вузов. Горный журнал. Сер.: Горное дело / УГГА. — 2000. — Вып. 11. — С. 209 — 214.

УДК 551.242:[528.2:629.78]

О РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОДИНАМИКИ ПОРОДНОГО МАССИВА НА ШАХТАХ ДОНСКОГО ГОКА*

А. А. Панжин, А. В. Вождаев

Донской горно-обогатительный комбинат в Казахстане — это одно из крупнейших в мире предприятий по добыче и обогащению хромовой руды. Сырьевую базу составляют высококачественные хромовые руды Южно-Кемпирсайских месторождений, разработка которых началась в 1938 г. В первые десятилетия разработка велась открытым способом, однако к настоящему времени запасы, пригодные к открытой добыче, уже выработаны, поэтому основные объемы рудной массы добываются шахтами Молодежная и им. Десятилетия независимости Казахстана (ДНК).

В геологическом отношении месторождения расположены в южной части Кемпирсайского ультраосновного массива, в структурном — приурочены к Акжарской струйчатой структуре. Массив сложен преимущественно ультраосновными породами, слагающими дунитовые тела, контакты слагающих пород — преимущественно тектонические. Довольно интенсивно на месторождении проявляется дизъюнктивная тектоника; задокументировано несколько мощных тектонических структур с вертикальными амплитудами смещений от 50 до 200 м. Тектонические нарушения проявляются в виде мощных зон дробления, милонитизации, интенсивной трещиноватости и рассланцевания. На поверхности тектонические зоны четко идентифицируются как линиаменты в ландшафте. Как было установлено в работах [1, 2], тектонические нарушения играют значительную роль в формировании напряженно-деформированного состояния территории.

В 2002 г. Институтом горного дела УрО РАН был выполнен комплекс полевых геодезических измерений с целью диагностики короткопериодной и длиннопериодной трендовой геодинамической активности горного массива в районе промплощадок шахты ДНК (I и II очереди) для мониторинга их состояния и прогноза устойчивости стволов шахты в процессе их проходки и эксплуатации [1]. Измерения были выполнены на 4 площадках шахты ДНК — на двух из которых уже пройдены вертикальные стволы, а на остальных проходческие работы только проектируются (рис. 1). В 2005 г. аналогичные измерения геодинамической активности горного массива были выполнены на породном массиве, находящемся в области геодинамического влияния мощного тектонического нарушения на шахте Молодежная и повторены на площадках 5-КС и 3-КС шахты ДНК.

Предшествующими инженерно-геологическими изысканиями все дизъюнктивные нарушения, пересекающие исследуемые участки, были закартированы, однако степень их геодинамической активности по ре-

* Работа выполнена при поддержке РФФИ и Совета по грантам Президента РФ.

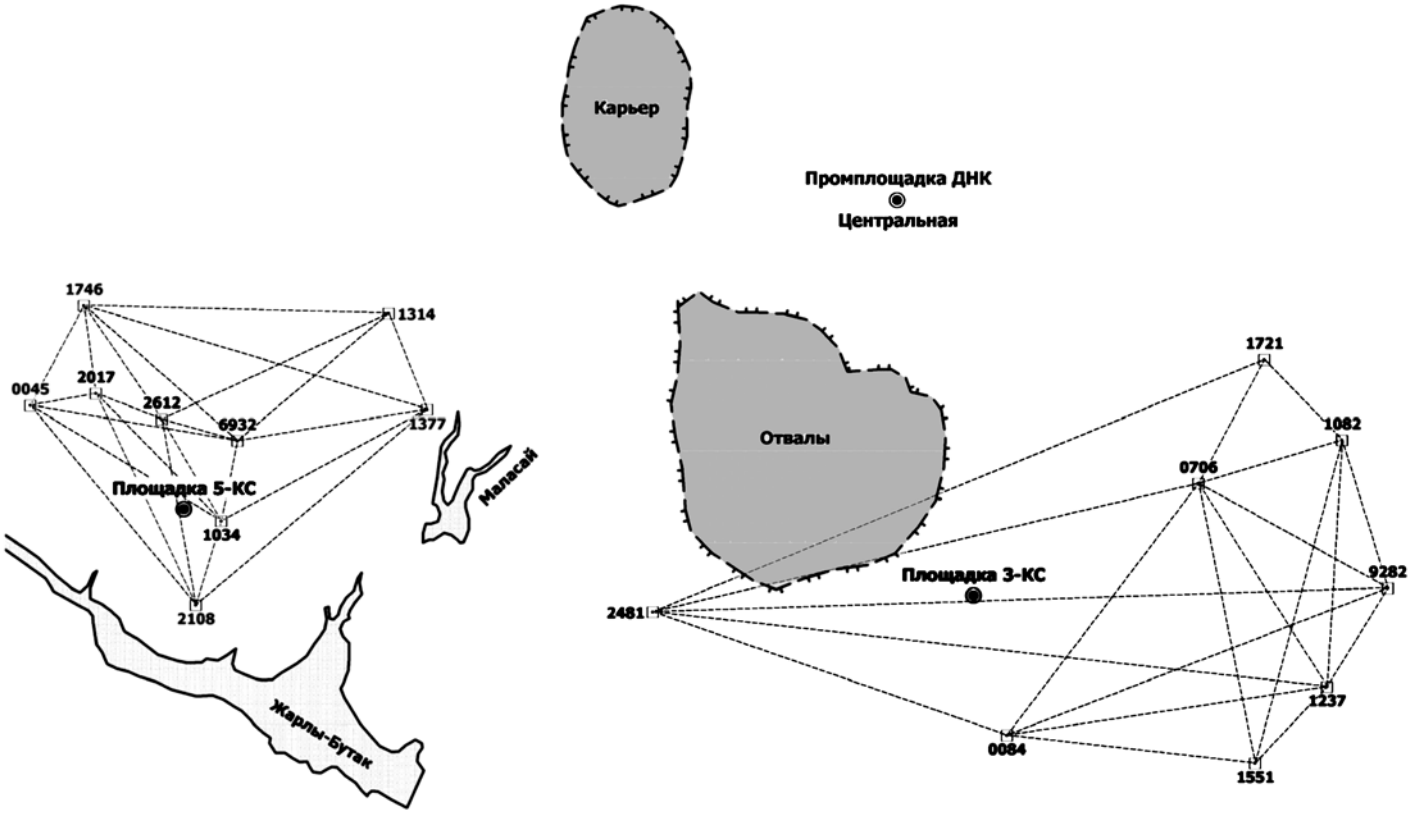


Рис. 1. Ситуационный план поверхности на участках шахты ДНК

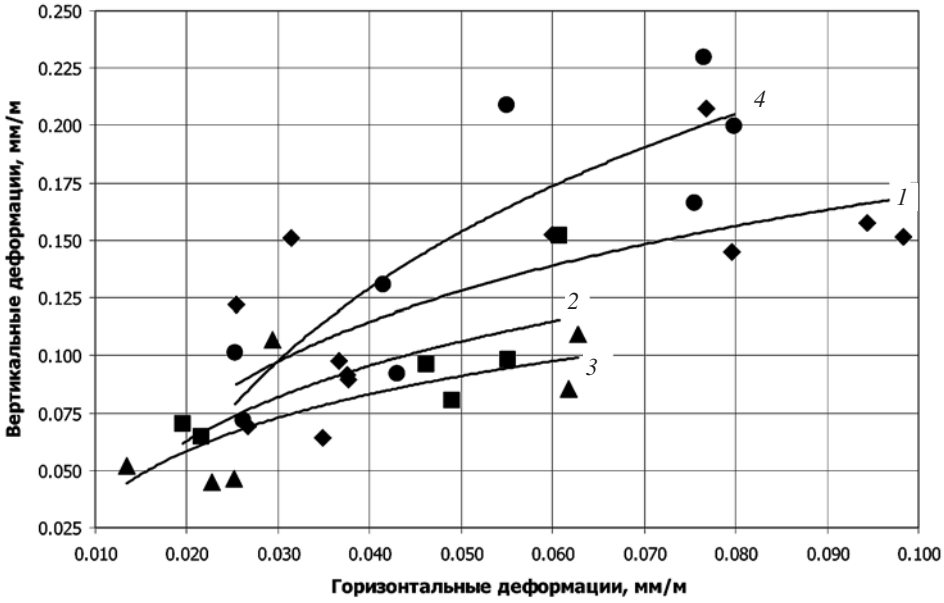


Рис. 2. Диаграммы короткопериодных деформаций массива на шахтах Донского ГОКа:
1 — ДНК (площадка 5-КС); *2* — ДНК (площадка 3-КС); *3* — шахта Молодежная; *4* — ДНК (площадка Центральная)

зультатам геологической и геофизической съемок можно установить только весьма приблизительно по косвенным данным. Точные же данные о геодинамической активности участков можно получить только в результате прямого высокоточного измерения деформаций, которыми сопровождается изменение напряженного состояния массива.

В результате выполнения комплекса работ определялись как короткопериодные знакопеременные деформации породного массива на шахтах ДНК и Молодежная , так и трендовые движения, произошедшие за период 3, 17 и 20 лет на участках шахты ДНК. Полевые геодезические измерения проводились с использованием комплексов спутниковой геодезии GPS, а камеральная обработка результатов — по методикам, подробно изложенным в работах [3, 4]. Результаты измерения вертикальных и горизонтальных короткопериодных деформаций породного массива приведены в виде диаграммы (рис. 2). Наиболее высокий уровень короткопериодных деформаций отмечается на шахте ДНК — на площадках центральной группы стволов и площадке 5-КС. Уровень деформаций, измеренных на площадке З-КС, сопоставим с уровнем деформаций, полученных на шахте Молодежная. При этом следует учесть, что очистные горные работы, оказывающие влияние на геодинамическую обстановку, вблизи центральной группы стволов шахты ДНК и в непосредственной близости от площадки 5-КС еще не ведутся, а уровень геодинамической активности массива уже высок. Из этого следует, что по-

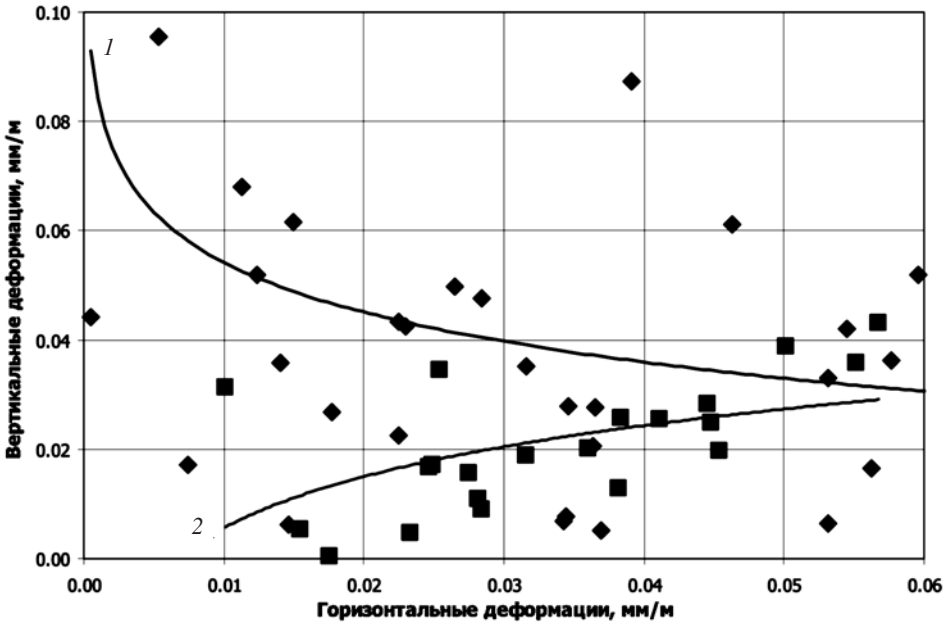


Рис. 3. Диаграммы трендовых деформаций массива на шахтах Донского ГОКа:
1 — ДНК (площадка 5-КС); *2* — ДНК (площадка 3-КС)

родному массиву в районе шахты ДНК присущ высокий уровень геодинамической активности, в два и более раз превышающий аналогичный для шахты Молодежная, где влияние горных работ на окружающую среду на порядки выше. В результате проведения в 2002 и 2005 гг. инструментальных исследований трендовых движений, произошедших за 20 лет (1985 — 2005 гг.), 17 лет (1985 — 2002 гг.) и 3 года (2002 — 2005 гг.), были также определены трендовые деформации на площадках 3-КС и 5-КС шахты ДНК, которые в виде диаграмм приведены на рис. 3. Как видно, вертикальные трендовые деформации, зафиксированные на площадке 5-КС, в разы выше чем аналогичные на площадке 3-КС. Такие же соотношения были зафиксированы за все периоды наблюдений (20, 17 лет и 3 года), но с меньшими абсолютными значениями деформаций. К сожалению, на шахте Молодежная было невозможно провести сравнительные измерения трендовых деформаций, поскольку геомеханические условия массива в данном случае несравнимы — на шахте Молодежной все пункты полигонометрии, по которым производятся измерения трендовых деформаций, находятся в сформировавшейся зоне сдвижения от подземных горных разработок шахты и изостатических деформаций карьера им. 40 лет КазССР.

Таким образом, экспериментальными исследованиями было установлено, что породному массиву площадки 5-КС шахты ДНК присущ высокий уровень как трендовых, так и короткопериодных деформаций, что может негативно отразиться на подземных сооружениях II очереди шахты. В связи с этим необходима организация и проведение действенного

инструментального контроля за развитием геодинамической обстановки в районе площадки 5-КС во время строительства и эксплуатации капитальных сооружений.

Литература

1. Диагностика геодинамической активности горного массива в районе промплощадки шахты «Десятилетие Независимости Казахстана», мониторинг состояния и прогноз устойчивости стволов в процессе их эксплуатации: отчет о НИР / ИГД УрО РАН; рук. Сашурин А. Д., Боликов В. Е. — Екатеринбург, 2002. — 230 с.

2. Диагностика состояния подработанного массива горных пород, прогноз его поведения и разработка мероприятий по предотвращению потенциальной опасности воздушных ударов на шх. «Молодежная» Донского ГОКа: отчет о НИР / ИГД УрО РАН; рук. Сашурин А. Д. — Екатеринбург, 2006.

3. *Панжин А. А.* Исследование короткопериодных деформаций разломных зон верхней части земной коры с применением систем спутниковой геодезии / А. А. Панжин // Маркшейдерия и недропользование. — 2003. — №2. — С. 43 — 54.

4. *Панжин А. А.* Мониторинг геодинамических процессов на горных предприятиях и урбанизированных территориях / А. А. Панжин, Н. А. Панжина // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2007. — № 3. — С. 54 — 57.

УДК 539.3+622.831.31

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ СИЛЬВИНИТА И КАМЕННОЙ СОЛИ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В. Н. Аптуков, О. В. Зальцзейлер, А. Ф. Мерзляков, А. П. Скачков

Проведены испытания на сжатие образцов сильвинита и подстилающей каменной соли с различным коэффициентом формы. Место отбора призматических образцов подстилающей каменной соли — Четвертый Березниковский рудник, цилиндрических образцов сильвинита — Второй Соликамский рудник (пласт B_c, слой № 2). Коэффициент формы образцов h/d (h — высота образца, d — диаметр, или сторона основания призмы) принимал три значения, приблизительно равные 0,5; 1,0; 2,0. Эксперимент проводили на испытательной машине Zwick/Roell Z250 со скоростями траверсы от 0,05 до 10 мм/мин, что соответствовало скоростям деформации образцов разной геометрии 2×10^{-5}; 2×10^{-4} и 2×10^{-3} 1/с.

Проведены также измерения модуля упругости и микротвердости отдельных зерен сильвина и галита на установке NanoTest-600.

Цилиндрические образцы сильвинита (средний диаметр 43,5 мм) имели мелко- и среднезернистую структуру, состояли из включений сильвина красного и молочно-белого цвета (размер зерна до 1 — 4 мм), серого и прозрачного галита (размеры зерна до 10 мм).

Призматические образцы подстилающей каменной соли (средний размер в плане 51,5 мм) имели крупнозернистую структуру (размер зерна достигал 10 — 15 мм), состояли из темно-серого перистого галита с включениями светлого и прозрачного галита. Некоторые образцы имели раковины и сколы на ребрах, особенно призматические образцы. Разброс образцов по размерам был незначительным, в каждом эксперименте учитывали индивидуальные размеры образца.

Результаты испытаний образцов на установке Zwick/Roell Z250 подтвердили известный факт влияния коэффициента формы на деформационные и прочностные характеристики геоматериалов [1]. Влияния скорости деформации в пределах принятой в данном эксперименте на свойства образцов сильвинита и подстилающей каменной соли не обнаружено. Некоторое влияние оказывает фракционный состав образцов, процент содержания галита в сильвините.

На рис. 1 представлены характерные кривые деформирования, промежуточной разгрузки и ниспадающие ветви диаграмм для образцов сильвинита ($h/d = 2$, скорость нагружения 0,1 мм/мин). Петля гистерезиса практически отсутствует во всех проведенных опытах. С помощью гистерезиса определяли модуль разгрузки. Во всех опытах не наблюдался выход ниспадающей ветви диаграммы на стационарный режим (так называемая остаточная прочность). На рис. 2 — 6 показаны зависимости

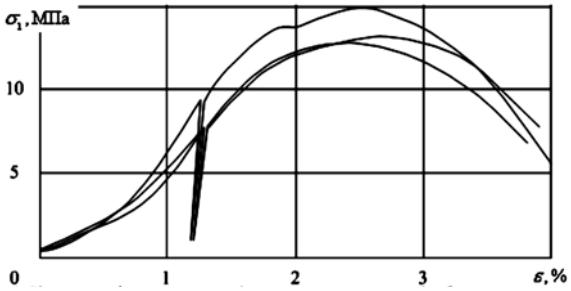


Рис. 1. Кривые деформирования (машинные диаграммы) образцов сильвинита

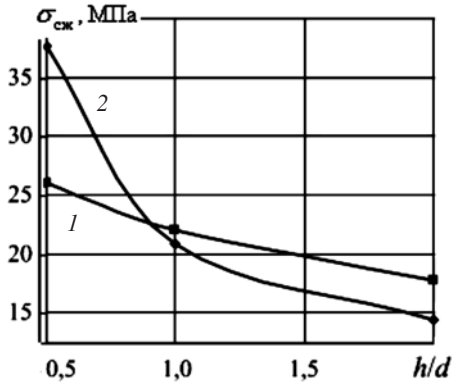


Рис. 2. Влияние коэффициента формы образцов на предел прочности при сжатии

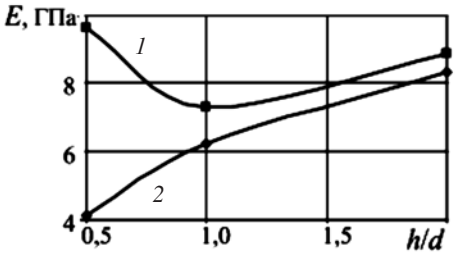


Рис. 3. Влияние коэффициента формы образцов на модуль разгрузки (модуль упругости, модуль Юнга)

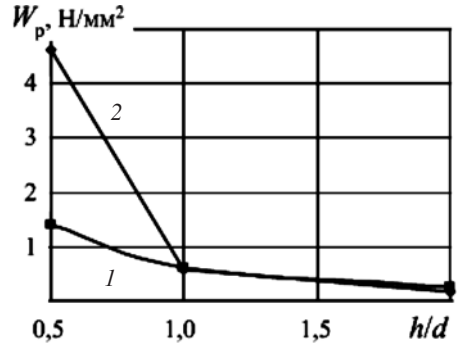


Рис. 4. Влияние коэффициента формы образцов на удельную энергию их разрушения

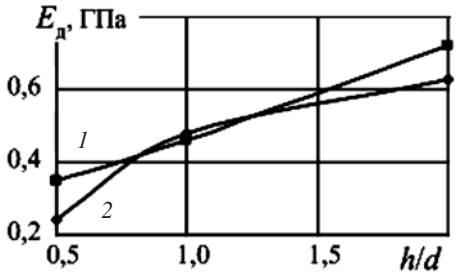


Рис. 5. Влияние коэффициента формы образцов на модуль деформации

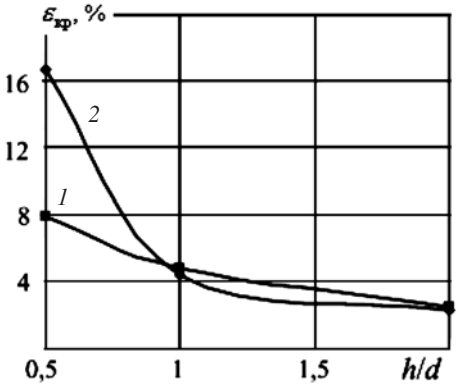


Рис. 6. Влияние коэффициента формы на деформацию, соответствующую пределу прочности (критическую деформацию)

Рис. 7. Конечная форма образца сильвинита (h/d = 1) при сжатии

различных характеристик каменной соли *1* и сильвинита *2* от коэффициента формы. Очевидно довольно близкое совпадение всех показателей каменной соли и сильвинита, кроме коэффициента формы h/d = 0,5. Удельную энергию разрушения (энергия разрушения на единицу объема) вычисляли на «момент» достижения предела прочности.

В ряде экспериментов фиксировалась конечная форма образцов, по которой можно было определить площадь конечного сечения в середине образца и вычислить среднее напряжение сжатия в нем. Конечное сжимающее напряжение, как правило, превышает предел прочности (в среднем на 10 %, по данным обработки 12 образцов сильвинита). Это означает, что истинная диаграмма сжатия в среднем интенсивно разрушающемся сечении не является ниспадающей. Этот факт характерен, например, для пластичных металлов, в которых при растяжении образуется шейка. Истинная диаграмма при этом существенно превышает условную. В данном случае также образуется «шейка» (рис. 7), но не из-за развитой пластической деформации, а в результате макроразрушения образца. При сжатии образец начинает расширяться в радиальном направлении. Принято считать, что это происходит в результате роста поврежденности по всему объему образца, которая оценивается через замеряемую поперечную деформацию. Однако на самом деле в средней части образца происходит образование макротрещин и постепенное отделение продольных фрагментов (макроразрушение) образца (рис. 8). Поврежденность (пористость) развивается лишь на поверхностях развития макротрещин, а в остальном (подавляющем) объеме образца остается на прежнем уровне.

