

УДК 622.271

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

**В. И. Ческидов, В. К. Норри, Г. Д. Зайцев,
А. А. Ботвинник, А. С. Бобыльский, А. В. Резник**

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: cheskid@mysd.nsc.ru,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Показаны основные направления повышения эффективности горных работ при разработке месторождений твердых полезных ископаемых открытым способом. Приведены результаты научных исследований по совершенствованию систем открытой разработки месторождений, интенсификации горных работ, повышению экологической безопасности горного производства и управлению качеством угольной продукции (применительно к условиям Бакчарского железорудного месторождения и угольных месторождений Кузнецкого и Канско-Ачинского бассейнов).

Открытые горные работы, ресурсосберегающие технологии, выработанное карьерное пространство, экология, угольная продукция, качество

ВВЕДЕНИЕ

Мировая и отечественная практика горнодобывающих отраслей промышленности свидетельствует о преимущественном развитии открытого способа добычи минерального сырья. Современные крупные карьеры и разрезы, прежде всего в железорудной и угольной отраслях, оснащаются мощным горнотранспортным оборудованием, требующим адаптации к условиям их применения. Необходимость совершенствования систем разработки и технологических схем обусловлена также ухудшением на большинстве разрабатываемых месторождений горнотехнических условий их эксплуатации (увеличение глубины и объемов горных работ, ухудшение экологии горного производства и т. д.). Задачи исследований, сформулированные в этом контексте, направлены на изыскание инновационных ресурсосберегающих технологий добычи полезных ископаемых, интенсификацию горных работ, повышение экологической безопасности горного производства, улучшение качества и комплексное использование угольной продукции. В статье на примере угольных месторождений Кузнецкого и Канско-Ачинского угольных бассейнов приведены результаты исследований по данной тематике.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Обоснованы технологические варианты открытой разработки Бакчарского железорудного месторождения в Томской области. Общие запасы руд месторождения составляют порядка 200 млрд т. Наиболее продуктивная часть Бакчарского месторождения размещается в бассейне р. Бакчар в 150 км северо-западнее г. Томска и в 200 км севернее г. Новосибирска. Гидрогеологические условия месторождения сложные.

Выбор технологических схем строительства и эксплуатации карьера на Бакчарском месторождении определяют физико-механические свойства и мощность покрывающих вскрышных пород. Установлено, что наиболее эффективным способом разработки месторождения с большими объемами нецементированных осадочных пород является использование средств гидромеханизации (гидромониторов и земснарядов), а также комплексов непрерывного действия (роторных экскаваторов, конвейерного транспорта и отвалообразователей). Исходя из благоприятных гидрогеологических и инженерно-геологических условий Бакчарского месторождения, в Институте горного дела СО РАН и институте “Проектгидромеханизация” рассмотрен ряд различных вариантов вскрытия и разработки месторождения с использованием имеющегося и перспективного высокопроизводительного оборудования. При годовой производительности карьера 50 млн т руды объем вскрышных работ составит 176 млн м³/год (при коэффициенте вскрыши 3.54 м³/т). Рассмотрены четыре варианта разработки карьерного поля с использованием различного гидромеханизированного оборудования: земснарядами, гидромониторно-землесосными установками, роторными экскаваторами и гидротранспортом, роторно-гидравлическими комплексами.

По результатам исследований, учитывая примерное равенство затрат в вариантах с использованием гидротранспортно-землесосных установок и роторно-гидравлических комплексов, а также существенный недостаток последних при разработке пород с высокими коэффициентами фильтрации, в ИГД СО РАН предложен комбинированный вариант разработки Бакчарского месторождения [1]:

- три верхних вскрышных уступа (около 150 м) отрабатывать гидромониторно-землесосными установками;
- нижний (46 м), сложенный глинами, и рудную залежь — роторно-гидравлическими комплексами.

Предлагаемый вариант обеспечивает: минимальную себестоимость добычи 1 т руды; наиболее высокую устойчивость откосов рабочего борта карьера за счет использования на верхних вскрышных уступах; отказ от дорогостоящего и трудоемкого подземного дренажа массива горных пород в пользу менее затратного способа с водопонизительными скважинами в сочетании с открытым водоотливом.