Рис. 8. Форма образца сильвинита на начальной стадии разрушения при сжатии (видны отделяющиеся продольные фрагменты)

Были проведены опыты по оценке влияния уровня достигнутой деформации (напряжения) на модуль разгрузки. Деформация более 4 % соответствовала ниспадающей ветви диаграммы нагружения. Результаты, которые иллюстрирует рис. 9, показывают, что на всем этапе деформирования и начала макроразрушения образца модуль разгрузки возрастает, что может быть объяснено упрочнением (уплотнением) большей части объема образца на этой стадии деформирования.

На установке NanoTest-600 были испытаны образцы фрагментов зерен сильвинита и подстилающей каменной соли: А — прозрачная фракция галита, Б — прозрачная фракция галита с поверхностным голубым окрасом, В — красная фракция сильвина, Г — молочно-белая фракция сильвина, Д — прозрачные кристаллы галита, Е — темно-серые кристаллы галита. Образцы изготавливали из кусочков разрушенных макрообразцов при стандартных испытаниях на сжатие. Фрагменты неправильной формы обрабатывали вручную надфилем, а затем доводили до приемлемого состояния поверхности мелкой шкуркой. На каждом образце выбирали сравнительно ровный квадратный участок, в пределах которого выполняли наноиндентацию — 49 экспериментов (7 × 7). На большинстве кривых наблюдается два резких изменения наклона нагружающей ветви кривой в сторону увеличения жесткости (рис. 10). В некоторых опытах на кривой нагрузки возникали участки с понижающимся модулем, причина появления которых — хрупкое разрушение и откалывание близлежащих приповерхностных областей, содержащих включения или микротрещины. На рис. 10, как и во всех опытах, видна небольшая площадка при макси-

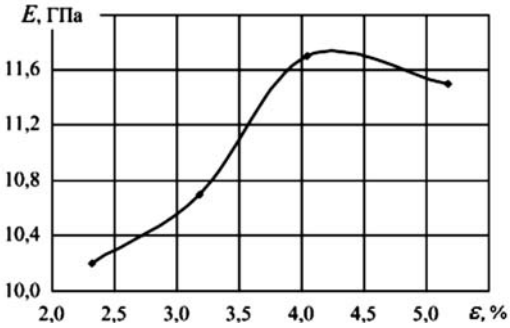


Рис. 9. Влияние накопленной деформации на модуль упругости образцов сильвинита

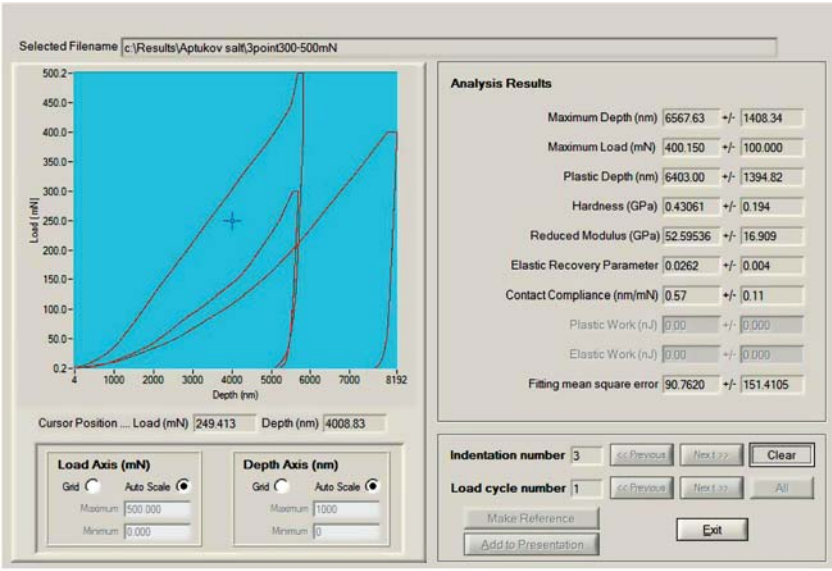


Рис. 10. Кривые нагрузки и разгрузки прозрачной фракции галита при трех уровнях максимального усилия: 300, 400 и 500 МН

мальной нагрузке, при достижении которой перед разгрузкой выдерживалась пауза около 10 с. Это означает, что все испытанные материалы обнаруживают свойства ползучести.

Обработку результатов эксперимента выполняли с помощью программного обеспечения, сопровождающего прибор NanoTest-600. Предварительно вручную отсеивали явно выпадающие из общей тенденции кривые (не более 7 — 9 штук).

Основными замеренными данными являются приведенный модуль разгрузки E^* и твердость H. Через приведенный модуль можно определить модуль Юнга испытываемого материала по следующей формуле [2]:

$$E = \left(1-\nu^2\right)\frac{E^* E_i}{E_i - E^*\left(1-\nu_i^2\right)},$$

где E_i = 1141 ГПа, ν_i = 0,07 — модуль Юнга и коэффициент Пуассона пирамиды Берковича; ν — коэффициент Пуассона испытываемого материала.

Результаты эксперимента представлены в таблице. В третьей, четвертой, пятой колонках таблицы приведены расчетные данные для модуля Юнга, модуля сдвига и объемного модуля при условно принятом коэффициенте Пуассона ν = 0,3. Отметим, что в работе [3] дана теоретическая оценка модуля упругости монокристалла галита (E = 51,3 ГПа), удовлетворительно соответствующая экспериментальным значениям.

Материал	E^*, ГПа	H, ГПа	E, ГПа	G, ГПа	K, ГПа
А	61,5 ± 8,0	0,34 ± 0,08	59,14 ± 7,33	22,75 ± 2,82	49,28 ± 6,11
Б	64,3 ± 12,0	0,35 ± 0,08	62,00 ± 11,04	23,85 ± 4,25	51,67 ± 9,20
В	20,6 ± 7,0	0,29 ± 0,06	19,09 ± 6,41	7,34 ± 2,47	15,91 ± 5,34
Г	29,4 ± 4,1	0,23 ± 0,03	27,41 ± 3,65	10,54 ± 1,40	22,84 ± 3,04
Д	57,0 ± 8,1	0,29 ± 0,05	54,58 ± 7,31	20,99 ± 2,81	45,48 ± 6,09
Е	59,5 ± 6,0	0,36 ± 0,08	57,11 ± 5,49	21,97 ± 2,11	47,59 ± 4,58

Полученные данные могут использоваться для теоретической оценки модуля упругости системы галит — сильвин — пористость [4] при различном процентном соотношении фракций галита и сильвина.

Анализ результатов проведенных экспериментов позволяет сделать следующие выводы:

✓ сильвинит состоит из двух основных фракций с механическими характеристиками, различающимися по модулю Юнга в 2 — 3 раза, а по твердости на 20 — 50 %;

✓ свойства галита, входящего в состав каменной соли (прозрачный и темно-серый) и в состав сильвинита (прозрачный и с голубым поверхностным окрасом), практически одинаковы, отличие составляет не более 12 % по модулю и не более 20 % по твердости;

✓ небольшое отличие фракций по твердости объясняет сравнительно близкие прочностные характеристики сильвинита и каменной соли;

✓ значения модулей Юнга отличаются от соответствующих значений, полученных при испытаниях сильвинита на макрообразцах в 2 — 7 раз, каменной соли в 4 — 6 раз, что объясняется наличием множественных микротрещин, пор, ослабленных межзеренных границ, несоляных включений в макрообразцах.

Полученные авторами результаты будут использованы при оценке устойчивости горнотехнических сооружений в условиях рудников ОАО «Сильвинит».

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект 07-01-97613 р-офи).

Литература

1. *Ваулина И. Б.* Некоторые результаты испытаний физико-механических свойств породных образцов междупластовой каменной соли / И. Б. Ваулина и др. // Горный информ.-аналит. бюл. — 2007. — № 12. — С. 176 — 179.

2. *Oliver W. C.* Improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments / W. C. Oliver, G. M. Pharr // Journal of Materials Research. — 1992. — № 6. — P. 1564 — 1580.

3. *Лифшиц И. М.* К теории упругих свойств поликристаллов / И. М. Лифшиц, Л. Н. Розенцвейг // Журн. эксперим. и теорет. физики. — 1946. — Т. 16, вып. 11. — С. 967 — 980.

4. *Барях А. А.* Деформирование соляных пород / А. А. Барях, С. А. Константинова, В. А. Асанов. — Екатеринбург: УрО РАН, 1996. — 203 с.

УДК 539.375

РАЗВИТИЕ МЕТОДА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ГИДРОРАЗРЫВА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОЦЕНКЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ВЫСОКОПРОНИЦАЕМЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

В. А. Павлов, С. В. Сердюков, П. А. Мартынюк

При ведении горных работ на глубоко залегающих месторождениях полезных ископаемых большое значение для обеспечения безопасности и выбора рациональной системы отработки имеет информация о напряженно-деформированном состоянии массива. Получение такой информации является одной из важнейших задач геомеханики. Месторождения полезных ископаемых, залегающие на большой глубине, характеризуются тяжелыми горно-геологическими условиями, поэтому требуется иметь на таких месторождениях системы мониторинга напряженного состояния (НС) массива. На данный момент актуальным становится создание метода контроля НС, способного вести непрерывный мониторинг на значительных глубинах и на значительном удалении от выработанного пространства, т. е. в тех зонах массива, которые будут подвергнуты выемке спустя некоторое время.

Одним из классических эффективных и наиболее достоверных методов контроля НС массива является гидроразрыв, который состоит в том, что участок скважины протяженностью в четыре-пять диаметров перекрывается с помощью двухпакерного зонда и подвергается нагружению путем нагнетания в него рабочей жидкости вплоть до достижения критических растягивающих напряжений на стенке скважины, приводящих к разрыву пород [1]. Основу измерительного гидроразрыва составляет то, что критические давления зависят не только от прочности пород, но и от уровня действующих в них напряжений. При этом возможность проведения повторных нагружений выбранного интервала скважины, а также управление режимом нагнетания позволяют выделить на диаграммах давление — время характерные значения этих параметров, которые затем интерпретируются в терминах напряжений, действующих в породном массиве. К таким значениям относятся (рис. 1): P_C — давление разрыва пород при первом нагружении; P_r — давление раскрытия трещины при повторных нагружениях; P_S — давление закрытия трещины.

Основное преимущество метода гидроразрыва — возможность относительно просто получать значения напряжений в глубоких скважинах на большом удалении от наблюдателя. Следует отметить, что классический метод измерения напряжений гидроразрывом обладает рядом недостатков. Основным из них является низкая достоверность величин напряжений, получаемых в результате измерения в массивах высокопроницаемых горных пород. Это связано с большими утечками рабочей жидкости в массив и, как следствие, с невозможностью регистрации давления закрытия трещины P_S, которое в классической схеме определения напряжений соответствует наименьшей компоненте главных действующих напряжений перпендикулярной плоскости разрыва.

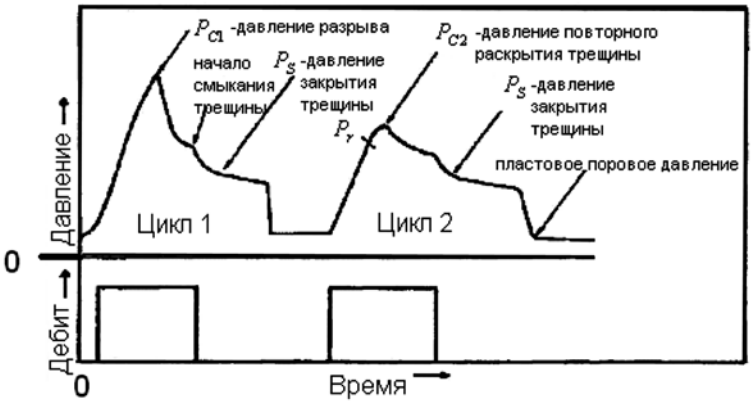


Рис. 1. Характерные точки процесса гидроразрыва

Для решения этой проблемы нами разработана методика измерительного гидроразрыва без использования в расчетной схеме давления закрытия трещины. Идея метода состоит в создании двух протяженных симметричных трещин установкой для гидроразрыва в исследуемом интервале скважины. После на тот же интервал скважины помещается установка с изолирующей оболочкой, препятствующая проникновению жидкости в массив и трещину, в которую нагнетается жидкость. Как и в классической методике гидроразрыва, регистрируется P_r, а вместо P_S используются зависимости раскрытия существующих трещин от давления жидкости в скважине.

Для обоснования предлагаемой методики решена следующая задача. Пусть имеется скважина в массиве горных пород, в котором действуют постоянные напряжения, вызванные гравитационными и тектоническими силами. Созданы две симметричные трещины, ориентированные вдоль направления действия максимального сжатия, длины которых много больше радиуса скважины. На интервале скважины протяженностью много больше ее диаметра имеется непроницаемая оболочка, которая препятствует проникновению жидкости в массив и в раскрываемую трещину. Задача состоит в оценке параметров внешнего поля p_0 — максимального сжимающего напряжения, действующего в массиве, и q_0 — минимального сжимающего напряжения, действующего в массиве ($p_0 \geq q_0$; $q_0/p_0 = \alpha$), по изменению объема, вызванного раскрытием трещины $[v]_A$ на контуре скважины (рис. 2).

Задача решена методом интегральных сингулярных уравнений [2, 3]. Задача разбивается на две, и общее решение получается как суперпозиция их решения. Первая: отверстие свободно от напряжений, а на бесконечности действует поле сжатия p_0, q_0. Вторая: на бесконечности напряжения отсутствуют, а в отверстии действует давление σ_0. В обеих задачах контуры раскрывающихся трещин свободны от напряжений. На основе решения выполнено расчетное математическое моделирование. В ходе решения получены численные и аналитические зависимости. Показана зависимость получаемых диаграмм давление — раскрытие трещины от напряжений, действующих в массиве. По расчетным данным построены графики (рис. 3) приращения площади поперечного сечения скважины

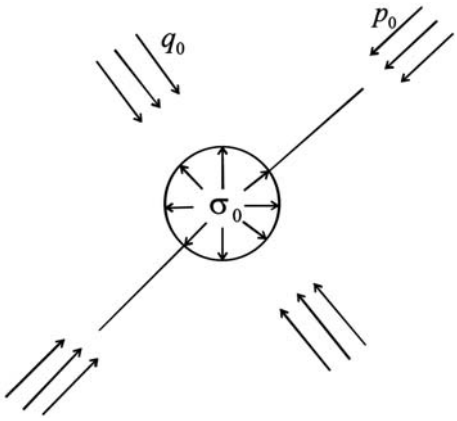


Рис. 2. Схема нагружения системы скважина — трещины гидроразрыва

$S_{общ}/S_{скв}$ от давления в скважине, отнесен к величине давления, при которой происходит раскрытие трещины на контуре отверстия; σ_0/σ_* справедливо при $\alpha = 0{,}5 \div 1$ ($\alpha = \dfrac{q_0}{p_0} = 0{,}5 \div 1$). Здесь σ_0 — давление в скважине, σ_* — давление раскрытия трещины при повторных нагружениях. Изменение площади поперечного сечения скважины $S_{общ}/S_{скв}$ вызвано раскрытием трещины $[\nu]_A$ на контуре отверстия при увеличении длины открытой трещины и деформациями стенок скважины, вызванными нагружением. При расчетах учитывались оба этих процесса (принимались $E = 3 \cdot 10^{10}$ Па; $\nu = 0{,}3$ — коэффициент Пуассона, E — модуль Юнга). $S_{общ}$ — общая площадь скважины, деформированной под воздействием внешнего поля и внутреннего давления с учетом раскрытия трещин на контуре скважины; $S_{скв}$ — площадь скважины при раскрытии трещины $[\nu]_A = 0$.

При постоянном σ_0/σ_* угловые коэффициенты графиков резко различаются. Причем существенное различие в угловых коэффициентах графиков наблюдается при всех значениях σ_0/σ_*. Полученные результаты показывают высокую чувствительность величины раскрытия трещины на кон-

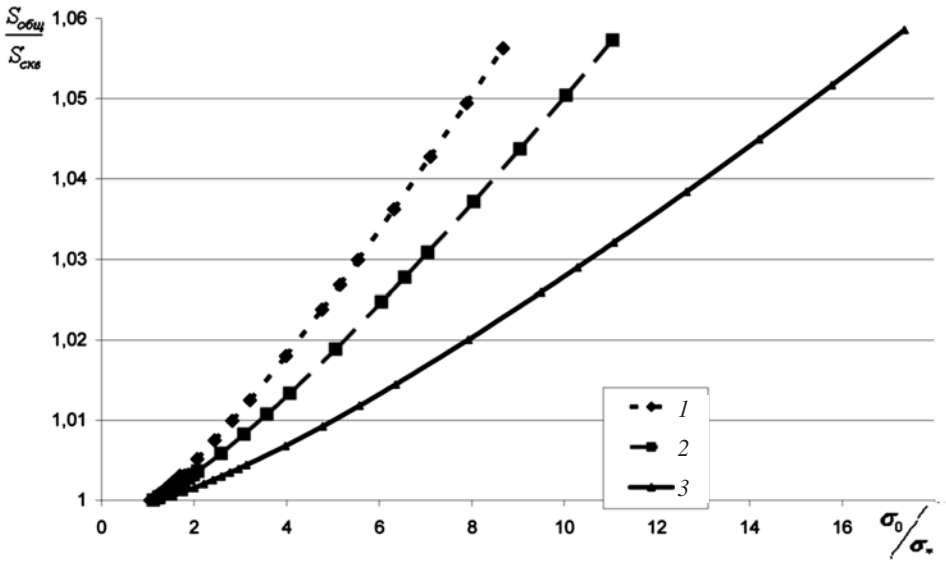


Рис. 3. Зависимость площади сечения скважины $S_{общ}/S_{скв}$ от σ_0/σ_* (линии *1*, *2*, *3* — соответствуют $\alpha = 1$; $\alpha = 0{,}7$; $\alpha = 0{,}5$)

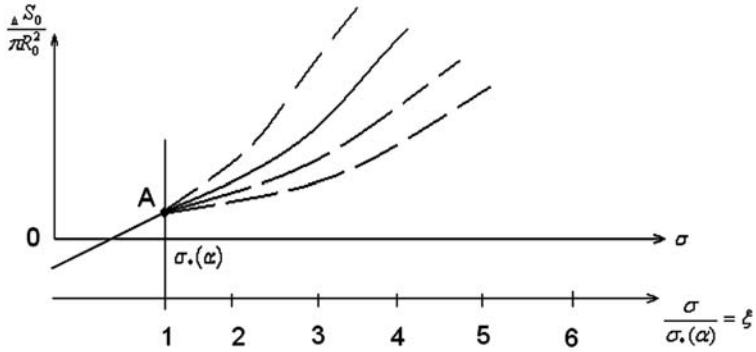


Рис. 4. Изменение приращения площади интервала скважины от давления жидкости в системе (эксперимент — сплошная линия)

туре отверстия к напряжениям, действующим в массиве, что позволяет, используя данный фиксируемый параметр, находить поле напряжений, действующее в массиве. Можно предложить различные алгоритмы обработки экспериментальных данных, основанные на полученных видах зависимостей. Рассмотрим более подробно один из них.

Допустим, имеем экспериментальную зависимость (рис. 4). На данном графике $\sigma_*(\alpha)$ — давление начала раскрытия существующей трещины, т. е. $\sigma_*(\alpha) = (3\alpha - 1)p_0$, отсюда $p_0 = \dfrac{\sigma_*(\alpha)}{3\alpha - 1} = \dfrac{\sigma_*(\alpha)}{\gamma}$, где $\gamma = 3\alpha - 1$, $\dfrac{\sigma_0}{\sigma_*(\alpha)} = \xi$.

На графике $\Delta S_0 = S - \pi R_0^2$.

Величину $\dfrac{S_{\text{общ}}}{S_{\text{скв}}}\left(\alpha, \sigma_0/\sigma_*\right)$ — приращения площади поперечного сечения скважины — можно аппроксимировать квадратной параболой, т. е.

$$\frac{S_{\text{общ}}}{S_{\text{скв}}}\left(\alpha, \sigma_0/\sigma_*\right) = a_0 + a_1\left(\frac{\sigma_0}{\sigma_*}\right) + a_2\left(\frac{\sigma_0}{\sigma_*}\right)^2.$$

Коэффициенты a_0, a_1, a_2 зависят от α. Тогда запишем

$$\frac{\Delta S_0}{\pi R_0^2} = \frac{2\sigma_*}{E}\left[(1+\nu)\,\xi - \frac{(1+\alpha)\left(1-\nu^2\right)}{\gamma} + \frac{4}{\pi\gamma}\left(1-\nu^2\right)\left(a_0 + a_1(\xi\gamma) + a_2(\xi\gamma)^2\right)\right].$$

Строим эти зависимости при $\xi \geq 1$ для $\alpha = 0{,}5 \div 1$. Значение параметра α выбираем из условия параллельности расчетных и экспериментальной зависимостей. Находим $\alpha = \alpha_0$, тогда $p_0 = \dfrac{\sigma_*(\alpha_0)}{3\alpha_0 - 1}$; $q_0 = \alpha_0 p_0$. Таким образом определяются параметры внешнего поля.

Практическая реализация предлагаемой методики включает создание в исследуемом интервале скважины, сложенном высокопроницаемыми горными породами, двух симметричных протяженных трещин. Как и в классической методике, предполагается, что трещины растут в направлении действия максимального сжимающего напряжения. Трещины создают установкой с высокой скоростью нагнетания рабочей жидкости в скважину и большим расстоянием межпакерного интервала. Такое нагнетание возможно установкой для классического гидроразрыва, но с использованием электронасоса высокой производительности или помещением в скважину пневмо-гидроаккумулятора, позволяющего накапливать большой объем рабочей жидкости под высоким давлением и мгновенно впрыскивать ее в рабочий интервал скважины. Использование пневмо-гидроаккумулятора позволяет избежать расхода объема жидкости на заполнение скважинного трубопровода. Высокая скорость нагнетания ведет к возможности создания протяженных трещин, длина которых много больше радиуса скважины. Большее расстояние межпакерного интервала позволяет упростить монтаж установки с изолирующей оболочкой в исследуемый интервал скважины, где созданы протяженные трещины. После создания протяженных трещин в интервал скважины помещается устройство с изолирующей оболочкой. Предполагается, что трещины обладают достаточно большой длиной, чтобы в процессе нагружения установкой с изолирующей оболочкой они только раскрывались, но не увеличивали свою длину. На данном этапе производится измерение параметров раскрытия системы трещин. Регистрируемым параметром являются диаграммы давление — объем. На полученных диаграммах регистрируется давление P_r. Далее в интервал скважины подается заданный объем жидкости и фиксируется рост давления в скважине; это позволяет получить дополнительные точки и использовать их при определении напряжений в массиве, по описанной выше схеме. Направление следа трещины определяется по отпечатку следа трещины на мягкой резине в верхнем слое изолирующей оболочки, аналогично импрессионным пакерам.