Разработаны и апробированы в промышленных условиях отвалообразователь и перегрузочный бункер на базе вибропитателей для перемещения вскрышных пород на карьерах. Впервые идея использования вибрирования для выпуска руды из очистного пространства выдвинута и экспериментально проверена сотрудниками Института горного дела СО АН СССР в 1957 г. Было установлено, что вибрирование увеличивает производительность выпуска в 5–10 раз (при сохранении размеров выпускных отверстий), обеспечивает плавность выпуска и снижает количество зависаний. Преимущества вибрационного выпуска обусловили его широкое использование в подземных условиях. На предприятиях, добывающих полезные ископаемые открытым способом, применение вибротехники, в том числе вибрационных питателей, пока ограничено. Особенностью эксплуатации вибромашин в технологических схемах добычи полезных ископаемых открытым способом являются большие объемы перемещаемого материала и, как следствие, требование высокой производительности питателя, увеличение статических и динамических нагрузок на рабочий орган. Лабораторией открытых горных работ ИГД СО РАН проведены исследования, позволяющие повысить производительность и улучшить технико-экономические показатели погрузочного и транспортного оборудования на карьерах, предложить новые направления совершенствования циклической технологии, основанные на применении различного рода аккумулярующих емкостей с вибрационным выпуском [2]. Для этих целей разработаны предназначенные для открытых горных работ вибропитатели ВТУ-4, ВТУ-6 и “Волна-8”. Разработаны и обоснованы следующие технологические схемы:

1. Для интенсификации погрузочно-транспортных работ при использовании комбинированного транспорта:
 - схема перегрузки горной массы с применением полустационарного перегрузочного пункта;
 - схема перегрузки горной массы с применением передвижного бункера;
 - схема перегрузки горной массы с использованием стационарного перегрузочного пункта (бункер-путепровода).
2. Для интенсификации процесса укладки вскрышной породы в отвал:
 - схема отвалообразования с применением на автоотвалах вибрационного отвалообразователя;
 - схема отвалообразования с применением на железнодорожных отвалах вибрационного комплекса;
 - схема отвалообразования с применением на железнодорожных отвалах вибрационного перегружателя.
3. Для интенсификации погрузочно-транспортных работ на карьерах:
 - погрузочно-транспортная схема с применением бункер-поезда;
 - погрузочно-транспортная схема с применением виброплощадки, работающей под завалом;
 - погрузочно-транспортная схема с применением самоходного бункера для погрузки горной массы в железнодорожный транспорт.

Для испытания вибротехники на разрезах выбраны две технологические схемы — вибрационный отвалообразователь на разрезе “Краснобродский” и перегрузочный пункт на разрезе им. В. Вахрушева комбината “Кузбасскарьеруголь” (ныне ХК “Кузбассразрезуголь”). Технологическая схема испытания вибрационного отвалообразователя на автоотвале представлена на рис. 1. В процессе испытаний с помощью опытного образца вибрационного отвалообразователя уложено в отвал 100 тыс. м³ вскрышных пород.

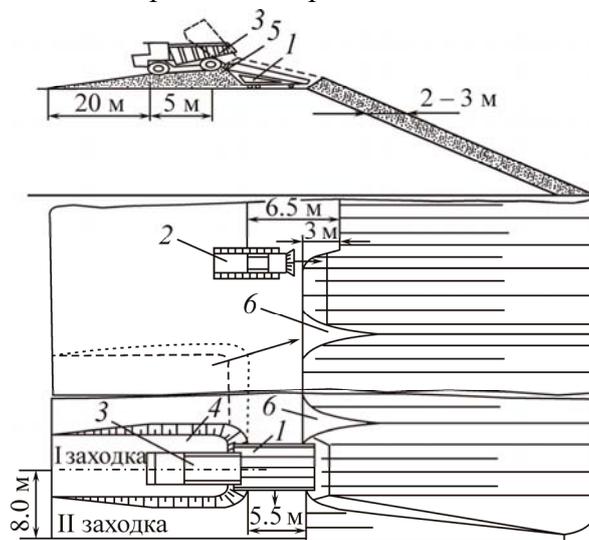


Рис. 1. Схема применения вибрационного отвалообразователя: 1 — отвалообразователь; 2 — бульдозер; 3 — автосамосвал; 4 — “подушка” из коренных пород; 5 — опорный брус отвалообразователя; 6 — “пазухи” между стоянками отвалообразователя