Для использования предлагаемой методики необходима информация о механических константах: ν — коэффициент Пуассона, E — модуль Юнга горных пород, в которых пройдена скважина. Получение этой информации возможно как с использованием скважинных геофизических методов (акустическим и ультразвуковым), так и с использованием устройства с изолирующей оболочкой для деформационных измерений на интервале нагружения до раскрытия трещины гидроразрыва на контуре отверстия.

Литература

1. *Курленя М. В.* Развитие метода гидроразрыва для исследования напряженного состояния массива горных пород / М. В. Курленя, А. В. Леонтьев, С. Н. Попов // Физ.-техн. пробл. разраб. полез. ископаемых. — 1994. — № 1. — С. 3 — 20.

2. *Саврук М. П.* Двумерные задачи упругости для тел с трещинами / М. П. Саврук. — Киев: Наукова думка, 1981.

3. *Панасюк В. В.* Распределение напряжений около трещин в пластинах и оболочках / В. В. Панасюк, М. П. Саврук, А. П. Дацышин. — Киев: Наукова думка, 1976.

УДК 622.83

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОТРАБОТКИ АЛМАЗОНОСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯКУТИИ СИСТЕМАМИ С ОБРУШЕНИЕМ РУДЫ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

О. В. Зотеев, А. В. Зубков

Большинство кимберлитовых трубок Якутии отрабатывается открытым способом. Тем не менее единственной перспективой поддержания и развития алмазодобывающей отрасли России является доработка глубокозалегающей части запасов подземным способом.

Общая черта всех кимберлитовых месторождений Якутии — наличие водоносных горизонтов, причем подземные воды представлены крепкими и весьма крепкими хлоридно-кальциевыми рассолами с минерализацией до 400 г/л и температурой замерзания до –50 °С. В рассолах наблюдаются стабильное содержание растворенных газов, изменяющееся в пределах 0,1 — 5,0 м^3/м^3. Подземные воды являются агрессивной средой, делающей невозможным применение цементационных завес для подавления водопритоков в горные выработки.

Осложняющим фактором является также наличие во вмещающих карбонатных породах и в собственно рудных телах карстов, представленных незаполненными или выполненными кремнисто-карбонатными брекчиями или рассолами полостями. Карсты чаще всего приурочены к зонам тектонической трещиноватости. Размер их колеблется от 1 — 2 до 20 м. К карстам приурочены и газовые «ловушки». Так, в карьере на трубке Удачная при вскрытии скважиной № 517 карстовой полости в Западном теле (гор. –590 м) образовался фонтан, действовавший на протяжении девяти месяцев с дебитом газированных рассолов до 50 м^3/ч. На той же трубке в Восточном рудном теле выбросы газа и рассолов из «ловушек» фиксировались на абсолютных отметках от +100 до –750 м. Наиболее интенсивное выделение газа было отмечено здесь при бурении скважины № 42, которая фонтанировала в течение 7 суток, а высота факела достигала 13 м.

Все вышеперечисленные факторы серьезно осложняют ведение горных работ, а применение систем с обрушением прямо противоречит пункту 91 ЕПБ* [1], который гласит: «Запрещается применять системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород при наличии в налегающих породах плывунов, неосушенных песков, суглинков и карстов, заполненных водой или газами».

Однако при отсутствии местных материалов, пригодных для создания вяжущих компонентов твердеющих смесей, применение систем с закладкой выработанного пространства неприемлемо по экономическим соображениям. Таким образом, разработка мероприятий, позволяющих применять системы с обрушением в сложных гидрогеологических условиях, актуальна.

---

* Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом (ПБ-03-553-03). — М.: НПО ОБТ, 2003.

Анализ горнотехнических условий на трубках Удачная и Мир показывает, что к настоящему времени карьеры вскрыли водоносные горизонты. При этом были сработаны статические запасы воды, что привело к образованию депрессионной воронки, а налегающих пород попросту нет. Таким образом, возможность залповых прорывов воды в подземные горные выработки практически исключена, т. е. пункт 91 ЕПБ (ПБ 03-553-03) для подобных случаев неприменим.

При выборе положения нижней границы открытых горных работ на других трубках следует использовать этот же прием для обеспечения возможности применения систем с обрушением. Альтернативой открытым горным работам является предварительное водопонижение с помощью скважин. Оставление же рудного целика на интервале водоносных горизонтов, разделяющего нижнюю границу открытых горных работ и верхнюю границу подземных горных работ, как это было сделано на руднике Интернациональный, нецелесообразно, поскольку приводит к безвозвратным потерям руды.

При проектировании систем с обрушением необходимо также учесть необходимость термоизоляции выработанного пространства с помощью рудной или породной подушки. Однако вследствие действия отрицательных температур и зимних осадков верхний слой предохранительной подушки может смерзаться, постепенно естественным путем образуя снего-породный слой. Негативными факторами образования данного слоя является возможность его зависания в процессе выпуска руды и накопление на нем атмосферных осадков в летнее время. Для предотвращения этих явлений необходимо предусмотреть такой режим выпуска отбитой руды, при котором не допускается образование сплошного снего-породного слоя по всей площади трубки и его зависание.

Таким образом, проектируемая система разработки должна обеспечить выполнение следующих требований:

1) предварительное осушение отрабатываемого участка массива, что практически решает вопрос и его дегазации;

2) разведка массива на наличие карстов, кавернозных полостей и водоносных коллекторов, что предполагает проведение достаточно густой сети выработок и скважин;

3) обеспечение безопасности при массовом взрывании участков рудного массива, в которых возможно наличие необнаруженных, или неосушенных водосодержащих карстовых и кавернозных полостей, или газовых «ловушек»;

4) предотвращение образования сплошного смерзшегося или заиленного верхнего слоя предохранительной подушки, способного накапливать на себе летние атмосферные осадки или водопритоки из бортов карьера;

5) обеспечение водопроницаемости предохранительной «подушки» для дренирования атмосферных осадков или подземных вод в процессе подземной отработки месторождения.

Способы выполнения пункта 1 рассмотрены выше. Разведка массива на наличие карстов, кавернозных полостей и водоносных пластов-коллекторов проводится при проходке горнокапитальных и подготовительных выработок с помощью пробуренных из них скважин эксплуатацион-

ной разведки. Основным методом обнаружения пустот и предотвращения прорывов газов и воды при проходке капитальных, подготовительных выработок является бурение опережающих скважин. Неснижаемая длина опережения скважин должна быть не менее 5 м или не менее длины двух заходок. Количество скважин, место их расположения и другие параметры устанавливаются геологом рудника и отражаются в проекте на проходку выработки. Данная мера основана на том, что малый диаметр скважины предопределяет ее малый дебит и возможность постепенно осушить или разгазировать карстовую полость или газовую «ловушку» при ее вскрытии. Кроме опережающих скважин, кровля, почва и стенки выработки в зонах, опасных по карстопроявлениям, должны разбуриваться скважинами или шпурами длиной до 5 — 7 м для обнаружения пустот, примыкающих к стенкам выработок.

Наряду с бурением скважин оперативный контроль наличия карстов вблизи забоя проходимой выработки и ее периметра должен производиться инструментальным методом с помощью многоканального георадарного комплекса «ОКО-2» (или другой подобной аппаратуры), обеспечивающего глубину изучения массива до 10 м с разрешением 1 × 1 м.

При подготовке рабочих горизонтов рудных тел (буровых и горизонта выпуска) первоначально проходятся основные выработки (кольцевой штрек, орты и штреки), из которых бурят скважины эксплуатационной разведки, являющиеся одновременно и дренажными. На рабочих горизонтах из пройденных выработок производится сейсмическое просвечивание (томография) рудного массива как в горизонтальной, так и вертикальной плоскости.

Поиск карстовых полостей, расположенных вблизи почвы выработок, обязателен, поскольку неконтролируемое обрушение перемычки между выработкой и полостью может привести к аварийным ситуациям. После осушения обнаруженной полости необходимо ее вскрыть и заполнить рудой или породами.

После осушения и дегазации рудного массива, в том числе обнаруженных карстовых полостей, может производиться бурение взрывных скважин. При этом будут вскрыты, осушены и дегазированы относительно малые (1 — 2 м) полости и кавернозные зоны, не обнаруженные на стадии предшествующей разведки.

Необходимо отметить, что такие мероприятия обязательны для любой системы разработки при подземной отработке алмазоносных месторождений. Однако слоевые системы с закладкой выработанного пространства, применяющиеся, например, на руднике Интернациональный, предоставляют гораздо меньше возможностей для проведения этих мероприятий, чем системы с обрушением.

Погашение осушенных карстовых пустот при системе с обрушением будет происходить при массовом взрывании руды. В тех случаях, когда пустота будет обнаружена вблизи почвы выработки, для предотвращения ее неконтролируемого обрушения (например, при движении над пустотой горной техники) необходимо погасить полость с помощью взрывных работ с последующей засыпкой ее горной массой от проходки выработок.

УДК 622.015/.016.001.57+622.234.42

ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ С УЧЕТОМ ДИНАМИЧЕСКОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗНОСТИ ПРИЗНАКОВ

В. М. Аленичев, А. Б. Уманский

Корректное отображение горно-геологических данных в цифровой модели месторождения зависит от используемых математических методов и физического описания. Эта проблема особенно актуальна при подземном выщелачивании, когда изучение геологической среды в межскважинном пространстве, гидродинамики, физико-химических процессов взаимодействия растворов с породой и полезным ископаемым является по сути самой главной задачей, поскольку на основе этой информации возможно совершенствование моделирования способов и технологии разработки месторождений.

В настоящее время имеется масса программных средств, разработанных ведущими компаниями и получивших определенное распространение на территории Российской Федерации при проектировании и эксплуатации месторождений. В результате экспертизы, проведенной в Роснедра Министерства природных ресурсов и экологии, был выявлен любопытный факт, касающийся недоработок западных программных продуктов в том, что используемая в них прикладная математика имеет 20 — 30-летнюю давность. При этом ни один программный продукт не получил положительную оценку и не был рекомендован ЦКР Федерального агентства по недропользованию (Роснедра) Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации к повсеместному применению.

В качестве теоретических основ прогнозирования количественно-качественных признаков рекомендуется использовать методы геостатистики, с помощью которых с наибольшей точностью возможно решение горно-геологических задач. Однако их применение при проектировании и разработке месторождений зачастую невозможно из-за редкой сети разведочных скважин, когда ее параметры превышают радиус генетического влияния проб. Оценить структуру изменчивости рудных тел по данным разведки с помощью полувариаграмм и корреляционных функций достаточно сложно, что ограничивает области применения геостатистики, а использование даже обычной интерполяции невозможно. При ведении добычных работ при открытом и подземном способах разработки появляется дополнительная информация о массиве, поэтому использование геостатистической теории дает существенный эффект. Основополагающим при этом является выбор модели для экспериментальной функции, имеющей большое значение для корректного решения всех последующих практических задач, связанных с моделированием горного массива и оценкой его изменчивости и потока. В свою очередь выбор этих функций ограничен наиболее распространенными: линейной, лога-

рифмической, экспоненциальной, показательной, сферической (наиболее универсальная) и гауссовской.

Увеличение сложности функций не всегда сопровождается повышением точности моделирования, поэтому практически оправдано применение наиболее простой модели. Аппроксимация экспериментальной ковариаграммы моделью, включающей два участка кривых, приводит к необходимости проверки адекватности разными способами, наиболее распространенным из них является визуальная подгонка модели. Использование этого метода оправдано в том случае, когда вокруг выбранной за основу функции существует область, в пределах которой функция незначительно влияет на изменение оценки крайгинга. При наличии достаточно широкой области применение визуального метода оценки признается оправданным. Использование метода наименьших квадратов, имеющего ряд статистических ограничений, затрудняет, как правило, объективную оценку полученных результатов.

Однако в процессе прогнозирования минерально-сырьевых и технологических показателей на горных предприятиях важным является установление пространственно-временных и атрибутивных связей разнородных геоданных. База геоданных включает в себя накопленные за период разведки и эксплуатации месторождения полезного ископаемого результаты маркшейдерских и геофизических измерений, геологического, технологического опробования горного массива. Многочисленные выборки геоданных отражают состояние геосистем горного предприятия разного иерархического уровня как совокупностей структурно связанных и взаимодействующих геологических и технологических объектов. Для оценок прогнозируемых признаков геосистем предлагается использовать «динамическую» корреляционную связность атрибутивных признаков, характеризующих локальное пространство месторождения.

Корреляционная связь геоданных в наиболее полном объеме выражается матричной корреляционной функцией. Элементами связности этих данных является матричная корреляционная функция вдоль пространственного или временного профиля. На основе профильных корреляций составляется представление о площадной или объемной связности геоданных в форматах 2D или 3D. В данной статье рассматривается методика построения цифровой модели на основе «динамической» профильной матричной корреляционной функции, построенной в пространстве месторождения по различным направлениям (с заданным шагом) относительно оцениваемой точки (объема).

Последовательность формирования профильной матричной корреляционной функции включает создание первого однородного множества координат X_1 (первая строка), в которых измерены атрибутивные признаки геосистемы; однородные наборы атрибутивных признаков (содержание определенного компонента, мощность, продуктивность, технологическое свойство и т. д.), измеренные в точках профиля, характеризуются, соответственно, множествами X_2, X_3, X_4 и т. д. Индекс указывает на физическую принадлежность одному из вышеуказанных множеств. При наличии в профиле n точек и числе

однородных множеств i профильная метрическая матрица геоданных будет иметь вид

$$[M_{mn}] = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \vdots & \dots & \dots & \dots \\ X_{i1} & X_{i2} & X_{i3} & \dots & X_{in} \end{bmatrix}. \qquad (1)$$

Преобразуем элементы матрицы (1) к безразмерному виду с использованием [1] и представим их следующими параметрами:

$$x_{in} = \frac{X_{in} - \overline{X_i}}{\sigma_i},$$

где i — номер строки (однородного множества геоданных);

n — номер столбца (точки профиля);

$\overline{X}_i$, σ_i — среднее значение и, соответственно, среднеквадратичное отклонение значений физической величины, составляющей строку i матрицы (1).

В результате преобразования получается матрица профильных центрально нормированных параметров

$$[M] = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & x_{i3} & \dots & x_{in} \end{bmatrix}. \qquad (2)$$

Длину транзитивно перемещаемого по профилю интервала, разделяющего две его точки, обозначим l. Измеряя эту длину количеством единичных интервалов, ограничим целочисленные значения ent[l] в пределах от 0 до $n - 2$. Профильную матричную корреляционную функцию [$K(l)$] представим в виде произведения матриц [2]

$$[K(l)] = \frac{1}{n-1-l}\left[M^{-}(l)\right]\left[M^{+}(l)\right]^{T}, \qquad (3)$$

где $[M^{-}(l)]$, $[M^{+}(l)]$ — матрицы, получаемые из матрицы (2) в результате удаления l столбцов с левого края (знак минус) и, соответственно, с правого края (знак плюс);

T — знак транспонирования матрицы.

Значения транзитивных коэффициентов корреляции, составляющих матрицу (3), зависят от количества точек профиля, интервала l и характера распределения атрибутивных признаков вдоль профиля.

Интервал автокорреляции каждого атрибутивного признака может быть определен двумя способами. Первый — по координате точки, в которой значение полувариограммы равно значению дисперсии всех значений признака на профиле, что формально выражается следующей схемой:

$$\frac{1}{2}\left(X_{in} - X_{i(n+l)}\right) = X_i - \overline{X}, \tag{4}$$

где n — произвольная точка профиля.

Второй способ — интервал для выделенного атрибутивного признака с индексом i определяется по значению автокорреляционной функции в соответствии с соотношением $K_{ii}(l_к) = 0$.

Для выявления закономерности изменения признака в пределах интервала автокорреляции по выделенному профилю перспективно применение полиномного тренд-анализа [2]. Построение тренда может быть осуществлено на принципах самосогласования или самоопределения. Предполагается, что любое из наблюдаемых значений признака Z_i состоит из суммы двух компонент, одна из которых Z_{Ti} — закономерная, т. е. трендовая, составляющая, а другая Z_{ci} — случайная.

Установление достаточной степени тренда проводится с помощью испытаний, связанных с оценкой распределения случайной составляющей искомого признака вдоль каждого аргумента (первый способ). Случайная составляющая признака в точке i определяется разностью

$$Z_{ci} = Z_i - Z_{Ti}. \tag{5}$$

Дисперсия признака $\sigma^2_{случ}$ с учетом этой разности сравнивается с его дисперсией $\sigma^2_{опт}$, обусловленной воспроизводимостью метода получения признака в точке сети и влиянием незначимых структурных неоднородностей объекта вдоль каждого трендового аргумента. Соотношение

$$\sigma^2_{случ} \le \sigma^2_{опт} \tag{6}$$

является критерием, по которому оценивается степень самодостаточности, т. е. согласованности, тренда. Величина $\sigma^2_{опт}$ устанавливается на основе анализа полувариограммы $\gamma(\Delta x)$ [2] случайной составляющей признака вдоль каждого аргумента.

$$\gamma(\Delta x) = \frac{1}{2n}\sum_i \left[Z_c\left(x_i + \Delta x\right) - Z_c\left(x_i\right)\right]^2, \tag{7}$$

где Δx — интервал между значениями аргумента x и $x_i + \Delta x$;

n — количество возможных интервалов Δx на множестве x_i.

В качестве оптимальной принимается дисперсия $\sigma^2_{случ}$, при которой минимумы полувариограмм, разделенные размерами значимых структурных неоднородностей объекта, близки к нулю или принимают заданную допустимо малую величину. Разделение значимых и незначимых структурных неоднородностей горно-геологических и технологических

объектов и, соответственно, выделение случайной составляющей признака зависит от информационных требований, содержащихся в поставленной горно-геологической задаче.

На каждом этапе развития тренда происходит последовательное приближение $\sigma^2_{\text{случ}}$ к $\sigma^2_{\text{опт}}$. Поскольку величина Z_{ci} знакопеременная, то полувариограмма обладает свойством повторяемости, т. е. периодичности. С увеличением трендовых приближений величины $\sigma^2_{\text{случ}}$ и $\gamma(\Delta x)$ уменьшаются. В процессе дальнейших приближений тренда к нулевой отметке опускаются минимумы полувариограмм, соответствующие учтенным значимым неоднородностям меньших размеров. Состояние тренда, при котором остались неучтенные незначимые неоднородности, принимается достаточным.

Стартовый расчет тренда начинается с минимальной степени ($p = 0$). На каждом этапе его дальнейшего развития, в зависимости от состояния полувариограмм, строится полином повышенной степени. Таким образом тренд проходит последовательно стадии своего развития в направлении роста степени и числа членов при условии согласования его результатов с выявленной оптимально допустимой дисперсией искомого признака согласно формуле (6). Значение степени полинома, как показали проведенные исследования, достаточно корректно отражает генетическое влияние (генетический радиус) атрибутивного признака, характеризующего пробы, попадающие в замкнутую область, параметры которой определены радиусами автокорреляции при динамическом изменении направления профиля относительно оцениваемой точки (объема). Корректировка значения признака в рассчитываемой точке производится по формуле

$$Z_i = \frac{\dfrac{Z_1}{l_1^{p_1}} + \dfrac{Z_2}{l_2^{p_2}} + \ldots + \dfrac{Z_m}{l_m^{p_m}}}{\dfrac{1}{l_1^{p_1}} + \dfrac{1}{l_2^{p_2}} + \ldots + \dfrac{1}{l_m^{p_m}}}, \qquad (8)$$

где $Z_1, Z_2, \ldots, Z_m$ — значение признака в пробах в пределах области автокорреляции;

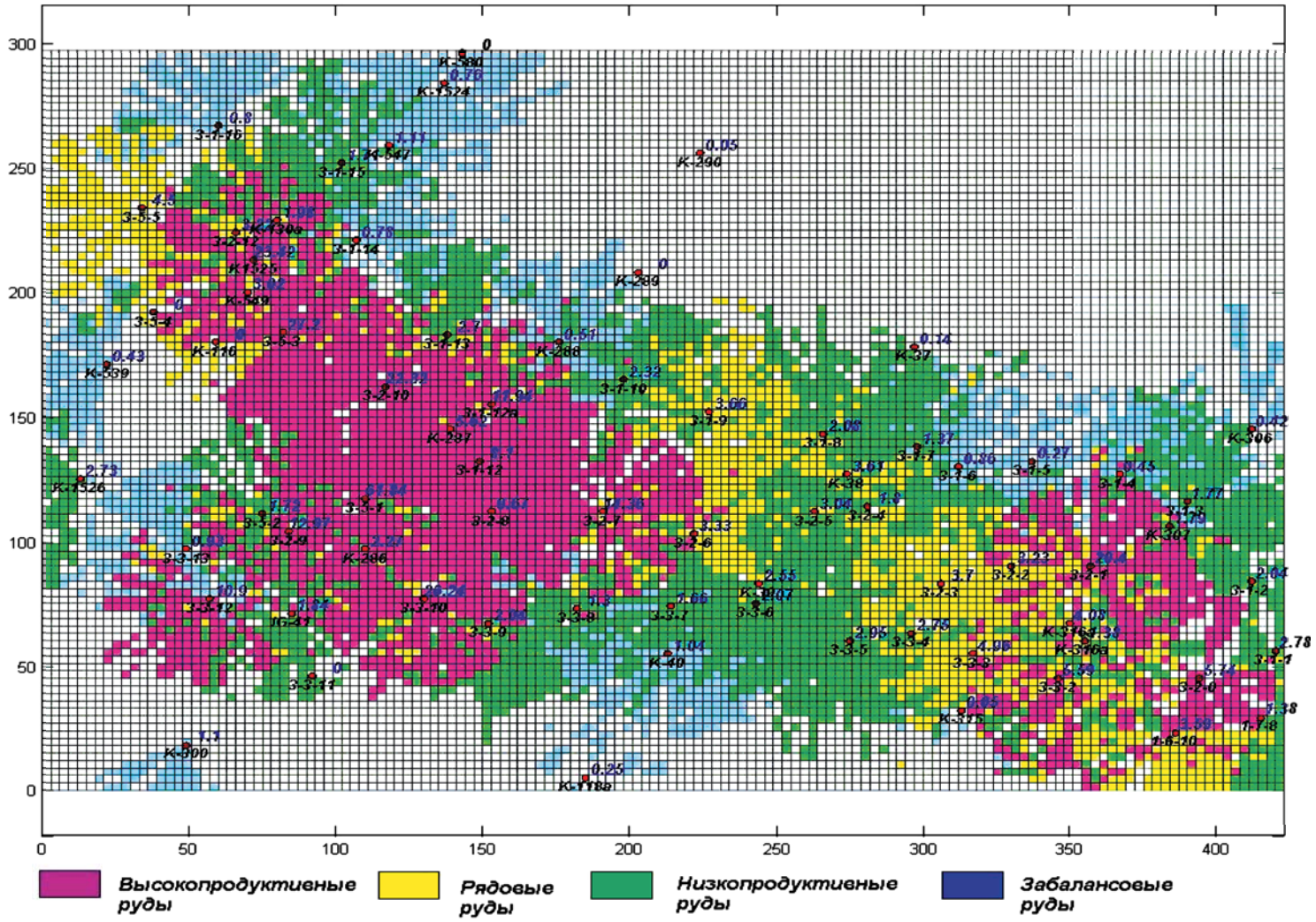
$l_1, l_2, \ldots, l_m$ — расстояние от исследуемой точки до соответствующих проб;

$p_1, p_2, \ldots, p_m$ — степень полинома в рассчитываемом профиле.

При использовании самосогласующего или самоопределяющегося полинома значения признака определяется по формуле

$$Z_i = \frac{\sum_{i=1}^{q} Z_{Ti}}{q}, \qquad (9)$$

где Z_{Ti} — трендовое значение признака, рассчитываемое по уравнению полинома (10) (полученного одним из вышеуказанных методов) по выделенному профилю;



План площадной продуктивности РЗЭ на эксплуатационном полигоне

q — количество выделяемых профилей, включающих рассчитываемую точку.

$$Z_{Ti} = a_o + a_1x + a_1x^2 + \ldots + a_nx^p, \quad (10)$$

где a_1, a_2, a_3, …, a_n — коэффициенты тренда, рассчитываемые по методу наименьших квадратов [2].

Проведено моделирование содержания полезного компонента, мощности полезной толщи, проницаемости (коэффициента фильтрации) и продуктивности на редкоземельном месторождении, добыча полезного компонента на котором производится физико-химическим методом (подземное выщелачивание). В результате моделирования установлено, что расхождение запасов, подсчитанных традиционным методом и по цифровой модели (рисунок), составляет около 15 %.

Литература

1. *Антонов В. А.* Оценка корреляционной связности геоданных горного предприятия / В. А. Антонов, В. М. Аленичев // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2007. — № 10. — С. 318 — 322.

2. *Девис Дж. С.* Статистический анализ данных в геологии: в 2 кн. / Дж. С. Девис; под ред. Д. А. Родионова. — М.: Недра, 1990.

УДК 622.23.02 : 622.233/.235

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД В ЕСТЕСТВЕННОМ ЗАЛЕГАНИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ БВР

А. А. Котяшев, А. С. Маторин, В. А. Синицын, В. Г. Шеменев

Исследования показывают, что изменение прочностных характеристик горных пород в локальных массивах, соседствующих с взрываемым блоком, является существенным в связи с образованием микро- и макротрещин за счет воздействия внешней разрушающей нагрузки. Известно, что результат нарушения среды определяется характером воздействия и реакцией среды. Взрывное воздействие можно отнести к наиболее сложным физическим процессам из-за быстроты и определенной нестабильности процесса разложения взрывчатого вещества. Особенно сложно описание процессов разрушения неоднородного горного массива. Основная причина — в недостатке информации о строении и свойствах массива при выборе параметров разрушения.

Наиболее рациональное решение этой задачи заключается в определении свойств локальных массивов горных пород, подготавливаемых к взрывному разрушению. Рассмотрим, какие возможности имеются и, в некоторых случаях, используются для получения сведений о разрушаемом массиве. Это — бурение, отбор проб и их испытание для определения физико-механических свойств, визуальные методы изучения трещиноватости. Прочностные характеристики являются основными показателями способности пород сопротивляться разрушающим нагрузкам. На горнодобывающих предприятиях часто имеются устаревшие и разрозненные сведения о массиве. Это данные разведочного бурения. Они отражают только общее строение месторождения и крупные тектонические элементы. Эти сведения дополняются визуальными наблюдениями участкового геолога. В итоге информация о массиве имеет качественный характер и не позволяет определить, как и насколько изменились прочностные свойства массива горных пород от воздействия на них массовых взрывов, а следовательно, как и насколько возможно изменить параметры разрушения последующих локальных массивов горных пород. Отсутствие детальных сведений о строении и физико-механических свойствах разрушаемого массива оказывает определяющее влияние на разработку концепции взрывного разрушения.

Информационную базу для разработки и использования новых рациональных технологий разрушения массива горных пород позволяют геофизические методы. Геофизические поля могут характеризовать горный массив во всем его объеме с любой необходимой плотностью получения информации. Их воздействие не изменяет исходных свойств массива, но при этом позволяет учитывать совокупность факторов, влияющих при разрушении пород в условиях их естественного залегания. Сейсмометрия в многоволновом варианте, т. е. использующая различные типы

волн, наиболее эффективна при изучении состояния массива, в том числе его строения и физико-механических свойств пород. Скорость сейсмических волн зависит от плотности и упругих параметров пород: коэффициентов Ляме или Пуассона, модулей Юнга или сдвига, которые и определяют физико-технические свойства пород, т. е. их сопротивляемость разрушению под воздействием внешних нагрузок. В сейсмометрии информация о массиве может заключаться в данных изменения скоростей, объемных или поверхностных волн, амплитуд, частот или фаз колебаний, в частности, для оптимизации параметров БВР наиболее эффективны скорости продольных и поперечных волн.

При решении технической задачи изучения состояния массива пород всегда можно выделить стадии. Например, для буровзрывных работ — две стадии. На первой — необходимо оценить общее состояние подготавливаемого к взрыву массива, как правило, на всю глубину уступа. В этом случае, если состояние массива изменяется в плане, необходимо разделить участки различной нарушенности, то есть районировать блок. На второй стадии требуется более детальное исследование массива, прежде всего оценка изменения свойств по вертикали.

При разработке месторождения происходит разгрузка пород от горного давления. Возникают напряжения, адекватные исходным, т. е. вызванным действием веса вышележащих пород. Бурение взрывных скважин увеличивает неоднородность полей напряжений, совместное использование скоростей поперечных и продольных волн позволит по величине плотности пород идентифицировать характер напряжений. Эти данные могут стать основой расчетов трещинообразования при техническом разрушении пород. Например, при взрыве давление действует на стенки скважины в радиальном направлении, следовательно, можно предположить, что распределение напряжений в плоскости, параллельной оси скважины, может быть оценено исходя из выражений (1), (2). Давление P, т. е. среднее нормальное напряжение в твердой среде, можно выразить через отношение скоростей поперечных и продольных волн:

$$P = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)/3 = (2\sigma_x + \sigma_z)/3 = \sigma_z(1 - 4/3\gamma^1). \qquad (1)$$

где σ_x, σ_y — касательные напряжения, σ_z — нормальное напряжение, равное весу вышележащих пород pgz, т. е. произведению средней плотности пород на ускорение свободного падения и на мощность вышележащих пород. Неоднородность поля напряжений будет определяться наличием участков массива с различными γ. На границах неоднородностей давление изменяется скачкообразно, при этом возникают скалывающие (касательные) напряжения

$$\tau \approx 0{,}47(\sigma_z - \sigma_x) \approx 0{,}94y^2\sigma_z. \qquad (2)$$

При изучении структурных особенностей и физико-механических свойств горных пород в локальных массивах предпочтение отдано продольным сейсмическим волнам. Преимущества продольных волн, которые обусловили их широкое применение на практике, состоят в следую-

щем. Прежде всего это относительная простота их возбуждения и регистрации. Продольные волны возбуждаются в виде основного типа колебаний либо как помехи практически всеми излучателями волн. Вследствие максимальной скорости передачи такого рода колебаний (для слабых возмущений среды), продольные волн в точке приема оказываются первыми. При этом отсутствует ряд помех, осложняющих регистрацию других типов волн. Это позволяет выделять продольные волны в первых вступлениях с помощью специальных алгоритмов автоматически.

Продольные волны распространяются как по скелету породы, так и по заполнителю пор. Например, при выявлении локальных неоднородностей в массиве пород это свойство снижает аномальный эффект, но определяет большую тесноту корреляционных связей с такими показателями физико-механических свойств, как влажность, показатель консистенции.

Плотный, нетрещиноватый скальный массив может рассматриваться как упругая среда. Поведение такого массива под действием деформирующих напряжений может быть достаточно однозначно охарактеризовано на основе анализа скоростей волн. Это подтверждает сравнение модулей упругости, определяемых динамическим и статическим методами. Рассмотрим, как изменяются скорости сейсмических волн вследствие нарушенности массива. Сделать это удобнее с помощью управления среднего времени, основанного на суммировании времени прохождения колебаний через различные фазы среды.

$$1/V = (1 - W_\Theta)/V_m + W_\Theta/V_f, \qquad (3)$$

где V, V_m, V_f — скорости волн: наблюденной, в целике или скелете, в заполнителе пустот, соответственно; W_Θ — пустотность или отношение объема пустот — пор и трещин к исследуемому объему.

Уравнение (3) можно использовать для оценки только трещинной пустотности. Для этого в качестве V_m следует использовать максимальные значения скоростей волн, характерных для данного литотипа пород. Можно использовать в качестве V_m скорость, измеренную в пределах локальных блоков либо на образцах. В этом случае W_Θ будет иметь значение трещинной пустотности.

Соотношение скоростей сейсмических волн и реально используемых частот колебаний определяет длины волн, которые значительно больше либо самих трещин, либо расстояний между акустическими контактами. Длины волн определяют характеризуемый объем пород.

Таким образом, нарушения сплошности скального массива находят отражение в величине скорости волн. Массив горных пород является многофазной системой. Наблюдаемые сейсмические поля образуются в результате суперпозиции различных физических эффектов, сопровождающих распространение колебаний в многофазном массиве. Часто трудно найти строгие объяснения и установить прямую связь конкретного физического эффекта с изменением волнового поля. Тем не менее между свойствами массива и сейсмическими параметрами существуют устойчивые связи. Адекватность отражения состояния горного массива с

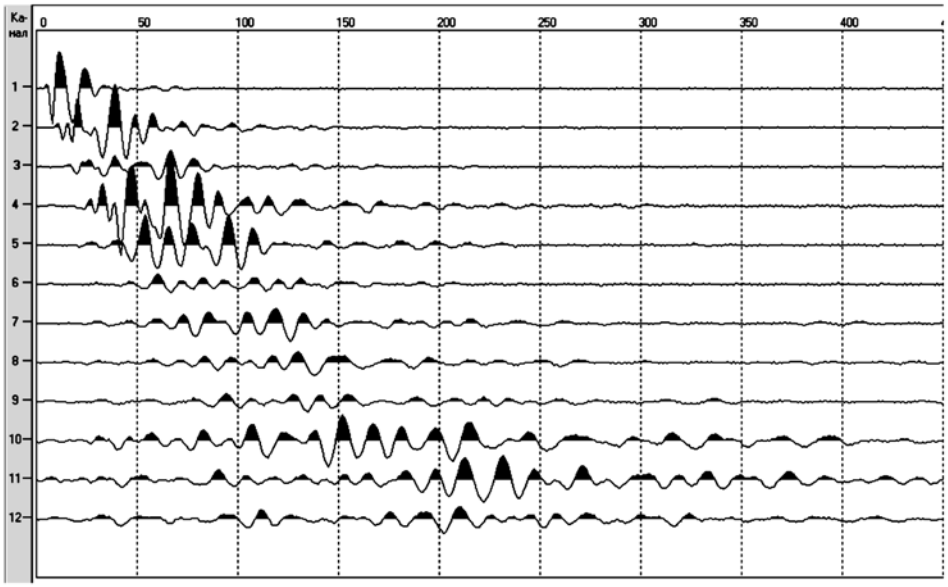


Рис. 1. Образец записанной сейсмограммы

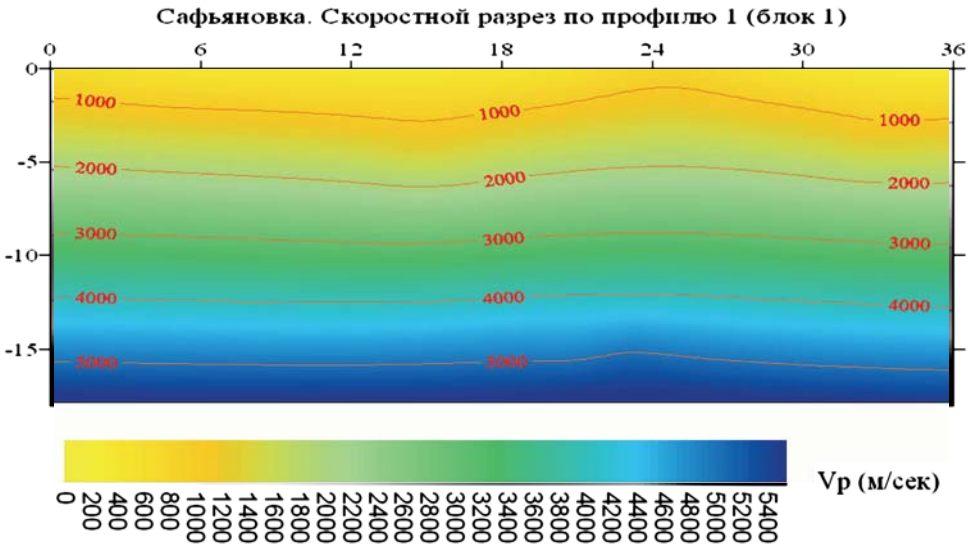


Рис. 2. Скоростной разрез по профилю

помощью многоволновой сейсмометрии можно оценить результатами практического применения. Косвенная связь сейсмических параметров с показателями физико-механических свойств пород определяется принципиальным различием воздействия на среду при прохождении сейсмических волн и при статических нагрузках в процессе испытаний образцов пород. В первом случае кратковременные нагрузки вызывают упругие и упруго-пластические (релаксационные) деформации. Во втором случае имеют место и остаточные деформации. Перечисленные выше различия в действующих процессах являются причиной того, что между ними могут быть установлены только корреляционные связи. Погрешности, таким образом, определяются теснотой корреляций. На основе сейсмических параметров желательно определить три важнейших для расчета технологических показателя: сопротивление пород одноосному сжатию, объемный вес и пористость. Чтобы геофизическая технология нашла свою нишу в действующих технологиях горных предприятий, аппаратура и оборудование должны быть доступны для широкого круга пользователей, обеспечивать стабильность показателей информативности и качества полевых геофизических материалов, высокую производительность геофизических работ.

Применялась система непрерывного профилирования через один интервал. Аппаратура 12-канальная цифровая накопительная станция «Талгар-6», модернизированная для записи на стандартную дискету 3,5″. Параметры записи: длительность 250 мс, ФВЧ 65 Гц, ФНЧ 250 Гц, фильтр-пробка включен. Источник колебаний располагался на расстоянии 44 м от пункта наблюдения. Возбуждение колебаний осуществляется ударами кувалдой по стальной пластине. Запуск сейсмостанции производится от пъезодатчика, закрепленного на кувалде. Количество накоплений 2 — 4. Прием колебаний осуществляется с помощью 12-канальной сейсмокосы с выводами через 4 м через сейсмические приёмники СВ-20-П.

В дальнейшем применялась сейсмостанция «Синус-12м», которая работает по принципу накопления слабых воздействий. В процессе регистрации каждого возбуждения осуществляется суммирование или вычитание (накопление) сейсмоданных с результатами предыдущих воздействий и записью последнего результата на флэш-диск, после записи данные (включая служебную информацию-этикетку) могут быть перегружены в PC-компьютер через параллельный порт с целью дальнейшей обработки. Возбуждение колебаний осуществляется ударами кувалдой по стальной пластине. Запуск сейсмостанции производится от пьезодатчика, закрепленного на кувалде. Прием колебаний осуществлялся с помощью 12-канальной сейсмокосы с выводами через 4 м через сейсмоприёмники GS-20. На рис. 1 и 2 показаны сейсмограмма записи продольных волн и скоростной разрез по высоте уступа для условий Сафьяновского карьера ОАО «Уралэлектромедь». Величины прочностных свойств пород определены на основании замера скоростей продольных сейсмических волн по изложенной выше методике.

УДК 622.235.5

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

А. Е. Франтов, Ю. П. Желуницин

Основой развития России является гармоничное функционирование отраслей экономики, использующих недра Земли в качестве предмета своей деятельности. Тенденция ухудшения экономо-географической дислокации, горнотехнических и горно-геологических условий месторождений [1] создает объективные предпосылки замены подземного и открытого способов разработки и перехода к перспективным — комбинированным физико-техническим и физико-химическим технологиям. Вовлечение в разработку запасов в ореолах забалансовых руд действующих предприятий, локальных рудных тел с высоким содержанием металлов, потерянных при очистной выемке балансовых и забалансовых запасов, низкосортной и некондиционной руды, оставленной в зонах обрушения и целиках, краевых частей месторождения создает дополнительные конкурентные преимущества рассматриваемым технологиям. При добыче скальных руд комбинированными способами производится изменение технологических свойств пород и массива с использованием энергии взрыва за счет:

— дезинтеграции пород до крупности, обеспечивающей полноту извлечения металла из руды в процессе выщелачивания;

— разупрочнения пород с созданием сети микротрещин в раздробленных кусках для обеспечения интенсификации процесса выщелачивания;

— изменения фильтрационных свойств массива в естественном состоянии (создание искусственных противофильтрационных завес, отрезных щелей в кровле и подошве пласта, аккумуляторов технологических растворов рядом с контуром выщелачивания) и разрушенной горной массы (замагазинированной руды).

Конверсионные взрывчатые материалы (КВМ) обладают возможностью управления объемной концентрацией энергии ВВ и технологическими параметрами, обеспечивающими их эффективное использование в комбинированных геотехнологиях. Применение КВМ позволяет решать задачи:

— взрывного дробления трудно разрушаемых слоев пород при выбуривании полезного ископаемого скважинами большого диаметра;

— создания необходимого контура отбойки при доработке прикарьерных залежей (ниже дна карьера, в бортах, в параллельных залежах);

— осуществления отбойки горной массы слоями, обеспечивающими оптимальное движение выщелачивающих растворов;

— создания полостей (горизонтальных, вертикальных, наклонных), экранирующих движение растворов в направлении естественной трещиноватости и снижающих потери продуктивных растворов.

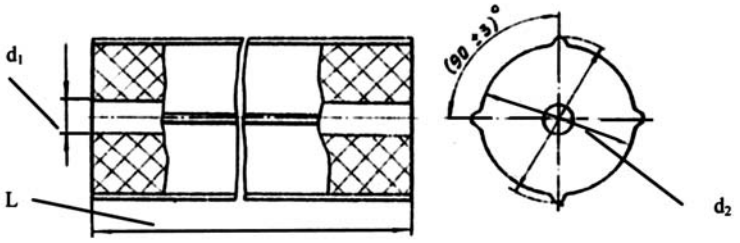


Рис. 1. Заряд КВМ с осевой полостью

Таблица 1

Параметры зарядов КВМ для забойной части скважин

Диаметр скважины, мм	Диаметр шашки, мм	Длина шашки, мм	Масса шашки, кг
165	130	910 — 1820	18,5/32,5
200	160	1120 — 2240	34,5/60,5
250	200	1400 — 2800	67,5/118,2

Заряды с осевой полостью (рис. 1, табл. 1 [4]) создают за счет канальной волны и кумулятивной струи взрывной эффект, обеспечивающий усиленное действие взрыва в забойной части скважины. Высокая объемная концентрация энергии зарядов КВМ позволяет использовать заряды при взрывной подготовке блоков. Работами [2, 3] установлены оптимальные параметры зарядов $d_1/d_2 = 0{,}2\ldots0{,}4$ (d_2 — диаметр заряда, d_1 — диаметр осевой полости) и $L/d_1 = 30 - 40$ (где L — длина заряда). Заряды с осевой полостью используют также для дробления трудно разрушаемых прослоев горных пород, при отбойке в условиях возрастания сопротивления срезу и трению, при усилении степени зажима на стыке откоса уступа с подошвой. Имеет перспективу использование зарядов КВМ при взрывном встряхивании для повышения фильтрационной способности замагазинированной руды.

При срабатывании кумулятивных зарядов с плоской симметрией процесс формирования кумулятивной струи состоит из двух этапов. На первом происходит схлопывание кумулятивной облицовки, на втором — образование плоской кумулятивной струи, которая бежит вдоль заряда. Скорость движения кумулятивной струи («ножа») в плоскости симметрии составляет 2,5 — 3 км/с. Как показали результаты модельных и натурных исследований [5], в направлении кумулятивной выемки переходит до 65 % энергии заряда. Эффективность действия зарядов определяется качеством схлопывания облицовки, которая зависит от симметричности инициирования. На рис. 2 показан общий вид зарядов и способы инициирования от применяемых средств взрыва-

Рис. 2. Инициирование кумулятивных зарядов с плоской симметрией

Таблица 2

Характеристики зарядов ЗКЛБ

Характеристика	Тип заряда			
	ЗКЛБ-10	ЗКЛБ-15	ЗКЛБ-20	ЗКЛБ-30
Масса без облицовки, г/м	74±10	190±20	358±30	810±45
Масса с облицовкой, г/м	108±15	268±20	495±30	1117±50
Толщина пробиваемой преграды (сталь 20), мм	6 — 7	9 — 11	13 — 15	20 — 22
Толщина металлополимерной облицовки	0,6 ± 0,1	0,9 ± 0,15	1,2 ± 0,2	1,8 ± 0,2

ния. На основе КВМ разработаны заряды марки ЗКЛБ (табл. 2), их используют для создания контура отбойки [6], экранирующих плоскостей, отрезных щелей.