Промышленные испытания двухприводных вибротранспортирующих устройств для отвалообразователя показали, что они способны надежно перемещать породу от автосамосвалов под откос отвала, просты по конструкции и могут быть изготовлены в условиях заводов угольной отрасли. Проведенные исследования, а также результаты промышленных испытаний передвижного вибрационного отвалообразователя подтвердили достоверность теоретических исследований и правильность принятых проектно-конструкторских решений и позволили сфор-

мулировать основные исходные конструктивные и технологические требования для разработки технического задания (ТЗ) на создание опытного образца самоходного вибрационного отвалообразователя и опытной партии универсальных ВТУ при создании самоходных и передвижных бункеров, перегружателей, отвалообразователей, применение которых повышает интенсивность производства погрузочно-разгрузочных работ. Общий вид бункерного перегрузочного пункта, разработанного в ИГД СО РАН и прошедшего опытно-промышленные испытания в 1980 – 1990 гг. на разрезе им. Вахрушева, приведен на рис. 2.



Рис. 2. Общий вид бункерно-экскаваторного перегрузочного пункта

В течение промышленных испытаний перегрузочного пункта проведена проверка бункерного способа перегрузки с использованием опытных образцов вибропитателей “Волна-8”, определения их надежности, эксплуатационной производительности в зависимости от времени года, влажности и размера кусков породы. В период испытаний перегружено 100 тыс. т горной массы. Промышленные испытания бункерной секции показали хорошее управление выпуском горной массы из бункера, необходимую полноту и высокую скорость загрузки думпкара с одной стоянки. Одновременно выявлена необходимость доработки одноприводных вибропитателей “Волна-8”. Установлено, что освоение серийного производства указанных моделей вибротранспортных машин позволит перейти к применению на разрезах ресурсосберегающих технологий с передвижными, полустационарными и стационарными устройствами и установками, которые могут быть использованы не только на перегрузке породы из одного вида транспорта в другой и при отвалообразовании, но и на погрузке вскрышных пород и полезного ископаемого в транспортные средства на угольных комплексах [3].

Выполнен анализ технологий открытой разработки угольных месторождений с использованием выработанного карьерного пространства. На пологопадающих и наклонных месторождениях наибольшее распространение получил продольный порядок развития горных работ, при котором отработка карьерного поля производится однобортовыми разрезами, горизонтальными или наклонными уступами с движением фронта горных работ (ФГР) по падению пласта. Обладая рядом преимуществ, особенно в начальный период разработки месторождения (минимальный коэффициент вскрыши, возможность быстрого наращивания производственной мощности карьера и т. д.), продольный порядок имеет и серьезные недостатки: неуклонный рост объемов вскрыши на протяжении всего эксплуатационного периода; рост суммарной длины ФГР и протяженности транспортных коммуникаций по мере углубления карьера; изъятие значительных земельных площадей под горные работы и внешние отвалы.

На рис. 3 приведены предлагаемые системы открытой разработки угольных месторождений с внутренним отвалообразованием с оценкой их природоохранного уровня по относительному коэффициенту экологической чистоты (КЭЧ по В. В. Михальченко и С. А. Прокопенко), учитывающему степень воздействия горного производства на природную среду.



Рис. 3. Системы открытой разработки угольных месторождений с внутренним отвалообразованием: α — угол падения пластов; 1, 2 ... 14 — номер технологии; в скобках — разработчик технологии

В целях повышения эффективности и экологической безопасности горного производства учеными и специалистами проектных и горнодобывающих предприятий предложен ряд ресурсосберегающих технологий с различными вариантами порядка развития горных работ [4, 5]. В результате анализа рассмотренных технологий установлено, что лучшие технико-экономические и экологические показатели в сравнении с продольной системой разработки, принятой за базовую, обеспечивают поперечные и комбинированные системы, позволяющие более эффективно оптимизировать параметры и режим ведения горных работ, целенаправленно формировать и рационально использовать техногенный ресурс выработанных карьерных пространств. Сотрудниками лаборатории открытых горных работ ИГД СО РАН предложены системы разработки пологопадающих и наклонных угольных месторождений Кузбасса с разнонаправленным подвиганием фронта горных работ, обеспечивающие возможность стабилизации коэффициента вскрыши на длительный период эксплуатации разреза, сокращение длины транспортирования вскрышных пород, размещение максимального объема вскрышных пород в выработанном карьерном пространстве.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ

Лабораторией открытых горных работ совместно с лабораторией горного машиноведения выполнено обоснование целесообразности и области применения безвзрывных технологий разработки массивов горных пород применительно к условиям месторождений твердых полезных ископаемых Урала и Сибири. Развитие открытой добычи полезных ископаемых на современном этапе сопровождается комплексным решением проблем повышения экономической эффективности и экологической безопасности геотехнологий. Этим требованиям отвечает безвзрывная технология, предусматривающая применение специальных технических средств. Основой для создания таких машин на современном этапе продолжают оставаться механические способы разрушения горных пород (резание и удар), так как другие возможные способы (термические, электрические, комбинированные и др.) отличаются высокой удельной энергоемкостью или еще недостаточно изучены.

Результаты проведенного анализа показали, что оборудование, применяемое для безвзрывной разработки горных пород на карьерах, по назначению и роду выполняемой работы может быть разделено на две группы: машины, предназначенные только для рыхления горного массива, и выемочно-погрузочные машины. По конструктивно-технологическим признакам выделяются пять типов машин: бульдозерно-рыхлительные агрегаты, навесные гидромолоты, горные комбайны (машины послонного фрезерования), экскаваторы с ковшом активного действия (КАД), многоковшовые экскаваторы компактного исполнения. Область эффективного применения различных технологических схем определяется конструктивными и техническими параметрами машин, обеспечивающими в конкретных горнотехнических условиях максимальную их производительность при минимальных затратах.

Исследованиями установлено, что современное оборудование для безвзрывных технологий обеспечивает эффективную разработку горных пород с пределом прочности на сжатие до 60 МПа. При выемке более крепких пород такое оборудование не может конкурировать с одноковшовыми экскаваторами и буровзрывной подготовкой массива. Определена возможность расширения области применения ряда машин для безвзрывной выемки пород прочностью до 80–100 МПа за счет совершенствования существующих и создания новых рабочих органов, увеличения их мощности. Это касается, прежде всего, горных комбайнов нового поколения, компактных роторных экскаваторов, экскаваторов с КАД, применение которых сегодня представляется наиболее востребованным. Показано, что для эффективного использования экскаваторов с КАД при разработке горных пород прочностью на сжатие до 100 МПа, III–IV категории блочности необходимо повышение мощности молотов для привода ударных зубьев в 2–3 раза без увеличения габаритных размеров молотов.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что наиболее универсальными и адаптированными к различным горно-геологическим условиям месторождений твердых полезных ископаемых и к существующим системам их разработки являются одноквшовые экскаваторы с ковшом активного действия. Это подтверждается и результатами промышленной эксплуатации партии экскаваторов ЭКГ-5В с ковшом активного действия вместимостью 5 м³, созданных по техническому заданию ИГД СО РАН заводом “Уралмаш” [6].

Разработаны новые технологические схемы отработки сложноструктурных залежей с использованием экскаваторов с КАД и горных комбайнов для формирования гибких технологических структур, обеспечивающих повышение степени селекции и производство добычных работ в режиме управления качеством извлекаемого сырья при общем повышении безопасности горного производства. При этом применение экскаваторов с КАД на действующих карьерах не требует изменения параметров рабочей зоны и схем вскрытия. Анализ показал, что существующие методы и показатели оценки эффективности техники, осуществляющей безвзрывную выемку горных пород, недостаточно объективны и требуют доработки. Предложена методика оценки качества различных типов оборудования для безвзрывной технологии, в основу которой положены технические, технологические и экономические показатели. Количественно-качественная оценка перспективных машин показала, что применение безвзрывных технологий экономически целесообразно:

— с использованием существующих технических средств при разработке горных пород с пределом прочности на сжатие до 60 МПа, а при селективной отработке сложноструктурных блоков до 70–80 МПа;

— при освоении производства и внедрении на карьерах перспективных моделей экскаваторов с КАД, горных комбайнов и компактных роторных экскаваторов эффективная область разработки массивов горной породы без буровзрывной подготовки может быть расширена на породах прочностью на сжатие до 100 МПа.