При действии кумулятивных зарядов с плоской симметрией в породах происходит образование магистральной трещины в направлении кумулятивной выемки. В зависимости от конструкции заряда магистральная трещина может быть образована вдоль образующей скважины или перпендикулярно оси скважины. В первом случае используются удлиненные заряды, во втором — кольцевые. Заряд кольцевой формы (ККЗ) представляет собой цилиндрический заряд высотой от 1/2 до 2/3 величины диаметра заряда (рис. 3). Кумулятивная выемка расположена на боковой поверхности заряда и имеет металлическую облицовку толщиной 3 — 8 мм. При подрыве ККЗ совместное кумулятивное и фугасное действия заря-

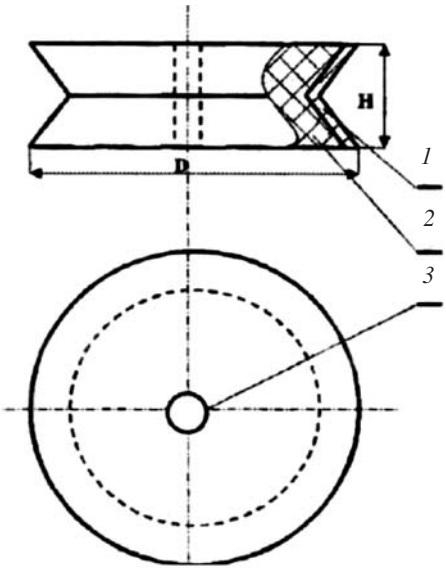


Рис. 3. Конструкция заряда ККЗ:
1 — ВВ; *2* — облицовка; *3* — канал под ДШ

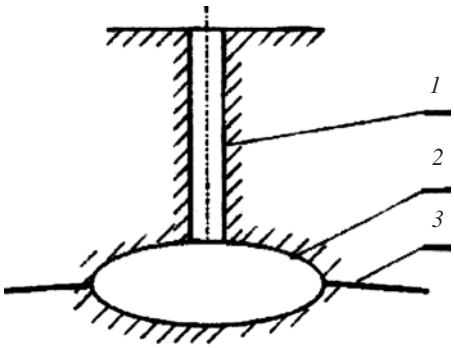


Рис. 4. Характер действия заряда ККЗ:
1 — скважина; *2* — камуфлетная полость; *3* — магистральная трещина

да в плоскости, перпендикулярной к оси скважины, образует полость и круговую трещину. При взаимодействии нескольких зарядов трещины формируют плоскость подсечки [7].

Для дистанционного воздействия на разрушаемый объект разработаны заряды, использующие принцип «ударного ядра». Заряд дистанционного действия (ЗДД) имеет диаметр от 50 до 300 мм и массу от 0,5 до 20 кг и представляет собой цилиндрическое тело, на одной из торцевых поверхностей которого установлена толстостенная облицовка в форме шарового сегмента или конуса [8].

Расчетные начальные скорости метания стальной оболочки заряда взрывного бурения (ЗВБ) различной массы следующие: 0,6 кг — 3550 м/с; 2,6 кг — 3630 м/с; 7,1 кг — 3000 м/с; 12,8 кг — 2590 м/с; 19,2 кг — 2870 м/с. Исследованиями установлено, что на расстоянии 100 м от места взрыва скорость метаемой облицовки уменьшается на 30 %. Заряды ЗДД устанавливают в удобном месте на расстоянии до 100 м от разрушаемого объекта. Отклонение от точки прицеливания на расстоянии 100 м не превышает 1 м. Заряды ЗДД и ЗВБ рекомендованы для дистанционного воздействия на объекты, для обрушения неустойчивых или сильно трещиноватых массивов горных пород, дробления негабаритных кусков горных пород.

Литература

1. Строительство и эксплуатация рудников подземного выщелачивания / В. Н. Мосинец и др. — М.: Недра, 1987. — 304 с.

2. Скважинные заряды взрывчатых веществ с осевой воздушной полостью / В. А. Салганик и др. — К.: Техніка, 1986. — 88 с.

3. Физика взрыва: в 2 т.: т. 2 / С. Г. Андреев и др.; под ред. Л. П. Орленко. — 3-е изд., доп. и перераб. — М.: Физматлит, 2002. — 656 с.

4. *Франтов А. Е.* Особенности действия зарядов с осевой полостью в скважинах / А. Е. Франтов // Физические проблемы разрушения горных пород взрывом: сб. трудов Пятой междунар. науч. конф. — СПб, 2007. — С. 226—228. — (Записки Горного института. — Т. 171).

5. *Демидюк Г. П.* Эффективность взрыва при проведении выработок / Г. П. Демидюк, В. Ф. Ведутин. — М.: Недра, 1973. — 152 с.

6. *Анисимов В. Н.* Применение кумулятивных зарядов с плоской симметрией для разрушения горных пород и проходки горных выработок / В. Н. Анисимов, А. Е. Франтов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2006. — № 11. — С. 100 — 102.

7. Новые конструкции зарядов для горных работ / Ю. Г. Зольников и др. // Физические проблемы разрушения горных пород: сб. трудов Четвертой междунар. науч. конф. / под ред. К. Н. Трубецкого, С. Д. Викторова; ИПКОН РАН. — М., 2005. — С. 359 — 362.

8. Энергетические показатели дробления негабаритных кусков с использованием штатной и конверсионной взрывной техники / А. В. Иванов и др. // Физические проблемы взрывного дела: сб. трудов Второй междунар. науч. конф. — СПб, 2001. — С. 189 — 192. — (Записки Горного института. — Т. 148 (1)).

УДК 622.235.69

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И ВЕЛИЧИНЫ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ НА ПАРАМЕТРЫ РАЗВАЛА ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ ПРИ ДРОБЛЕНИИ ВЯЗКИХ ПОРОД КАРЬЕРОВ ОАО «ВАНАДИЙ»

Э. П. Артемьев, В. Н. Рождественский,
В. А. Кайгородов, С. А. Кайгородов, А. В. Дубских

Одним из прогрессивных методов управления параметрами развала взорванной горной массы и качеством дробления горных пород, особенно отбиваемых первым рядом скважин, является взрывание в зажатой среде на неубранную горную массу (подпорную стенку). При этом эффективность взрыва проявляется только при многорядном короткозамедленном взрывании (МКЗВ) при наличии не менее четырех-пяти рядов скважин.

Основной задачей исследований являлось определение необходимой величины подпорной стенки при максимально допустимой ширине и высоте развала взорванной горной массы. Проводились производственные эксперименты на технологических взрывах. По результатам сканирования поверхностей подпорной стенки до взрыва и развала взорванной горной массы после взрыва лазерным сканером марки LMS-Z420i строились их совмещенные разрезы. Пределы изменения параметров БВР на экспериментальных блоках приведены в табл. 1, где дана также ширина подпора на высоте от 0 до 15 м от уровня подошвы уступа с интервалом через 5 м. Число рядов скважин во всех взрывных блоках было не менее 4, а ширина подпора варьировалась в широких пределах, изменяясь на уровне подошвы уступа от 6 — 8 м до 23 — 40 м и на уровне высоты уступа — в диапазоне 0 — 30 м.

Максимальные приращения ширины развала (40 — 41 м) получены при ширине подпора на уровне подошвы уступа 8 м и его отсутствии в верхней части уступа (рис. 1, *а, б*). Это связано с тем, что наибольший отброс раздробленной породы происходит на уровне верхней части заряда, где подпор отсутствует или его величина недостаточна для удерживающего действия. При этом суммарное приращение ширины развала (ширина подпора плюс ширина приращения) на уровне подошвы уступа практически приближается к ширине развала при взрывании на под-

Таблица 1

Параметры БВР и ширины подпора из взорванной горной массы

Категория взрываемости	Высота уступа, м	Сетка скважин, м	Число взрываемых рядов	Удельный расход ВВ, кг/м^3	Ширина подпора, м на высоте от подошвы уступа			
					9 м	5 м	10 м	15 м
V	14,3 — 15,6	5,0×5,0	4 — 6	1,76 — 2,24	6 — 40	4 — 35	2 — 32	0 — 30
IV	14,5 — 15,1	5,5×5,0	4 — 5	1,72 — 1,81	10 — 23	8 — 20	6 — 17	4 — 14
III	14,1 — 15,0	5,5×5,5	4 — 6	1,56 — 1,73	10 — 40	8 — 36	6 — 32	3 — 28

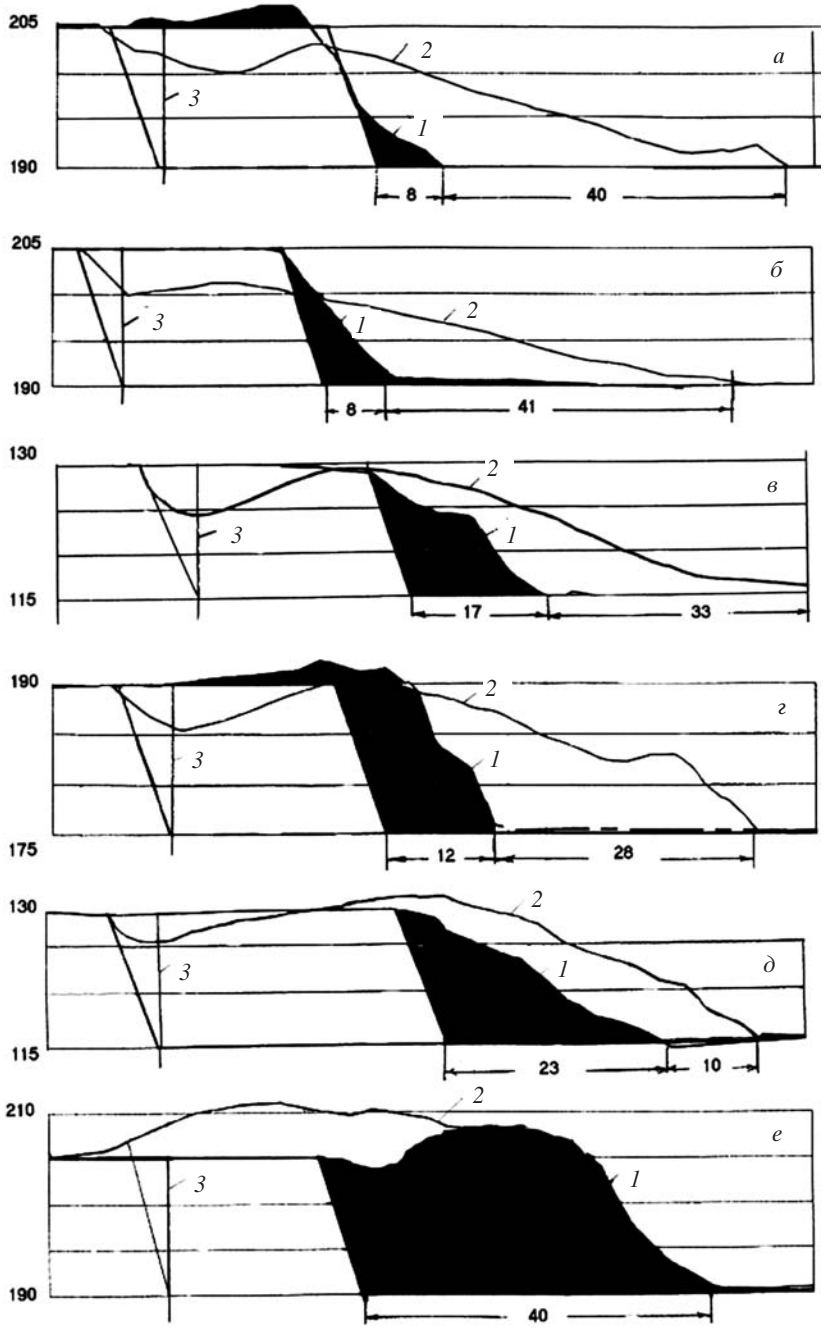


Рис. 1. Совмещенные профили подпора и развала горной массы при дроблении пород карьеров ОАО «Ванадий»:
1 — подпор из взорванной горной массы; *2* — развал взорванной горной массы; *3* — скважины последнего ряда

Таблица 2

Параметры БВР и развала при взрывании на подпорную стенку различной ширины

Вариант разрезов на рис. 1	Категория взрываемости	Высота уступа, м	Удельный расход ВВ по блоку, кг/м^3	Число взрываемых рядов	Интервалы времени замедления, мс	Параметры подпора, м		Параметры развала, м	
						на уровне подошвы	в верхней части уступа	Приращение ширины развала	Максимальная высота
а	V	14,9	1,99	5	42/42	8	0	40	13
б	V	15,0	2,07	5	67/42	8	0	41	11
в	V	14,8	2,06	6	100/67	17	0	33	14
г	V	15,3	1,99	5	100/67	12	9	28	15
д	IV	15,0	1,81	6	100/42	23	10	10	16
е	III	15,5	1,78	6	100/42	40	30	0	21

Примечание. В числителе даны интервалы времени замедления в первом ряду скважин, в знаменателе — в последующих рядах.

бранный забой, т. е. к 50 м, а его максимальная высота на 2—4 м ниже высоты уступа в целике (табл. 2).

Ширина подпора на уровне подошвы уступа 40 м и в верхней части уступа 30 — 32 м (рис. 1, *е*) полностью препятствует перемещению породы в горизонтальной плоскости, что создает условия для перемещения ее в вертикальной плоскости, увеличивая высоту развала до 20 — 21 м, что превышает высоту уступа в 1,3 — 1,4 раза (см. табл. 2). По результатам исследований построены зависимости изменения приращения ширины

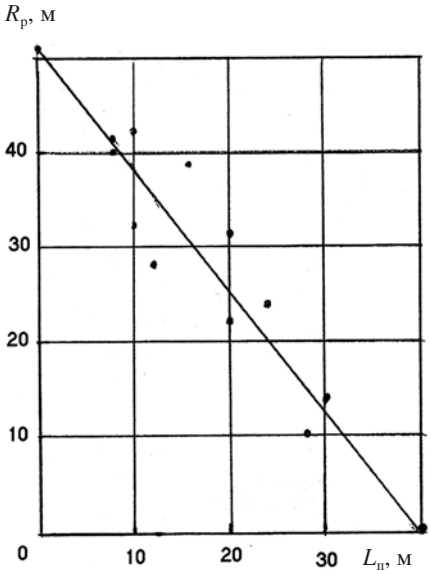


Рис. 2. Зависимость приращения ширины развала ($R_р$) от величины подпора ($L_п$)

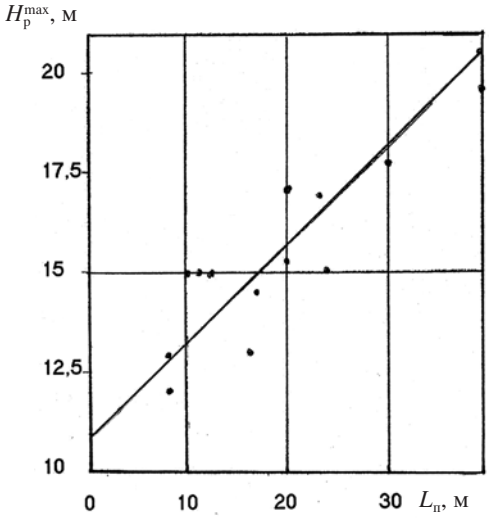


Рис. 3. Зависимость максимальной высоты развала ($H_р^{max}$) от величины подпора ($L_п$).

развала (рис. 2) и его максимальной высоты (рис. 3) от величины подпора, имеющие вид:

$$R_р = 51 - 1{,}3\ L_п, \quad (1)$$

$$H_р^{max} = 0{,}26L_п + 10{,}6 \quad (2)$$

где $R_р$ — ширина развала, м;

$L_п$ — ширина подпора, м;

$H_р^{max}$ — максимальная высота развала, м.

Анализ этих зависимостей показывает, что с увеличением ширины подпора приращение ширины развала снижается, а высота развала растет, причем обе зависимости подчиняются линейному закону.

На основании проведенных исследований в качестве рациональных параметров подпорной стенки следует принимать ее ширину на уровне подошвы уступа в пределах 12 — 17 м с углом откоса 50 — 60°, что обеспечивает приращение ширины развала в пределах 30 ± 3 м и безопасную его высоту, не превышающую высоту рабочего уступа, которые получены при отбойке массивов вязких горных пород на подпорную стенку схемами МКЗВ с интервалами времени замедления между зарядами первого ряда скважин 100 мс и 67 мс — последующих рядов.

УДК 622.233

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ БУРЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН

Р.И. Сухов

Процесс бурения скважин состоит из двух неразрывно связанных технологических операций — разрушения пород на забое скважины и выноса продуктов разрушения на дневную поверхность, интенсификация которых определяет основные показатели эффективности процесса бурения. Одним из определяющих направлений интенсификации разрушения является повышение линейной и объемной скоростей бурения за счет создания механизма разрушения при взаимодействии бурового инструмента с массивом горных пород. Качественное улучшение показателей бурения может быть достигнуто за счет изучения и теоретической разработки механизмов разрушения массива, обеспечивающих ослабление прочностных свойств пород и руд за счет создания дополнительных скалывающих поверхностей и зон предразрушения на забое скважин.

Одним из основных вопросов бурения скважин является эффективность разрушения горной породы инструментом. Эффективным следует считать такой процесс, при котором при наименьших затратах энергии производится отбойка максимального объема породы. Существует три основных вида отбойки: отбойка сколом, выколом и блокированным сколом. Наиболее эффективным с точки зрения наименьших энергозатрат является скол на вторую свободную поверхность. Характеризовать скол можно величиной H — расстоянием до второй свободной поверхности. От H напрямую зависит объем отбитой породы, а следовательно, и эффективность бурения. $H_{опт}$ для скола [1] имеет следующий вид:

$$H_{опт} = \mu F/(\sigma B k), \qquad (1)$$

где μ — коэффициент Пуассона;

F — усилие на инструменте;

σ — предел прочности;

B, k — геометрические параметры.

При увеличении H до критической величины происходит переход от отбойки сколом к отбойке выколом.

$$H_{кр} = 2\mu F b/(\sigma B k), \qquad (2)$$

где b — коэффициент формы объема.

Оптимальное расстояние до второй свободной поверхности при блокированном сколе

$$H_{опт} = F\mu b\eta/(2\sigma B k), \qquad (3)$$

где η — доля затраченной энергии на вторую поверхность.

Сравнивая критическое значение расстояния до второй свободной поверхности с оптимальным видим, что $H_{кр}$ в два раза больше, чем $H_{опт}$. При одинаковых значениях действующей силы и затраченной энергии эффективность скола в $1/\eta^2$ раз больше, чем выкола. Следовательно, энергоемкость — меньше, а производительность — больше. Это следует учитывать при разработке перспективного бурового инструмента. Увеличить объем породы, отбитой сколом, можно за счет выкола на начальном этапе, который дает увеличение числа свободных поверхностей. Чистый скол может быть осуществлен только в условиях, когда число свободных поверхностей не менее двух и эти поверхности взаимно ортогональны. При этом высота второй свободной поверхности не должна позволять породе беспрепятственно скалываться, т. е. быть как бы бесконечной. Если существует препятствие в виде третьей поверхности, которая ограничивает глубину скола, то такой скол является блокированным. При блокированном сколе отбойка производится на ограниченную свободную поверхность. Очевидно, что при блокированном сколе, как и при чистом сколе, существует оптимальное значение $H_{опт}$, при котором достигается максимальная эффективность отбойки при одной и той же приложенной силе (осевой нагрузке). При этом если фактически расстояние $H_ф > H_{опт}$, то произойдет переход к выколу, а если $H_ф < H_{опт}$, то это приведет к чистому сколу, но объем отбитой породы будет меньше, следовательно, энергозатраты возрастут. На величину отбиваемого при блокированном сколе объема влияет величина второй свободной поверхности, которая должна позволить полностью использовать силу F в режиме скола. При оптимальных параметрах отбойки эффективность разрушения блокированным сколом в 1,7 — 3,5 раза выше, а энергозатраты, следовательно, в 1,7 — 3,5 раза ниже, чем при разрушении выколом.

Эффективность скола зависит также от формы и параметров разрушающих инденторов — зубков породоразрушающего инструмента [2, 3], определяющих глубину проникновения в разрушаемый массив в зависимости от формы и расстояния между ними, определяющего способность образования дополнительных скалывающих поверхностей. Форма твердосплавных зубков, величина их вылета и расстояния между зубками должны соответствовать прочностным свойствам обуриваемого массива, а также естественной трещиноватости и трещиноватости массива, полученной в результате ведения буровзрывных работ. Интенсивность раскрытия трещин определяется количеством энергии, передаваемой на забой скважины, и удельным ее распределением по площадке забоя, с одной стороны, и в объеме скола за один оборот — с другой.

Лабораторией бурения скважин ИГД УрО РАН проведены комплексные исследования комбинированных способов бурения скважин с использованием ударного, шарошечного, режущего и термического бурения. Вскрыты новые закономерности и установлены зависимости, открывающие возможность увеличения механической скорости бурения в 1,7 — 2,5 раза в сравнении с шарошечным способом. Кроме повышения производительности буровых работ в 1,8 — 2 раза, что снижает вес буровых станков в 1,5 — 2 раза и позволяет создать современную мобиль-

ную гидрофицированную буровую технику нового технического уровня [5]. Установление зависимостей, связанных с оптимальным распределением разрушающих элементов бурового инструмента и количеством энергии, необходимой для разрушения крепких горных пород с определенными физико-механическими свойствами, является основной научной проблемой исследований.

Для решения второй технологической задачи, определяющей интенсивность процесса бурения, а именно вынос продуктов разрушения на дневную поверхность, выполнены необходимые исследования и разработана классификация состояний бурового шлама и методов определения основных его параметров, способствующих повышению скорости выноса и качества очистки забоя от выбуренных частиц [4]. Результаты работ широко опубликованы и способствовали внедрению разработок лаборатории в производство. Создано большое количество методических и нормативных материалов: «Типовые инструкции по технике безопасности для буровых станков», «Нормативный расход бурового инструмента» для наиболее представительных регионов России, «Инструкция по эксплуатации шарошечных долот» и другие нормативные материалы, способствующие повышению безопасности труда буровиков и снижению себестоимости добычи полезных ископаемых.

Литература

1. *Протасов Ю. И.* Теоретические основы механического разрушения горных пород / Ю. И. Протасов. — М.: Недра, 1985. — 241 с.

2. *Крюков Г. М.* Теоретическая оценка влияния скольжения зубьев на эффективность бурения горных пород шарошечными долотами / Г. М. Крюков, Ны Ван Бак // Разрушение горных пород. — Л., 1984. — С. 101 — 104. — (Записки / ЛГИ. — № 99).

3. *Эйгелес Р. М.* Разрушения горных пород при бурении / Р. М. Эйгелес. — М.: Недра, 1971. — 230 с.