В качестве основных объектов для безвзрывной разработки с применением созданных к настоящему времени машин выделены:

— сложноструктурные залежи, требующие селективной разработки;

— месторождения и участки, на которых ограничено или невозможно применение буровзрывного способа рыхления массива (из-за близости населенных пунктов, промышленных объектов и коммуникаций, размещения в заповедных зонах, повышенных требований к качеству добываемого сырья и т. д.);

— техногенные залежи сырья;

— специальные работы (разнос временных нерабочих бортов, заоткоска уступов при постановке бортов в конечное положение и др.).

Установлено, что наиболее эффективно новое оборудование может использоваться при добыче из сложноструктурных блоков минерального сырья, качество которого снижается при взрывном дроблении, а также при выемке законсервированных запасов в зонах, опасных для ведения взрывных работ. Доказано, что исключение комплекса буровзрывных работ из технологических процессов позволит в 3–5 раз снизить размеры санитарно-защитной зоны, пересмотреть границы действующих карьеров там, где насыщенность инженерными сооружениями или близость населенных пунктов не позволяют вести горные работы с буровзрывной подготовкой пород, и в результате получить значительный экономический эффект.

Результаты анализа горно-геологических условий 80 представительных месторождений полезных ископаемых Урала и Сибири свидетельствуют о том, что применение безвзрывных технологий возможно практически во всех горнодобывающих отраслях промышленности. По-

лученные данные позволяют сделать вывод о том, что при большом разнообразии горно-геологических и горно-технических условий месторождений в рассматриваемых регионах безвзрывные технологии могут найти достаточно широкое применение практически во всех горнодобывающих отраслях промышленности. Экспертная оценка объемов действующего и перспективного горного производства свидетельствует о том, что даже на современном уровне развития технических средств безвзрывными технологиями в этих регионах может разрабатываться до 800–900 млн м³ горной массы в год или 35–40 % от общего объема извлекаемых горных пород (рис. 4).