4. *Сухов Р. И.* Методика исследований аэрологических свойств систем шламоудаления при бурении / Р. И. Сухов, А. В. Тымчур // Промышленная безопасность и эффективность новых технологий в горном деле: междунар. науч.-практ. конф. Горное дело — 2000: сб. материалов (доклады, статьи, решения) / МГГУ. — М., 2001. — С. 601 — 612.

5. *Сухов Р. И.* Перспективы оснащения открытых горных работ буровыми станками большого диаметра / Р. И. Сухов // Горный журнал. — 1995. — № 10. — С. 25 — 27.

УДК 622.233/.235

О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ШАРОШЕЧНОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН НА КАРЬЕРАХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ БВР

С. Н. Жариков

До сих пор не отработан механизм учета данных о шарошечном бурении для определения и корректировки параметров БВР. Это связано с тем, что взаимосвязь между бурением и взрыванием массива в разных горных породах не постоянна. И. А. Тангаев [1] предложил оценивать взрываемость горных пород через взаимосвязь между полной работой взрыва ($q_э$) и полезной работой при бурении скважины (e).

$$q_э = 0{,}15 + 0{,}011e, \text{ МДж/м}^3, \tag{1}$$

где $e = N/v$ — энергоемкость бурения, кВт·ч/м; N — мощность, потребляемая двигателем вращателя, кВт; v — скорость бурения, м/ч.

С другой стороны, энергоемкость взрывания определяется следующим образом:

$$q_э = \frac{Q_{уд} m_{ВВ}}{V}, \text{ МДж/м}^3, \tag{2}$$

где $Q_{уд}$ — удельная теплота взрыва на 1 кг ВВ, МДж/кг; $m_{ВВ}$ масса ВВ, кг; V — объем взрываемой горной массы, м^3.

Тогда зависимость (1) имеет вид:

$$\frac{Q_{уд} m_{ВВ}}{V} = 0{,}15 + 0{,}011e. \tag{3}$$

Таким образом, энергоемкость бурения пропорциональна энергии разрушения горной породы и работе взрыва. В этом случае появляется возможность по известной или прогнозируемой энергоемкости бурения в породе установить необходимую полную работу взрыва, а следовательно, и расход ВВ. Однако зависимость (1) не учитывает изменения свойств горных пород и выведена только для предприятий, на которых проводились исследования, поэтому она может быть несправедливой для других предприятий. Поэтому исследования 70-х годов прошлого века и разработанные на их основе методики не нашли должного применения на предприятиях горнодобывающей отрасли. Однако сегодня, в период развития информационных технологий, идеи И. А. Тангаева представляют особый интерес. Если систематизировать учет данных о бурении пород и их взрывании на конкретном месторождении, то определение расхода ВВ по энергоемкости бурения перестанет быть далекой перспективой. В лаборатории разрушения горных пород ИГД УрО РАН проводятся исследования в этом направлении. Основной их целью является разработка методики определения и корректировки параметров БВР с учетом

взаимосвязи между бурением и взрыванием горных пород. Ниже представлены некоторые результаты исследований в условиях Гусевогорского месторождения.

Исследование зависимости между энергоемкостью бурения и взрывания проведены на Главном карьере Качканарского ГОКа. Расчет энергоемкости взрывания произведен по выражению (2). Взрывчатое вещество ОМ-70. Удельная теплота взрыва 2,7 МДж/кг. В связи с тем, что расход ВВ определяется на кубический метр, необходимо было для соответствия размерностей определить энергоемкость бурения не погонного метра, а метра кубического, характеризующего около-скважинное пространство. Энергоемкость бурения в определенном объеме вычислена согласно выражению.

$$e = \frac{Nt}{q_{\text{гм}}}, \quad \text{кВт·ч/м}^3, \tag{4}$$

где $q_{\text{гм}}$ — выход горной массы с одного погонного метра скважины, м^3; t — среднее время бурения одного погонного метра, ч; N — мощность, потребляемая двигателем вращателя, кВт.

Энергоемкость бурения определена как средняя по взрывному блоку. Буровой станок СБШ-250МН. Диаметр скважины 250 мм. В расчетах использовались отчетные данные по Главному карьеру за 2006 год.

Энергоемкость взрывания определялась на основе данных по расходу ВВ на блок и объему блока. Энергоемкость бурения определена следующим образом: 1. На основе количества пробуренных погонных метров в блоке и объема блока определен средний выход горной массы с одного погонного метра скважины. 2. Используя геометризацию карьерного поля по категориям буримости ЦБНТ, в приближении установлено, сколько скважин пройдено в блоке по разным категориям буримости. Определена доля пробуренных погонных метров по каждой категории в общем объеме бурения по блоку. 3. В справочной литературе приведено время чистого бурения по категориям ЦБНТ для СБШ-250МН. Время чистого бурения по категории помножено на долю каждой категории буримости в общем объеме. Суммируя полученные результаты по всем категориям буримости пород в блоке, установлено среднее время бурения в этом блоке одного погонного метра скважины. 4. Согласно И. А. Тангаеву, мощность, потребляемая двигателем вращателя, составляет для применяемых станка и диаметра скважины в среднем 30 кВт при нормальных режимах бурения. 5. После определения входящих в выражение (4) величин по блоку определялась энергоемкость бурения.

Для пород Качканарского ГОКа эта зависимость между энергоемкостью взрывания и бурения выражается следующей формулой (рис. 1):

$$q_{\text{э}} = 8 \cdot 10^{-5} \cdot e^3 - 0{,}17 \cdot e^2 + 121{,}2 \cdot e - 24656{,}2. \tag{5}$$

Коэффициент корреляции $R = 0{,}85$.

График, представленный на рис. 1 имеет две точки перегиба при возрастании энергоемкости бурения. На Главном карьере бурение ве-

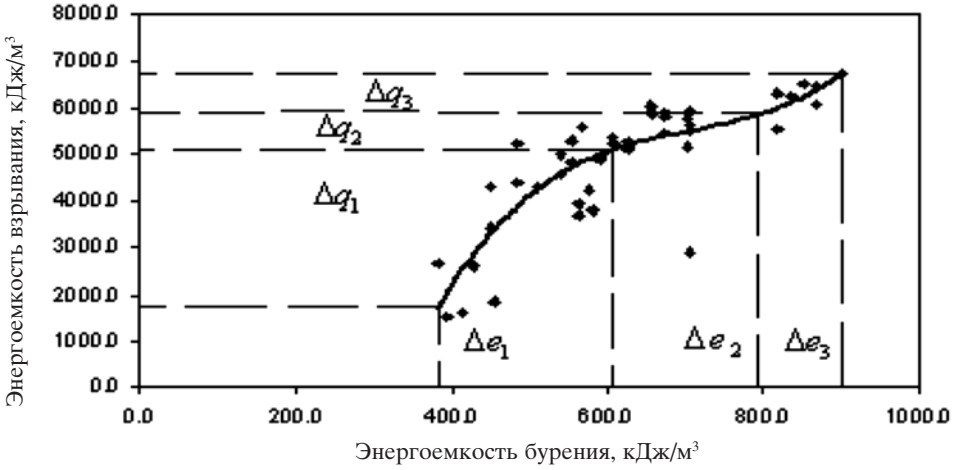


Рис. 1

дется в породах 17-й, 18-й и 19-й категорий буримости по ЦБНТ. Точки перегиба графика как раз показывают на переход от одной категории буримости к другой. Каждой категории буримости пород соответствует ряд значений энергоемкости взрывания. Это свидетельствует о том, что по буримости горных пород возможно определить их взрываемость.

На следующем этапе работы был проведен хронометраж скорости бурения в оливиновом пироксените. Выбор породы не был случайным, потому, что в исследуемом блоке по проекту категория буримости 18. Согласно же геологической документации этот пироксенит в зависимости от зернистости может иметь буримость от 14-й до 20-й категории по ЦБНТ. Результаты исследований приведены на рис. 2, 3, 4.

В результате исследований бурения строчки скважин в блоке № 3270 установлено, что верхняя часть уступа до 6 м бурится легче, от 6 до 14 м идет снижение скорости бурения, от 14 до 18,5 м идет опять увеличение скорости бурения. Но это в среднем. По отдельным скважинам наблюдения отличаются от общей закономерности. В целом же залегание пироксенита оливинового в этом участке блока представляет собой «слоеный пирог», зернистость по глубине уступа меняется. К сожалению, установить контакты зернистости не представилось пока возможным, так как необходимы замеры по каждому погонному метру скважины.

Можно сделать следующие предварительные выводы:

1. Используя зависимость (5) для каждой категории буримости в карьере можно определить расход ВВ и основные параметры БВР (соответствующая методика в настоящее время разрабатывается). Далее по прогнозируемой категории буримости в проектируемом взрывном блоке можно определить сетку скважин и остальные предварительные параметры ВБР.

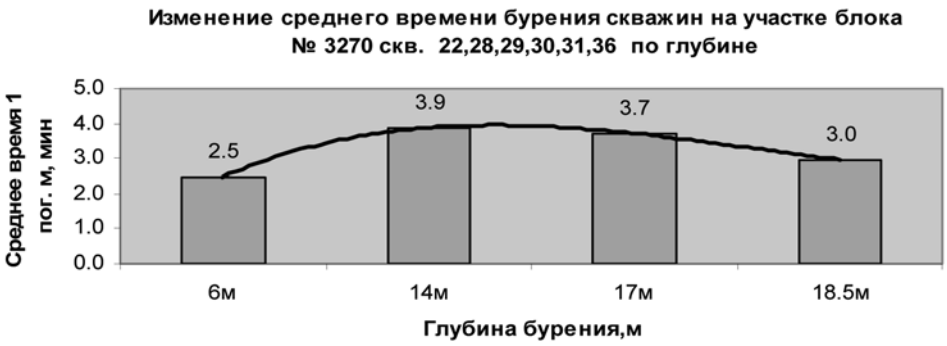


Рис. 2

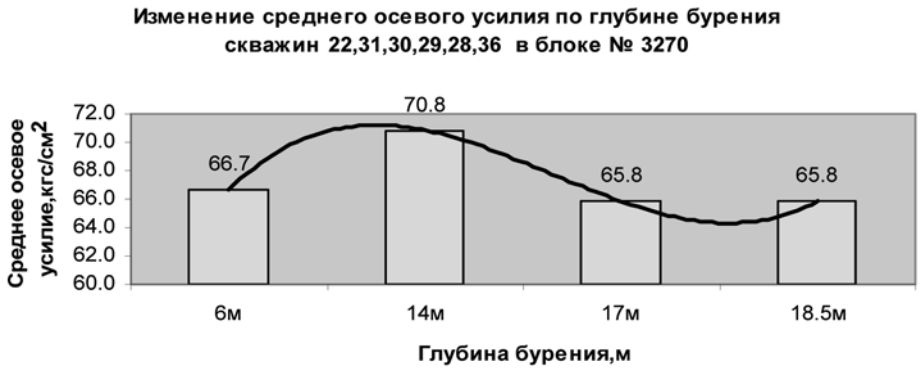


Рис. 3

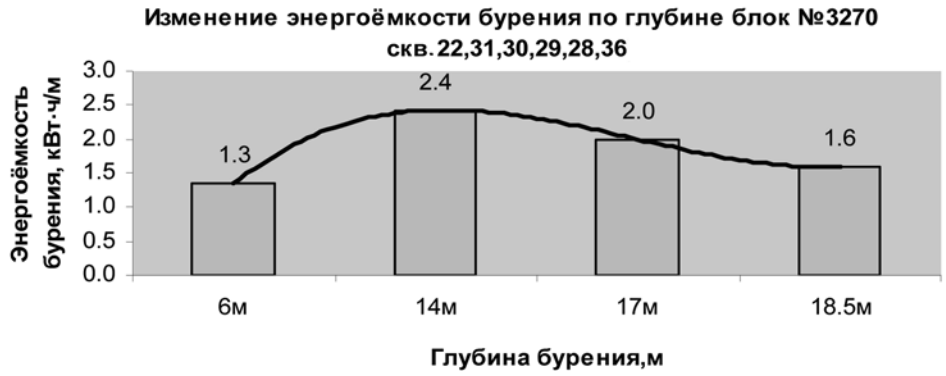


Рис. 4

2. Информация о бурении каждого погонного метра скважин в блоке позволит установить контакты между породами и скорректировать массу ВВ в каждой отдельной скважине.

3. Информация о проходке перебура во взрывном блоке способствует корректировке прогнозной информации о буримости для пород нижележащего горизонта, что приведет к повышению точности планирования БВР.

Следует отметить, что для получения оперативной информации о бурении взрывных скважин необходимо специальное оборудование, а именно: установленная на станки спутниковая навигационная геодезическая система типа GPS или ГЛОНАСС, которая способна во времени отследить скорость бурения, а также оборудование для замера мощности вращателя бурового става во времени. Данные с передатчиков приборов должны поступать одновременно в единую базу данных. На первый взгляд может показаться, что перспектива таких исследований крайне туманна. Зачем усложнять процесс, тем более нести затраты на дополнительное оборудование? В связи с этим хочется вспомнить слова В. Ж. Аренса. В одной из своих статей он пишет, что общая тенденция внедрения в науки элементов математики не обошла и горную науку, но для решения большинства крупных горных проблем на сегодня недостаточно наших знаний, поскольку задачей, например, разработки месторождений является создание саморазвивающихся многофакторных систем, а в дальнейшем и самопрограммирующихся автоматов. На наш взгляд, сегодня количественно решать задачи, возникающие при разработке полезных ископаемых, можно только применительно к определенным, идеальным месторождениям. Поэтому, чтобы придать практическое значение таким «количественным» решениям, лежащим в основе анализа, допущения должны согласовываться с естественными условиями [2].

Несомненно, до применения сложного дорогостоящего оборудования на буровых станках необходимо провести большой ряд исследований, в том числе и об экономической целесообразности. Однако даже на начальном этапе исследований заметно, что данная работа ведет к будущему программированию буровзрывного передела.

Литература

1. *Тангаев И. А.* Буримость и взрываемость горных пород / И. А. Тангаев. — М.: Недра, 1978. — 184 с.

2. *Аренс В. Ж.* О понятиях и структуре горной науки // Горный журнал. 1995. № 4. С. 3 — 6.

3. Геологический отчет по Гусевогорскому месторождению с подсчетом запасов титаномагнетитовых руд по состоянию на 01.01.1988 г. Нижне-Тагильская геологическая экспедиция; под ред. И. Г. Полянского. — Нижний Тагил, 1988. — 300 с.

УДК 622.235.4

СПОСОБЫ ФОРМИРОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В КОЛОНКЕ СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА ВВ

Б. Б. Бажанов

Необходимое дробление горной массы взрывом и повышение технико-экономических показателей взрывной отбойки предопределяются правильным выбором рациональной конструкции заряда и оптимальных параметров буровзрывных работ. При сплошной конструкции заряда степень использования полезной работы взрыва весьма низка. Сплошной заряд занимает 40 — 70 % длины скважины, а остальная часть заполнена забойкой, в результате интенсивное разрушение породы взрывом происходит в нижней части уступа; в верхней части уступа порода разрушается незначительно, что резко снижает качество дробления горной массы и приводит к повышенному выходу негабарита при уменьшении высоты заряда. Кроме того, в результате концентрации энергии взрыва в нижней части уступа при сплошных зарядах наблюдаются интенсивный выброс продуктов детонации по всему фронту уступа и увеличенное сейсмическое воздействие на ближние здания и сооружения.

При наличии воздушных полостей в заряде ВВ энергия взрыва в месте установки воздушного промежутка передается горной массе с некоторой задержкой и напряжения в массиве распределяются более равномерно, причем интерференция взрывных волн происходит в нескольких плоскостях в большом объеме породы. Кроме улучшения качества дробления горной массы, при замещении части колонки заряда ВВ воздушной полостью удельный расход ВВ возможно снизить на 20 %, что существенно улучшает технико-экономические показатели отбойки горной массы.

При всех достоинствах применения воздушных промежутков в скважинных зарядах ВВ существует и проблема в практике взрывных работ — ненадежность устройства воздушного промежутка. Широкому применению данного метода препятствует также низкая технологичность и высокая стоимость устройств воздушных промежутков. В настоящее время разработаны различные по конструкции и принципу действия устройства, имеющие свои достоинства и недостатки.

Для определения наиболее рациональной и надежной конструкции скважинного воздушного промежутка необходимо определить критерии, которым должна соответствовать наиболее выгодная конструкция.

1. Безопасность при применении и установке в скважине.
2. Технологичность — относительная простота конструкции, не снижающая производительность заряжания скважин и не увеличивающая трудозатраты.
3. Возможность применения при механизированном заряжании.
4. Надежность конструкции, которая позволяет надежно фиксировать верхний заряд ВВ и забойку.

5. Точность установки в скважине по высоте для обеспечения заданной конструкции заряда.

6. Возможность применения со всеми штатными средствами инициирования.

7. Возможность изготовления и подготовки изделий в непосредственной близости от места проведения взрывных работ.

8. Возможность применения в любых горнотехнических и климатических условиях.

9. Удобство при транспортировке и подготовке на месте проведения взрывных работ.

10. Низкая стоимость изделия, позволяющая экономически эффективно применять данный метод.

11. Возможность применения для скважин различного диаметра — универсальность конструкции.

Рассматривая различные устройства воздушных промежутков, их можно разделить по принципу действия на следующие группы:

удержание заряда ВВ производится за счет опоры на нижний заряд или забой скважины;

удержание заряда ВВ производится за счет распора устройства на стенках скважины;

удержание заряда ВВ производится с поверхности путем фиксации заряда ВВ на заданной глубине с помощью опоры, удерживаемой у устья скважины канатом или веревкой.

Из существующих конструкций воздушных промежутков наиболее приемлемыми можно считать первый и второй типы. Удержание заряда ВВ с поверхности является наиболее ненадежным и опасным по обрыву креплений, так как на конструкцию оказывает давление вся масса заряда и забоечного материала. Кроме того, установка такой конструкции, как правило, снижает производительность заряжания, так как требует установки у устья скважины распорной конструкции. Разработки по ее совершенствованию в итоге сводятся к повышению надежности и безопасности конструкции, что приводит к удорожанию за счет использования дорогостоящих материалов и усложнению конструкции.

Применение конструкций с опорой на нижний заряд ВВ и распорных конструкций наиболее приемлемо в отношении безопасности и надежности — основных критериев оценки массового применения воздушных промежутков. Применение конструкций, опирающихся на нижний заряд, является наиболее простым и надежным решением задачи. Данный способ характеризуется как наиболее безопасный и надежный, позволяющий точно фиксировать верхний заряд ВВ. Полые цилиндрические конструкции удобны в применении и подходят для механизированного заряжания, но, как правило, достаточно объемны, что существенно затрудняет перевозку и подготовку на месте взрывных работ. Их применение в скважинах различного диаметра требует и наличия большого ассортимента изделий по диаметру, а кроме этого, для производства данной продукции на местах взрывных работ необходимо организовывать большую производственную базу.

Перспективны надувные конструкции, которые позволяют снизить затраты за счет использования герметичных тонкостенных очень компактных изделий, их можно подготавливать непосредственно на взрываемом блоке, надувая или за счет химических реакций внутри устройства. При этом не снижается производительность заряжания и обеспечивается достаточная надежность при использовании качественного материала капсулы. Особенностью конструкции является технологичность и низкая стоимость. Универсальной данную конструкцию можно назвать потому, что изделия можно изготовить в необходимом количестве за короткий срок без использования промышленного оборудования, то есть по необходимости подготовить капсулы нужного диаметра при наличии недорогого сырья и оборудования (полиэтиленовый и др. рукава необходимой ширины, химикаты, обратные клапаны, запайщики). Необходимо отметить, что при минусовой температуре материал капсулы, обратного клапана и химикаты теряют свои полезные свойства, то есть надежность устройства недостаточна.

Конструкции, состоящие из штока, опоры и удерживающей верхний заряд «чаши», не претерпели существенных изменений, но с появлением современных пластических масс и готовых изделий из них возможности разработки конкурентоспособной конструкции воздушных промежутков расширились. Изготовление сборных конструкций позволяет этому способу быть предпочтительным, потому что он удовлетворяет практически всем критериям. Относительно высокая стоимость по сравнению с надувными конструкциями компенсируется более широкой сферой применения в любых климатических условиях.

Устройства воздушных промежутков, распирающихся на стенки скважины, имеют множество конструктивных особенностей, из них можно выделить две большие группы, в которых распор производится за счет подвижных частей устройства при механическом воздействии на них и за счет изменения объема и деформации устройства. Первый тип обеспечивает достаточную надежность и безопасность удержания верхнего заряда ВВ, технологичен и компактен. Основные недостатки данных устройств из-за жесткости конструкции и использования твердых материалов — недостаточная универсальность и невозможность применения с детонирующими шнурами (ДШ) и неэлектрическими средствами инициирования (НСВ). Их применение также затруднено при большой трещиноватости и в породах крепостью менее $f = 8$ по шкале проф. М. М. Протодьяконова.

Устройства, относящиеся ко второй группе, обладая теми же достоинствами, позволяют исключить недостатки жесткой конструкции, то есть предотвратить режущее давление на нити ДШ и волноводы НСВ; большая площадь контакта устройства и стенок скважин позволяет использовать его в породах любой степени трещиноватости. Проблемы и достоинства, связанные с применением данной конструкции, обусловлены прочностью материала и его качеством, как и в надувных конструкциях, опирающихся на нижний заряд ВВ. Конструкции, распирающиеся под действием веса верхнего заряда ВВ (с гофрированной поверхностью стенок), нельзя отнести к универсальным в связи с необходимостью со-

блюдать четкое соответствие диаметра скважины и типоразмера устройства.

На сегодня из большого количества существующих способов формирования воздушных промежутков к наиболее перспективным можно отнести надувные конструкции, как опирающиеся на нижний заряд ВВ, так и распирающиеся на стенках скважины, а также сборные конструкции, состоящие из штока, опоры и удерживающей верхний заряд «чаши». Данное утверждение основано на анализе современного опыта формирования воздушных промежутков и проведении опытных испытаний с различными конструкциями описанных устройств в различных условиях применения в Республике Казахстан. На производственных участках НПП «Интеррин» в настоящее время производится внедрение конструкций скважинных зарядов с воздушными промежутками с помощью различных устройств. Более широкое применение конструкций скважинных зарядов с воздушными промежутками, конечно, не может решить всех проблем оптимизации параметров БВР, но на этом пути возможно решить и проблемы, связанные с рассредоточением зарядов в условиях обводненных скважин, а также другие задачи.