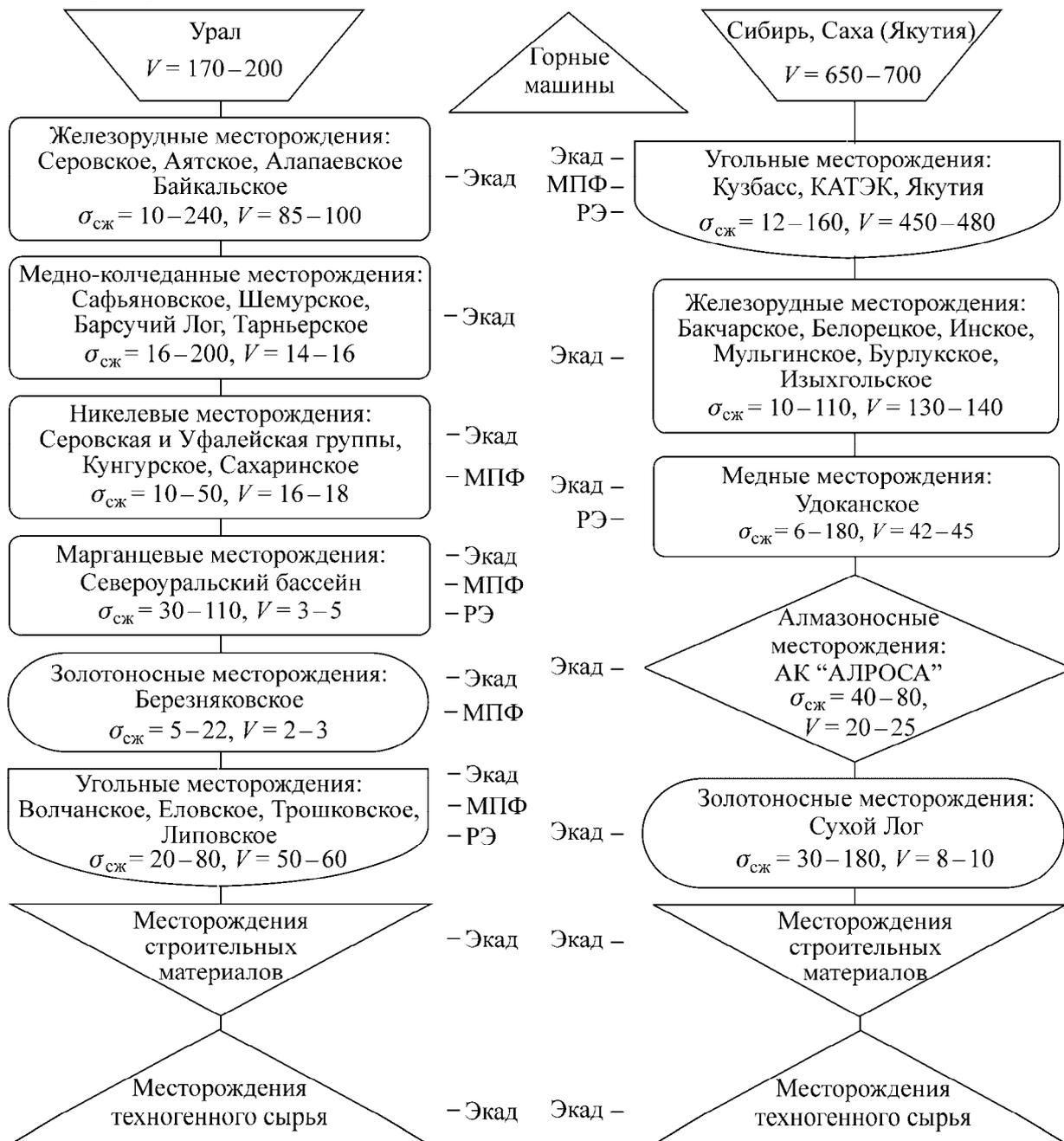


Рис. 4. Область применения безвзрывных технологий на месторождениях Урала и Сибири: Экад — экскаваторы с ковшом активного действия; МПФ — машины послойного фрезерования; РЭ — роторные экскаваторы; $\sigma_{сж}$ — предел прочности на одноосное сжатие полезных ископаемых и вскрышных пород, МПа; V — ориентировочный объем горной массы для безвзрывной разработки, млн м³/год

Предложена технология разработки обводненных угольных месторождений без их предварительного осушения. Обоснована целесообразность селективной выемки вскрышных пород с крепкими включениями средствами гидромеханизации с использованием выработанного карьерного пространства для организации технологического водоема и гидроотвала.

Топливо-энергетический комплекс Сибири, обладая значительными сырьевыми ресурсами и достаточно развитой производственной инфраструктурой, был и остается главной энергетической базой России. Ведущими учеными и специалистами обоснована целесообразность увеличения в ближайшие 10–15 лет доли угля в топливо-энергетическом балансе страны до 25–30 % против 15–17 %, сложившейся в последние годы. В соответствии с “Энергетическими стратегиями России на период до 2020 и 2030 года” добыча угля в стране должна быть доведена к 2020 г. до 400–430 млн т. При этом преимущественное развитие будет иметь наиболее эффективный и безопасный открытый способ добычи угля и, прежде всего, в Кузнецком и Канско-Ачинском угольных бассейнах.

Канско-Ачинский буругольный бассейн, на базе которого формируется одноименный топливо-энергетический комплекс (КАТЭК), занимает площадь более 50 000 км² в границах Красноярского края и Кемеровской области. Геологические запасы угля оцениваются более чем в 600 млрд т, в том числе 140 млрд т для добычи открытым способом. Запасы угля наиболее крупных месторождений достигают 3,0–3,5 млрд т. Угли бассейна пригодны не только для энергетических целей, но и являются отличным сырьем для получения жидких продуктов, металлургического полукокса и облагороженного бытового топлива, химической промышленности. По приведенным затратам на добычу 1 т условного топлива канско-ачинские угли являются самым дешевым топливом в стране. В целом по бассейну выявлено 24 месторождения, из которых наибольшее промышленное значение имеют Березовское, Урюпское, Итатское, Барандатское, Боготольское и Назаровское в западной части, Абанское и Ирша-Бородинское в восточной части бассейна. Горно-геологические условия этих месторождений весьма благоприятны для добычи угля открытым способом: значительная мощность (до 70–90 м) и преимущественно пологое залегание угольных пластов (1–8°); сравнительно небольшая мощность (от 8 до 250 м, при среднем коэффициенте вскрыши 0,8–2 м³/т) и крепость основной массы вскрышных пород (прочность на сжатие 10–30 МПа); высокое качество углей (теплота сгорания 3 100–3 800 ккал/кг, зольность 7–12 %, содержание серы до 1 %).