Литература

1. Воздушные промежутки как способ управления действием взрыва / С. А. Федоров и др. // Взрывное дело. — № 54/11. — М.: Недра, 1964. — С. 153 — 157.

2. *Лавров Г. М.* Об одном из способов фиксации зарядов в скважине / Г. М. Лавров, А. В. Григорьев // Взрывное дело. — № 89/46. — М.: Недра, 1986. — С. 191 — 194.

3. Оптимизация взрывных работ на разрезах угольной компании «Кузбассразрезуголь» / И. Е. Сапрыкин и др. // Горный журнал. — 2006. — № 11. — С. 65 — 67.

4. *Кантор В. Х.* Разработка новых конструкций скважинных зарядов ВВ и способы их формирования / В. Х. Кантор // Взрывное дело. — № 97/54. — М.: ЗАО МВК по взрывному делу, 2007. — С. 101 — 110.

5. *Эстеров Я. Х.* Задачник по взрывным работам / Я. Х. Эстехов, Г. А. Васильев: учеб. пособие. — М.: Недра, 1967. — 140 с.

УДК 622.235.213

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАТРОНИРОВАННЫХ ВВ НА МИНИ-ЗАВОДАХ

Е. Н. Ольшанский, П. Г. Тамбиев

В настоящее время завершился этап механизации взрывных работ на шахтах и рудниках. Промышленностью освоено производство малочувствительных гранулированных ВВ для пневмозаряжания шпуров и скважин на подземных работах, в основном гранулитов АС-4 и АС-8. На мини-заводах, построенных при горных предприятиях, налажен выпуск гранулированных ВВ собственного изготовления: гранулитов А, А6, игданита. Разработаны различные типы пневмозарядчиков, эксплуатация которых доказала их безопасность и эффективность.

Использование дешевых и относительно безопасных гранулированных ВВ собственного изготовления позволило снизить трудозатраты и стоимость взрывных работ. Однако на этом разработка новых инновационных технологий приостановилась. Объемы применения патронированных ВВ заводского изготовления остались достаточно большими. Даже на шахтах и рудниках, полностью перешедших на гранулированные ВВ собственного изготовления, объем закупаемых патронированных ВВ остается достаточно большим — не менее 20 % общего расхода ВВ. Такое положение сложилось на Соколовском, Риддерском, Малеевском, Жезкентском, а до недавнего времени и Жезказганском рудниках. Потребность в применении заводских патронированных ВВ (в основном аммонита 6ЖВ) объясняется необходимостью их использования в качестве боевиков и промежуточных детонаторов для инициирования зарядов малочувствительных ВВ, а иногда и в качестве основного заряда.

Однако стоимость заводских патронированных ВВ продолжает оставаться высокой вследствие применения дорогостоящей технологии с помолом и сушкой селитры на бегунах с паровым подогревом, последующим измельчением селитры в дезинтеграторах и вторичной сушкой в сушильных барабанах горячим воздухом. Измельчение тротила производится в деревянных барабанах с помощью лигностоновых шаров. Измельченные компоненты просеиваются, селитра и тротил, не прошедшие контрольные сита, возвращаются на повторное измельчение. Дополнительным фактором, удорожающим производство, является применение электроприводов и систем управления во взрывозащищенном исполнении.

Тонкий совместный помол и смешивание компонентов производится в деревянных шаровых мельницах. В результате рабочая фракция аммонита, который поступает на патронирование, имеет следующий гранулометрический состав [1]:

— селитра должна полностью проходить через сито № 15 (размер зерен до 0,3 мм);

— тротил должен полностью проходить через сито № 3 (размер зерен до 2 мм).

Подобная фракция с содержанием селитры 79 ± 1,5 % и тротила 21 ± 1,5 % соответствует нормам ГОСТ 21984, уплотняется в бумажной и полиэтиленовой оболочке до плотности 1,0 — 1,2, передает детонацию на расстояние 3 — 5 см, имеет критический диаметр в открытом заряде 10 — 13 мм и скорость детонации 3,6 — 4,8 км/с.

На рудниках золотодобывающей и редкоземельной промышленности с мелкошпуровой отбойкой и относительно небольшим расходом ВВ приобретение патронированных ВВ заводского изготовления выливается порой в нерешаемую проблему. Поскольку минимальная партия, отгружаемая с завода, составляет 40 т, этого количества ВВ может хватить на несколько лет работы рудника или шахты. При этом ВВ приходится размещать на хранение совместно с другими видами ВВ, а для этого необходимо иметь резервные площади складских помещений, которых зачастую рудники не имеют. Другой проблемой для шахт и рудников является ухудшение качества патронированных ВВ при длительном хранении и ограниченные сроки хранения.

Таким образом, существующая в настоящее время технология ведения взрывных работ с использованием патронированных ВВ заводского изготовления повышает стоимость добычи полезных ископаемых, снижает прибыльность, а иногда делает нерентабельным работу шахты или рудника. В Казахстане за последнее время построено и введено в эксплуатацию достаточно большое число мини-заводов ВВ при горных предприятиях и стало очевидным, что разработка специализированной малозатратной технологии патронирования ВВ, применимой на мини-заводах, позволила бы сократить затраты на взрывные работы. Технология патронирования должна быть универсальной, чтобы патроны диаметром 32 — 90 мм изготовлялись за одну — максимум две операции. Качество патронов должно быть таким, чтобы они устойчиво детонировали в шпурах, скважинах и открытых зарядах от штатных средств инициирования. В качестве взрывчатого состава может быть использована смесь аммиачной селитры и тротила, аналогичная аммониту 6ЖВ.

В основу универсальной технологии может быть положен принцип пневмопатронирования гранулированных ВВ порционными пневмозарядчиками, который позволяет отмерить заданную дозу, разогнать ее до расчетной скорости в разгонном трубопроводе и уложить в полиэтиленовую оболочку с одновременным измельчением гранул в порошок и уплотнением ВВ. Качество изготавливаемых таким образом патронов должно соответствовать требованиям действующих стандартов.

Известно, что взрывные характеристики смеси аммиачной селитры (79 ± 1,5 %) и тротила (21 ± 1,5 %) в составе аммонита 6ЖВ во многом зависят от размеров частиц компонентов. В определенных условиях имеет значение не только абсолютный размер частиц, но и соотношение между размерами частиц разных компонентов [2]. Существенное влияние оказывает дисперсность ВВ. Тротил с размером частиц 0,01 мм имеет критический диаметр 9 мм, а при частицах 0,5 мм — 28 мм. При простом смешивании селитры и тротила критический диаметр аммонита составляет 20 мм, а при обработке этой же смеси в шаровой мельнице в течение двух часов критический диаметр уменьшается до 8 мм. Все грубоди-

сперсные ВВ имеют гораздо большие критические диаметры, чем тонкодисперсные ВВ того же состава [3].

Критический диаметр для смесевых ВВ типа аммонита зависит и от процентного содержания компонентов. Так с уменьшением содержания тротила в аммонитах с 21 до 5 % их критический диаметр увеличивается с 12 до 25 мм. При дальнейшем увеличении доли аммиачной селитры критический диаметр резко возрастает до 80 — 100 и более мм.

Плотность по-разному влияет на скорость детонации. С увеличением плотности до 1,2 г/см скорость детонации возрастает и достигает максимума для аммонита. При дальнейшем увеличении плотности наблюдается спад скорости детонации. При этом критический диаметр увеличивается.

Известно, что величина зерна ВВ, по которому распространяется детонация, уменьшается при увеличении плотности заряда [4]. При некоторых размерах зерен ВВ (0,2 — 0,4 мм) наблюдается уменьшение критического диаметра заряда и увеличение скорости детонации; это доказывает, что данному размеру зерна соответствует плотность 1,2 г/см^3, при которой и наблюдается наиболее полное возбуждение и распространение детонации. При этом детонационная способность значительно снижается как при недоуплотнении, так и при переуплотнении зарядов из аммиачно-селитренных смесей.

Для определения оптимальных параметров потока ВВ, способствующего подобному измельчению и уплотнению гранул, изучен процесс пневмопатронирования в оболочку. Установлено, что измельчение гранул происходит в два этапа. На первом этапе происходит аэровзвешивание гранул, разгон и частичное дробление в результате соударения гранул между собой и с внутренней поверхностью разгонного трубопровода. На втором этапе происходит доизмельчение гранул в процессе их удара на границе укладываемого в патрон слоя ВВ. При этом количество движения, приобретаемое гранулами ВВ в потоке сжатого воздуха, является главным фактором, определяющим качество изготовленного патрона, т. е. степень измельчения и дисперсный состав ВВ в патроне и в соответствии с этим его взрывчатые свойства: чувствительность к инициирующему импульсу, полноту и скорость детонации, передачу детонации на расстояние.

Для определения основных показателей технологии пневмопатронирования гранулированных ВВ в оболочку определенного диаметра была разработана соответствующая методика.

Известно, что толкающее действие потока, действующее на гранулу, тем больше, чем больше его скорость при условии постоянного давления сжатого воздуха. Факторы, определяющие давление потока ВВ, могут быть установлены на основании теоремы о равенстве количества движения импульсу силы [5]

$$mv = P_1 S_п t, \qquad (1)$$

где m — масса потока ВВ;

v — скорость движения потока ВВ после разгона;

P_1 — давление потока ВВ на единицу поверхности сечения патрона;
$S_п$ — площадь поперечного сечения патрона;
t — время действия силы потока ВВ.

Разделим обе части уравнения (1) на t и выразим отношение m/t через производительность пневмозарядчика П. Найдем P_1 из уравнения

$$P_1 = \frac{\Pi v}{S_п}. \qquad (2)$$

С другой стороны, исходя из условий пневмопатронирования, давление потока ВВ на единицу поверхности сечения патрона P_2 прямо пропорционально усилию разрушения и уплотнения одной гранулы P_0, количеству гранул в летящем слое $\frac{S_п K_ρ}{S_г}$ и обратно пропорционально сечению патрона $S_п$.

$$P_2 = \frac{P_0 S_п K_ρ}{S_г S_п} = \frac{P_0 K_ρ}{S_г}, \qquad (3)$$

где $K_ρ$ — коэффициент объемной концентрации (плотность потока);
$S_г$ — площадь поперечного сечения гранулы (усредненная).

Исходя из условий равенства левых частей уравнений (2) и (3) имеем

$$\frac{\Pi v}{S_п} = \frac{P_0 K_ρ}{S_г}, \qquad (4)$$

откуда расчетная скорость потока $v_р$, необходимая по условию измельчения и уплотнения ВВ в патроне, определяется по формуле

$$v_р = \frac{P_0 S_п K_ρ}{\Pi S_г}. \qquad (5)$$

Для установления расчетной скорости потока $v_р$ значения входящих в формулу (5) величин определяют следующим образом . Определяют диаметр гранул микрометром. Динамометром сжатия определяют усилие раздавливания этих гранул P_0. Проводят серию замеров, результаты сводят в таблицу. По каждому замеру определяют площадь поперечного сечения гранул $S_г$ и отношение $P_0/S_г$ и для расчета выбирают наибольшее его значение из табличных данных.

Производительность определяют по массе порции ВВ и продолжительности ее укладки в патрон.

Коэффициент объемной концентрации (плотность потока) определяют по формуле

$$K_ρ = \frac{V_{ВВ}}{V_в + V_{ВВ}}, \qquad (6)$$

где $V_{ВВ}$ — расход ВВ в объемных единицах;

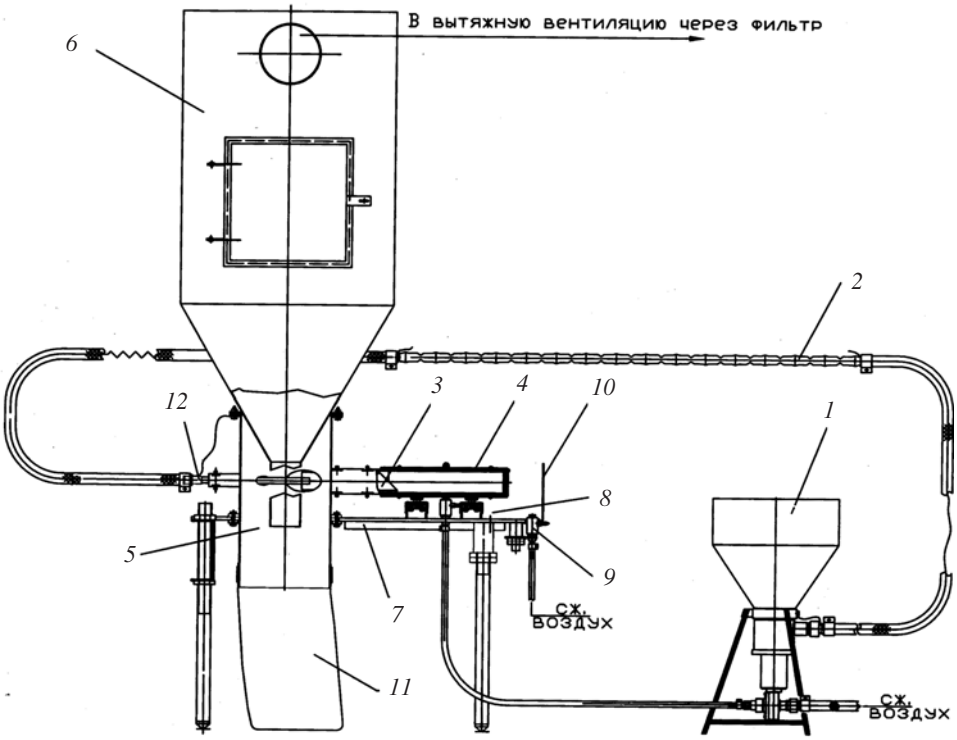
$V_в$ — расход сжатого воздуха в объемных единицах.

$V_{ВВ}$ определяют по формуле

$$V_{ВВ} = П/q, \qquad (7)$$

где q — объемный вес ВВ.

Руководствуясь данной методикой научно-производственное предприятие «Интеррин» разработало установку УПП (см. рисунок) для пневмопатронирования гранулированных ВВ в полиэтиленовую оболочку диаметром 32 — 90 мм с измельчением гранул и уплотнением ВВ в патроне до плотности 1,12 — 1,21 г/см^3. Установка УПП включает в себя порционный пневмозарядчик *1*, соединенный выпускным патрубком с разгонным трубопроводом *2*, заканчивающимся насадком *3*, помещенным внутрь разъемной гильзы *4*, чья внутренняя полость соединена воздуховодом с циклоном *5* и расположенной над ним компенсирующей емкостью *6*. Гильза *4* закреплена на столе *7* с кнопкой управления *8*, пневмокнопкой для раздува оболочки *9* и защитным экраном *10*. Циклон *5* имеет посадочное место для герметичного крепления полиэтиленового мешка *11*. Разгонный трубопровод *2* соединен с насадком *3* через воздухоподводящую трубку *12*.



Установка УПП

Установка УПП работает следующим образом. Зарядчик *1* подключают к источнику сжатого воздуха. В загрузочную воронку зарядчика засыпают 30 — 40 кг граммонита 79/21. Гильзу *4* открывают, на насадок *3* надевают открытым концом полиэтиленовую оболочку соответствующего диаметра, гильзу *4* закрывают. Включают кнопку *8*. Зарядчик *1* отмеряет заранее установленную порцию ВВ и выдувает ее в смеси со сжатым воздухом через разгонный трубопровод *2*, трубку *12* и насадок *3* в полиэтиленовую оболочку. Частично измельченные в тракте *2* гранулы ВВ укладываются в оболочку, сталкиваясь и дробясь на границе укладываемого слоя. Отделившийся от ВВ сжатый воздух поступает в циклон *5* и компенсирующую емкость *6*. За счет мгновенного расширения скорость сжатого воздуха падает практически до нуля, в результате чего тонкодисперсные остатки ВВ, вынесенные с потоком сжатого воздуха, отделяются от него и падают в мешок *11*. Гильзу *4* открывают, извлекают патрон и надевают на насадок *3* новую оболочку. Пневмокнопка *9* используется для раздува слипшихся оболочек. Защитный экран *10* предохраняет персонал от последствий возможного порыва оболочки в момент пневмопатронирования.

По мере изготовления патроны собирают в партию и отправляют на маркировку и клипсование. В открытый конец полиэтиленовой оболочки закладывают маркировочную этикетку, конец подворачивают и фиксируют липкой лентой. Отходы в виде тонкодисперсной фракции ВВ, собираемой в мешок *11*, составляют около 10 % массы патрона.

Для изготовления патронов другого диаметра заменяют гильзу *4* гильзой соответствующего диаметра и изменяют порцию ВВ, дозируемую зарядчиком *1*.

В качестве источника сжатого воздуха для установки УПП может применяться компрессор производительностью от 2 м^3/мин. Условием, обеспечивающим качество изготавливаемых патронов, является соответствие фактической скорости разгона ВВ $v_ф$ расчетной скорости потока $v_р$, определяемой по формуле (5). Поскольку фактическая скорость может отличаться от расчетной скорости, предусмотрена замена воздухоподводящей трубки *12* трубкой с отверстием, позволяющим откорректировать скорость потока исходя из известного соотношения [6]

$$S_р v_р = S_ф v_ф, \tag{8}$$

где $S_ф$ и $v_ф$ — соответственно, фактическая площадь сечения воздухоподводящей трубки *12* и фактическая скорость потока, замеряемая фотометрическим или иным способом; $S_р v_р$ — те же расчетные показатели.

Для приведения фактических показателей к расчетным подбирается воздухоподводящая трубка *12* с отверстием, диаметр которого определяется из формулы

$$d_р = \sqrt{\frac{v_ф d_ф}{v_р}}, \tag{9}$$

где $d_ф$ — диаметр разгонного трубопровода.

Практическое применение полученных данных позволило подобрать комплектные пары разъемных гильз и воздухоподводящих трубок для изготовления патронов определенного диаметра (от 32 до 36; 50; 70 и 90 мм). Соответствующим образом подготовлены и пневмозарядчики с массой дозируемой порции от 200 до 3000 г ВВ. В результате удалось добиться стабилизации процесса измельчения и уплотнения ВВ при изготовлении патронов различного диаметра. На границу укладываемого слоя гранулы попадают с величиной *mv*, способствующей их измельчению и уплотнению с характеристиками, близкими к заданным. Ситовый анализ показал следующую дисперсность измельчения ВВ:

	Размеры частиц, мм			
	<0,4	<0,6	<1,0	>1,5 — 2,0
Содержание частиц, %	42 — 55	28 — 34	15 — 17	4 — 5

Плотность ВВ в патроне находится в диапазоне от 1,12 до 1,21 г/см^3.

Таким образом, установка УПП соответствует разработанной технологии, позволяет за одну операцию изготавливать патроны из гранулированных ВВ с нормативным измельчением гранул и уплотнением, обеспечивающим требуемую детонационную способность.

Техническая характеристика установки УПП:

Диаметр изготавливаемых патронов, мм	32 — 90
Масса патрона, г	200 — 3000
Плотность ВВ в патроне, г/см^3	1,12 — 1,21
Отклонение массы от нормы, %	±4
Производительность установки, шт/мин	4 — 6
Давление сжатого воздуха, атм	5 — 6
Расход сжатого воздуха, м^3/т	150
Габаритные размеры установки, мм:	
длина	3000
ширина	800
высота	700
Масса установки, кг	100
Емкость загрузочной воронки зарядчика, кг	50

Испытания изготавливаемых патронов показывают, что они соответствуют предъявляемым к ним требованиям на чувствительность к инициирующему импульсу, полноту и скорость детонации. Критический диаметр патронов составляет 18 — 20 мм при расстоянии передачи детонации 2 см. Такие показатели вполне удовлетворяют условиям ведения взрывных работ на шахтах и рудниках. При этом технология патронирования значительно упрощается по сравнению с традиционно применяемой технологией и достаточно легко осваивается мини-заводами.

По разработанной технологии производятся патроны на нескольких предприятиях. Так в ТОО «Корпорация Казахмыс» цех по изготовлению патронированных ВВ производит до 1000 т в год. Изготавливаемые патроны диаметром 34 мм применяются на очистных и проходческих работах, а также при вторичном взрывании.

Карагайлинский производственный участок НПП «Интеррин» изготавливает до 200 т патронов диаметром 34, 50 и 70 мм в год. Патроны применяются в качестве боевиков на открытых и подземных работах, а также в качестве основных зарядов при проходке траншей, обрушении зданий, разрушении фундаментов и т. п.

Высокая эффективность технологии пневмопатронирования ВВ достигается за счет того, что изготавливаемые патроны по условиям применения аналогичны патронам аммонита 6ЖВ, а по стоимости значительно дешевле. Технология пневмопатронирования проста, малозатратна, не требует высокозатратных операций помола, сушки, измельчения компонентов в отдельности, совместного помола в деревянных шаровых мельницах с последующим патронированием порошка в оболочки. В технологии пневмопатронирования все эти процессы совмещены в одной достаточно простой и дешевой операции.

Установка УПП и технология пневмопатронирования гранулированных ВВ разрешены к применению в установленном порядке и защищены патентом России и предпатентами Республики Казахстан [7, 8 и 9].

Литература

1. Технологический процесс производства аммонитов на заводах взрывчатых веществ. — М.: Углетехиздат, 1947.

2. *Дубнов Л. В.* Промышленные взрывчатые вещества / Л. В. Дубнов, Н. С. Бахаревич, А. И. Романов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1988. — 358 с.

3. *Кутузов Б. Н.* Разрушение горных пород взрывом: учебник для вузов / Б. Н. Кутузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГГУ, 1992. — 516 с.

4. *Апин А. Я.* О критических диаметрах зарядов ВВ и скорости детонации гексогена / А. Я. Апин, Н. Ф. Велина // Взрывное дело. — № 63/20. — М.: Недра, 1967. — С. 5 — 35.

5. *Коняев Ю. П.* К вопросу пневмозаряжания восстающих скважин большого диаметра гранулированными ВВ / Ю. П. Коняев, И. Л. Забудкин // Рекомендации и инструктивные указания по применению гранулированных ВВ с комплексной механизацией погрузочно-разгрузочных, складских, транспортных и зарядных работ для предприятий Казминцветмета: ч. II. — Алма-Ата: Изд-во МЦМ КазССР, 1972.

6. *Архангельский М. М.* Курс физики. Механика / М. М. Архангельский. — М.: Просвещение, 1975. — 256 с.