Исходя из горно-геологических условий месторождений и физико-технических свойств слагающих их горных пород, на разрезах КАТЭКа предусматривалась крупномасштабная добыча угля по поточной технологии горных работ с помощью роторных экскаваторов производительностью 5 250 м³/ч и более в комплексе с ленточными конвейерами, перегружателями и отвалообразователями. Использование на ведущих разрезах бассейна (Назаровский, Бородинский, Березовский-1) высокопроизводительной техники непрерывного действия показало ее высокую эффективность, в первую очередь на добычных работах. Вместе с тем в процессе эксплуатации разрезов выявлен ряд недооцененных ранее факторов, в значительной степени усложняющих ведение горных работ: наличие в основной массе слабосцементированных вскрышных пород крепких прослоев и линз (далее крепких включений) минерализованных алевролитов, аргиллитов и песчаников на известковом, кремнистом и железистом цементе прочностью на сжатие 120–140 МПа, разработка которых без предварительного разрушения роторными экскаваторами невозможна; сложные гидрогеологические условия месторождений с ожидаемыми притоками воды в горные выработки 9 000–12 000 м³/ч; склонность бурых углей всех месторождений бассейна к самовозгоранию. Крепкие включения во вскрышной толще

месторождений представлены сидеритовыми разностями и как попутно добываемое сырье могут быть эффективно использованы в металлургической промышленности. Запасы сидеритов указанных месторождений оценены в размере около 5–6 млрд т.

Как показал опыт отработки массивов вскрышных пород на разрезе “Березовский-1” роторными экскаваторами ЭРШРД-5250, их эксплуатация по однородным и слабосцементированным горным породам (суглинкам, супесям, глинам) показала удовлетворительные результаты. Однако при появлении во вскрышной толще крепких породных включений (8-й год эксплуатации разреза) роторные комплексы были вынужденно выведены из эксплуатации из-за невозможности экскавации крепких пород.

При освоении рассматриваемых месторождений одним из определяющих факторов при выборе технологии их разработки, наряду с наличием во вскрышной толще крепких включений, является повышенная обводненность продуктивной толщи.

С учетом результатов научных исследований и опыта эксплуатации действующих разрезов бассейна (Березовский, Назаровский, Бородинский) наиболее эффективным способом осушения обводненных месторождений КАТЭКа признан подземный способ с сооружением дренажных шахт и сети подземных выработок. Следует отметить, что подземный способ осушения является и наиболее затратным в его строительстве (до 15–20 % общей сметной стоимости) и эксплуатации. С учетом специфических горно-геологических условий рассматриваемых месторождений в качестве альтернативного решения предложена технология разработки обводненных угольных месторождений с пластами большой единичной мощности без предварительного осушения продуктивной толщи (рис. 5).