7. Предпатент № 4236 Республика Казахстан, С06В 21/00. Способ патронирования гранулированных и эмульсионно-гранулированных взрывчатых веществ и устройство для его осуществления / Е. Н. Ольшанский, Г. И. Тамбиев. — 1995.

8. Патент № 2111942 Российская Федерация С06В 21/00. Устройство для патронирования гранулированных взрывчатых веществ / К. Н. Трубецкой, И. В. Милетенко, А. А. Вахотин, В. Ю. Фадеев, Г. И. Тамбиев, В. Н. Аграфенин, Е. Н. Ольшанский. — 1998.

9. Предпатент № 10660 Республика Казахстан, С06В 21/10. Устройство для патронирования гранулированных взрывчатых веществ / Е. Н. Ольшанский, Г. И. Тамбиев, О. Г. Никитин. — 2001.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аленичев Виктор Михайлович, д.т.н., проф., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Антипин Юрий Георгиевич, Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Антонинова Наталья Юрьевна, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аптуков Валерий Нагимович, д.т.н., Пермский государственный университет, г. Пермь, Россия

Артемьев Эдуард Петрович, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Бажанов Булат Баймуратович, ТОО НПП «Интеррин», г. Алматы, Казахстан

Балек Александр Евгеньевич, д.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Баранов Игорь Вячеславович, ГУ «Научно-исследовательский горнорудный институт», г. Кривой Рог, Украина

Бахтурин Юрий Алексеевич, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Беляев Виктор Леонидович, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Близнюков Виктор Григорьевич, д.т.н., проф., лауреат Государственной премии Украины, ГУ«Научно-исследовательский горнорудный институт», г. Кривой Рог, Украина

Бобров Владимир Павлович, ОАО «Качканарский ГОК «Ванадий», г. Качканар, Россия

Боликов Владимир Егорович, д.т.н., проф., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Бондаренко Владимир Ильич, д.т.н., проф., Национальный горный университет, г. Днепропетровск, Украина

Борисков Федор Федорович, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Бояндинова Асия Адылкановна, к.т.н., Институт горного дела им. Д. А. Кунаева, г. Алматы, Казахстан

Булат Анатолий Федорович, д.т.н., академик НАН Украины, ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск, Украина

Вождаев Анатолий Викторович, Донской ГОК-филиал АО «ТНК «Казхром», г. Хромтау, Казахстан

Волков Юрий Владимирович, д.т.н., проф., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Галкин Владимир Алексеевич, д.т.н., проф., ОАО «НТЦ-НИИОГР», г. Челябинск, Россия

Галиев Сейтгали Жолдасович, д.т.н., проф., Институт горного дела им. Д. А. Кунаева, г. Алматы, Казахстан

Гилев Михаил Васильевич, ОАО «Сильвинит», г. Соликамск, Россия

Глебов Андрей Валерьевич, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Дриженко Анатолий Юрьевич, д.т.н., проф., лауреат Государственной премии Украины, Национальный горный университет, г. Днепропетровск, Украина

Дубских Александр Валентинович, ОАО «Качканарский ГОК «Ванадий», г. Качканар, Россия

Ефремов Эрнест Иванович, д.т.н., член-корр. НАН Украины, ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск, Украина

Жариков Сергей Николаевич, Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Желуницин Юрий Петрович, НПО «Самаравзрывтехнология», г. Самара, Россия

Журавлев Артем Геннадьевич, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Зальцзейлер Ольга Владимировна, Березниковский филиал ОАО «Уральский научно-исследовательский и проектный институт галургии», г. Березники, Россия

Захаров Иван Петрович, к.т.н., ООО «Бакальское рудоуправление», г. Бакал, Россия

Зорин Александр Владимирович, к.г.н., Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия

Зотеев Олег Вадимович, д.т.н., проф., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Зубков Альберт Васильевич, д.т.н., проф., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Исаков Сергей Владимирович, к.т.н., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Кавышкин Владимир Павлович, ООО «Восточно-Бейский разрез», п. Кирба, Хакасия, Россия

Кайгородов Виталий Александрович, ОАО «Качканарский ГОК «Ванадий», г. Качканар, Россия

Кайгородов Сергей Александрович, ОАО «Качканарский ГОК «Ванадий», г. Качканар, Россия

Кармаев Геннадий Дмитриевич, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Конорев Михаил Максимович, д.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Константинова Светлана Александровна, д.т.н., проф., ОАО «Уральский научно-исследовательский и проектный институт галургии», г. Пермь, Россия

Корнилков Сергей Викторович, д.т.н., проф., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Косарев Николай Петрович, д.т.н., проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Костин Александр Львович, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Котяшев Альберт Александрович, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Лаптев Юрий Викторович, д.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Липин Яков Иванович, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Лузин Павел Николаевич, ОАО «Комбинат «Магнезит», г. Сатка, Россия

Макаров Владимир Николаевич, д.т.н., проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Мальченко Владимир Иванович, Национальный горный университет, г. Днепропетровск, Украина

Мартынюк Петр Александрович, к.ф.-м.н., Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Маторин Анатолий Степанович, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Маттис Альфред Робертович, д.т.н., Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Мерзляков Андрей Федорович, Пермский государственный университет, г. Пермь, Россия

Мусихина Ольга Владимировна, к.т.н., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Напольских Сергей Александрович, ОАО « Высокогорский ГОК», г. Нижний Тагил, Россия

Нестеренко Геннадий Филиппович, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Ольшанский Евгений Николаевич, д.т.н., член-корр. МАИ, ТОО НПП «Интеррин», г. Алматы, Казахстан

Опарин Виктор Николаевич, д.ф.-м.н., член-корр. РАН, Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Павлов Александр Иванович, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Павлов Валерий Анатольевич, Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Панжин Андрей Алексеевич, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Пилов Петр Иванович, д.т.н., проф., лауреат Государственной премии Украины, Национальный горный университет, г. Днепропетровск, Украина

Полещук Марина Николаевна, ОАО «НТЦ-НИИОГР», г. Челябинск, Россия

Рождественский Владимир Николаевич, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Рыбак Светлана Александровна, Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Саканцев Георгий Григорьевич, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Саканцев Михаил Григорьевич, д.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Сашурин Анатолий Дмитриевич, д.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Семкичёв Сергей Владимирович, ОАО «Комбинат «Магнезит», г. Сатка, Россия

Сердюков Сергей Владимирович, д.т.н., Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Синицын Виктор Александрович, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Скачков Андрей Павлович, Пермский государственный университет, г. Пермь, Россия

Смирнов Сергей Михайлович, к.т.н., ОАО «Восточный научно-исследовательский горнорудный институт», г. Новокузнецк, Россия

Соколов Игорь Владимирович, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Соколовский Александр Валентинович, к.т.н., ОАО «НТЦ-НИИОГР», г. Челябинск, Россия

Спирченков Алексей Валерьевич, ОАО «Комбинат «Магнезит», г. Сатка, Россия

Стариков Андрей Дмитриевич, к.т.н., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Столяров Владимир Федорович, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Сухов Рудольф Иванович, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Тамбиев Геннадий Иванович, д.т.н., ТОО НПП «Интеррин», г. Алматы, Казахстан

Тамбиев Петр Геннадьевич, ТОО НПП «Интеррин», г. Алматы, Казахстан

Тарасов Петр Иванович, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Терещенков Андрей Анатольевич, Тейский филиал ОАО «Евразруда» п. Вершина Теи, Хакасия, Россия

Титов Роман Сергеевич, Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Третьяк Анатолий Викторович, Донской ГОК филиал АО ТНК «Казхром», г. Хромтау, Казахстан

Уманский Алексей Борисович, аспирант, Уральский государственный технический университет (УПИ), г. Екатеринбург, Россия

Франтов Александр Евгеньевич, к.т.н., ИПКОН РАН, г. Москва, Россия

Хасаншин Риян Рифнурович, ОАО « Уральский научно-исследовательский и проектный институт галургии», г. Пермь, Россия

Чаговец Галина Алексеевна, Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Чайкина Галина Михайловна, к.б.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Чернопазов Сергей Андреевич, д.н.т., ОАО «Уральский научно-исследовательский и проектный институт галургии», г. Пермь, Россия

Ческидов Владимир Иванович, к.т.н., Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Четверик Михаил Сергеевич, д.т.н., проф., ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск, Украина

Шеменев Валерий Геннадьевич, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Яковлев Виктор Леонтьевич, д.т.н., член-корр. РАН, Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

СОДЕРЖАНИЕ

О научно-организационной и инженерной деятельности профессора, доктора технических наук Михаила Владимировича Васильева (к 100-летию со дня рождения). *Трубецкой К. Н., Яковлев В. Л.* 3
М. В. Васильев — создатель Института горного дела. *Куклин И. С.* 15
М. В. Васильев — основатель уральской научной школы по карьерному транспорту. *Зубрилов Л. Е.* 17
Двадцать лет совместной работы с М. В. Васильевым. *Щелканов В. А.* 20
Содружество с М. В. Васильевым в начале творческого пути. *Хохряков В. С.* 22
Основные печатные труды М. В. Васильева 25
Корнилков С. В., Глебов А. В., Панжин А. А. Современное состояние и перспективы развития Института горного дела УрО РАН 29
Бобров В. П. Качканарский ГОК — базовое предприятие для внедрения разработок Института горного дела 37
Лузин П. Н., Спирченков А. В., Семкичёв С. В. ОАО «Комбинат «Магнезит» и Институт горного дела, многолетний опыт сотрудничества 40
Захаров И. П. Бакальские рудники в XXI веке 43
Напольских С. А. О состоянии и перспективах развития ОАО «Высокогорский ГОК» 45
Косарев Н. П., Макаров В. Н. Научно-производственные кластеры — мультипликатор эффективности комплексного недропользования 48
Корнилков С. В., Стариков А. Д., Исаков С. В., Беляев В. Л., Мусихина О. В., Костин А. Л. Оценка перспектив развития открытой добычи хромитовых руд на Урале 58
Опарин В. Н., Маттис А. Р., Ческидов В. И. Состояние и перспективы открытой добычи твердых полезных ископаемых на месторождениях Сибири 67
Близнюков В. Г., Баранов И. В. Наука в решении проблем горнорудной отрасли 75

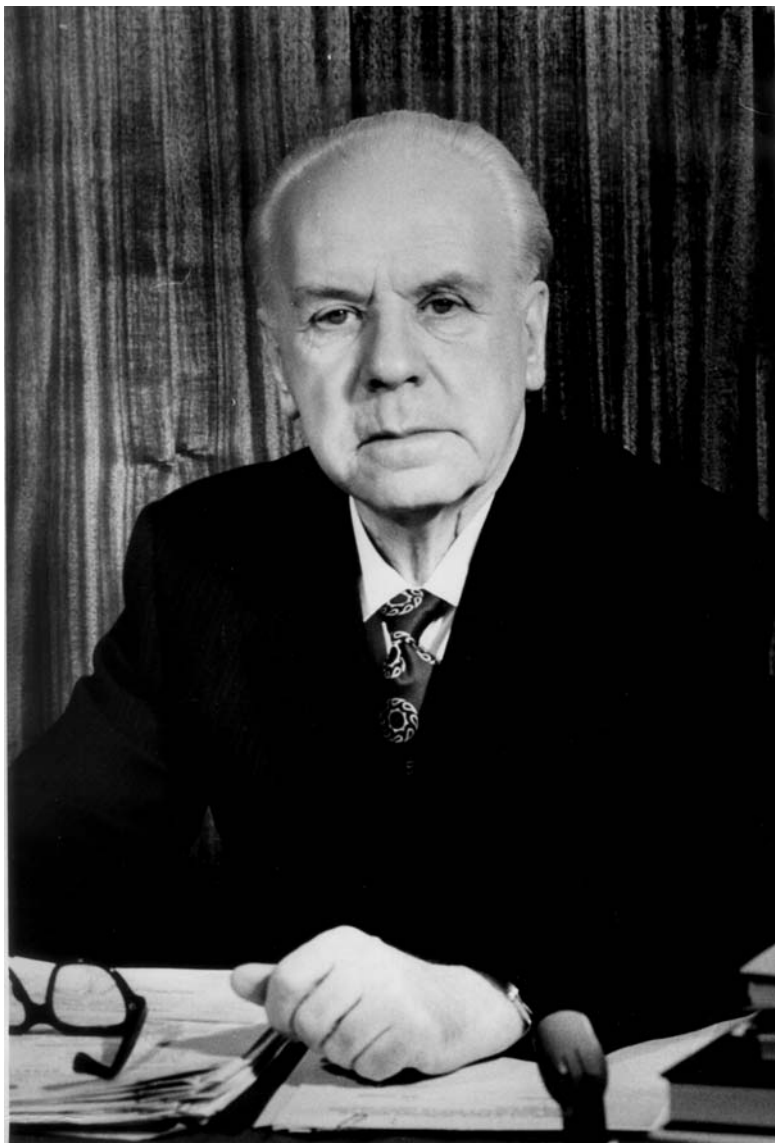
Геотехнология, геотехника и геоэкология

Яковлев В. Л., Саканцев М. Г., Саканцев Г. Г. Перспективные технологии разработки уральских месторождений открытым способом с учетом условий их залегания и освоения 82
Волков Ю. В., Соколов И. В., Антипин Ю. Г., Чаговец Г. А. Обоснование эффективности этажно-камерной системы разработки с увеличенными геометрическими параметрами и предохранительными целиками 90
Дриженко А. Ю. Почвоуступная выемка пород вскрыши крутонаклонными слоями при открытой разработке крутопадающих железорудных месторождений 96
Галиев С. Ж., Бояндинова А. А. Автоматизированное управление геотехнологическими комплексами на открытых разработках 102
Галкин В. А., Кавышкин В. П., Полещук М. Н., Соколовский А. В. Организационно-технологические резервы в автомобильно-экскаваторном комплексе 110
Боликов В. Е., Рыбак С. А., Третьяк А. В. Комбинированная технологическая схема проходки стволов в тектонически напряженном массиве горных пород. 114
Лаптев Ю. В., Титов Р. С. Управление качеством минерального сырья на ОАО «Комбинат «Магнезит» в условиях дефицита рудной базы 119
Булат А. Ф., Ефремов Э. И., Четверик М. С. Перспективные направления развития циклично-поточной технологии на глубоких карьерах 126
Столяров В. Ф. Тенденции горно-промышленных систем карьеров 129
Смирнов С. М., Терещенков А. А. Технология отстройки бортов и откосов уступов при отработке глубоких горизонтов Тейского карьера 133
Бондаренко В. И., Пилов П. И., Мальченко В. И. Технология и оборудование для окускования угольных и торфяных шламов 138
Яковлев В. Л. О роли научного прогноза технического прогресса и технологического развития в горной промышленности 144
Павлов А. И. Современное состояние карьерного транспорта на железорудных карьерах РФ 148
Бахтурин Ю. А. Вопросы долгосрочного прогнозирования развития транспортных систем карьеров 156

Тарасов П. И., Журавлев А. Г. Технологическая целесообразность и техническая возможность создания и применения на открытых горных работах специализированных транспортных средств 163
Глебов А. В., Кармаев Г. Д. Учет фактора времени при оценке оптимального срока службы карьерных самосвалов 172
Зубков А. В. Карьерный автосамосвал ИГД УрО РАН 177
Конорев М. М. К вопросу нормализации атмосферы карьеров 181
Чайкина Г. М. Экологические аспекты освоения георесурсов в сложных природно-климатических условиях 188
Нестеренко Г. Ф. К решению проблемы обеспечения безопасности жизнедеятельности экосистемы карьер — окружающая среда 194
Зорин А. В. Возможные пути нормализации атмосферы карьеров 200
Борисков Ф. Ф. Комплексная утилизация жидких и твердых отходов при разработке месторождений медноколчеданных руд 203
Антонинова Н. Ю. Исследования по экологической реабилитации территорий установок кучного выщелачивания золота 208

Геомеханика и разрушение горных пород

Сашурин А. Д. Геомеханика природных и техногенных катастроф при недропользовании 212
Гилев М. В., Константинова С. А., Хасаншин Р. Р., Чернопазов С. А. Перспективная геодинамическая оценка совместного влияния горно-геологических условий и проектных параметров системы отработки на одном из участков Верхнекамского месторождения 217
Липин Я. И., Зубков А. В. Геомеханически обоснованная геотехнология — надежный путь повышения безопасности и эффективности горных работ на длительную перспективу 227
Балек А. Е. Управление напряженно-деформированным состоянием скального массива при подземной разработке 231
Панжин А. А., Вождаев А. В. О результатах исследования геодинамики породного массива на шахтах Донского ГОКа 236
Аптуков В. Н., Зальцзейлер О. В., Мерзляков А. Ф., Скачков А. П. Сравнительная оценка прочностных и деформационных характеристик образцов сильвинита и каменной соли Верхнекамского месторождения 241
Павлов В. А., Сердюков С. В., Мартынюк П. А. Развитие метода измерительного гидроразрыва применительно к оценке напряженного состояния массива высокопроницаемых горных пород 247
Зотеев О. В., Зубков А. В. Геомеханическое обоснование возможности отработки алмазоносных месторождений Якутии системами с обрушением руды и вмещающих пород 252
Аленичев В. М., Уманский А. Б. Построение цифровой модели месторождения с учетом динамической корреляционной связности признаков 255
Котяшев А. А., Маторин А. С., Синицын В. А., Шеменев В. Г. Исследование свойств горных пород в естественном залегании для разработки рациональных параметров БВР 262
Франтов А. Е., Желунщин Ю. П. Новые решения в технике и технологии взрывных работ 267
Артемьев Э. П., Рождественский В. Н., Кайгородов В. А., Кайгородов С. А. Дубских А. В. Влияние формы и величины подпорной стенки на параметры развала взорванной горной массы при дроблении вязких пород карьеров ОАО «Ванадий» 271
Сухов Р. И. Основные направления интенсификации бурения взрывных скважин 275
Жариков С. Н. О перспективах использования данных шарошечного бурения скважин на карьерах для определения рациональных параметров БВР 278
Бажанов Б. Б. Способы формирования воздушных промежутков в колонке скважинного заряда ВВ 283
Ольшанский Е. Н., Тамбиев П. Г. Разработка технологии изготовления патронированных ВВ на мини-заводах 287
Сведения об авторах 295



Михаил Владимирович Васильев —
директор Института горного дела
с 1962 по 1985 г.

Анна Васильевна —
супруга
М. В. Васильева

Сыновья Анны Васильевны
и Михаила Владимировича Васильевых
Станислав и Владислав, 1943 г.

ИГД УФАН СССР на праздничной демонстрации (1962 г.)

М. В. Васильев в рабочем кабинете
(ул. С. Ковалевской, 14)

М. В. Васильев
на «боевом посту»
(ул. С. Ковалевской, 14)

На оперативном совещании у директора М. В. Васильева. Выступает В. А. Щелканов. Сидят (слева направо): В. Л. Яковлев, В. М. Сенук, И. С. Куклин, Г. И. Ворошилин, А. И. Устьянцев, Е. М. Денисов

Отдел карьерного транспорта во главе с директором института М. В. Васильевым и зав. отделом В. Л. Яковлевым на субботнике — строительстве здания на ул. Мамина-Сибиряка, 58 (1974 г.)

М. В. Васильев с коллективом лаборатории карьерного транспорта, 1970 г.

М. В. Васильев среди своих учеников — сотрудников отдела карьерного транспорта, 1980 г.

С академиком Н. В. Мельниковым
в президиуме II Всесоюзной научно-технической конференции
по карьерному транспорту (1966 г.)

Президиум III Всесоюзной конференции по карьерному транспорту, 1973 г.
Слева направо: М. М. Горшколепов, М. А.Сергеев,
М. В. Васильев, В. А. Щелканов, М. Г. Потапов, Б. Н. Тартаковский

Интервью М. В. Васильева для прессы во время конференции
по карьерному транспорту, 1978 г.

Президиум V Всесоюзной научно-технической конференции
по карьерному транспорту, Свердловск, 1984 г.
(В. Б. Демкин, В. Л. Яковлев, В. Л. Колибаба,
М. В. Васильев, Ю. С. Ожигов, М. Г. Потапов и др.)

Участники IV конференции по карьерному транспорту, г. Свердловск, 1978 г.

Участники IV Всесоюзной научно-технической конференции по карьерному транспорту на выставке нового оборудования, г. Свердловск, 1978 г.
Слева направо: М. В. Васильев, М. М. Горшколепов, З. Л. Сироткин, Б. И. Сатовский и др.

Участники совещания горняков, 1972 г.

Участники координационного совещания. Остановка под г. Асбестом, 1972 г.

Всесоюзное совещание «Теория и практика применения оборудования на открытых горных работах». Москва, ИПКОН. 6 — 8 марта 1986 г. *Слева направо*: Б. Н. Ласкорин, М. В. Васильев, Б. Д. Бронников, К. Н. Трубецкой, В. С. Хохряков

М. В. Васильев на месте строительства линии ЦПТ на Стойленском ГОКе, 1982 г.

М. В. Васильев с участниками совещания на месте строительства опытно-промышленного участка ЦПТ на ЦГОКе, Украина, 1983 г.

М. В. Васильева с 70-летием поздравляют сотрудники отдела карьерного транспорта

М. В. Васильева с юбилеем поздравляет Ю. С. Ожигов, ССГОК, Казахстан

М. В. Васильева с юбилеем поздравляют Е. П. Дороненко,
А. Н. Шилин, Б. В. Фаддеев, П. П. Бастан

На юбилейном приеме 1978 г.
Слева направо: В. Л. Яковлев, В. М. Попов, М. Г. Потапов,
супруга М. В. Васильева, супруга А. Н. Шилина, М. В. Васильев,
Б. В. Фаддеев

Здания Института горного дела, в которых работал М.В. Васильев в разные годы

Научное издание

Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр

Сборник научных трудов, вып. 4 (94)

Рекомендовано к изданию Ученым советом
Института горного дела и НИСО УрО РАН

ЛР № 020764 от 24.04.98

Редактор **Н.У. Макарова**
Компьютерная верстка **И.И. Глазыриной**

НИСО УрО РАН № 104 (08). Подписано к печати 04.12.2008.
Формат 70×100 1/16. Усл. печ. л. 26,1. Уч.-изд. л. 27,5.
Тираж 200. Заказ 415.

ИГД УрО РАН
620219 г. Екатеринбург, ГСП-936, ул. Мамина-Сибиряка, 58

Типография «Уральский центр академического обслуживания»
620219 г. Екатеринбург, ул. Первомайская, 91