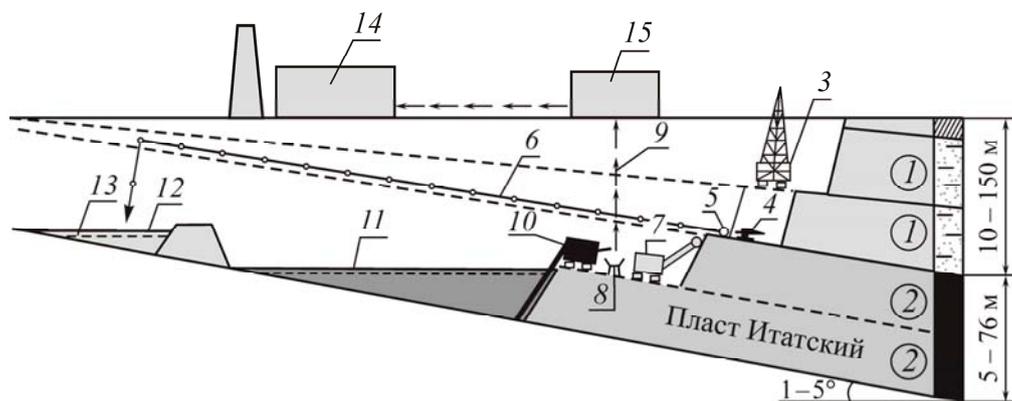


Рис. 5. Технология разработки обводненных пластовых месторождений без осушения продуктивной толщи: 1 — вскрышные уступы; 2 — добычные уступы; 3 — экскаватор-драглайн; 4 — гидромонитор; 5 — забойный пульпопровод; 6 — магистральный пульпопровод; 7 — роторный экскаватор; 8 — забойный конвейер; 9 — магистральный конвейер; 10 — многочерпаковый экскаватор; 11 — технологический водоем; 12 — гидроотвал; 13 — отвальный пульповод; 14 — ГРЭС; 15 — перегрузочный пункт

Технология предусматривает [7]: селективную выемку вскрышных пород средствами механизации, угольного пласта — роторными и многочерпаковыми экскаваторами; формирование в выработанном карьерном пространстве технологического водоема (с подтоплением части угольного пласта) и гидроотвала вскрышных пород. Наличие технологического водоема создает благоприятные условия для применения на вскрышных породах средств гидромеханизации и размещения в выработанном карьерном пространстве породного гидроотвала. Кроме того, в случае размещения на борту разреза электростанции с угольной генерацией, как это предусматривалось программой формирования КАТЭКа, технологический водоем может использо-

ваться в качестве пруда-охладителя, без сооружения аналогичного специального гидротехнического объекта с соответствующей экономией денежных средств и земельных площадей, снижением техногенной нагрузки на окружающую природную среду.

С учетом сложности разработки массива вскрышных пород с твердыми включениями техникой непрерывного действия в данном варианте отработка вскрышных уступов предусматривается гидромеханизированным способом со складированием вскрышных пород в гидроотвале. Для повышения производительности и надежности технологической схемы перед гидромеханизированной выемкой вскрышных пород рассматривается вариант их предварительного рыхления экскаватором-драглайном с селективной выемкой или оконтуриванием крепких породных включений. Оработка верхнего угольного уступа предполагается по традиционной схеме роторными экскаваторами в комплексе с ленточными конвейерами, нижнего (подтопленного) – цепными экскаваторами с нижним черпанием. Целесообразность применения гидромониторной разработки массива вскрышных пород на рассматриваемых месторождениях обусловлена следующими факторами: возможность селективной выемки полезных компонентов (сидеритовых включений); обеспеченность необходимыми для гидромеханизации водными ресурсами (за счет технологического водоема); использование выработанного карьерного пространства для организации гидроотвала вскрышных пород; высокая производительность и низкая себестоимость выемки вскрышных пород.

Результаты научных исследований по гидромеханизированной разработке массивов горных пород в предлагаемой технологии свидетельствуют о том, что применение этого способа на месторождениях Канско-Ачинского бассейна даст возможность наиболее эффективно осуществить селективную выемку основного объема вскрышных пород и крепких включений. Реализация предлагаемой технологии в целом позволит:

- с наименьшими затратами вести отработку обводненных бурогольных месторождений Канско-Ачинского бассейна;
- рационально использовать гидроресурсный потенциал месторождений;
- выполнить селективную разработку вскрышных пород с целенаправленной выемкой и последующим использованием полезных компонентов (сидеритов);
- существенно снизить негативное влияние горных работ на природную среду.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСНОЙ УГОЛЬНОЙ БАЗЫ СИБИРИ

Проведена оценка ресурсного потенциала угольных месторождений Кузнецкого и Канско-Ачинского бассейнов, а также возможных направлений дальнейшего развития угледобычи в сибирских горнодобывающих регионах. Установлено, что ресурсная база месторождений Сибири в наибольшей степени удовлетворяет как по объемным, так и по качественным показателям потребности экономики страны. Как показывают исследования, основным направлением дальнейшего инновационного развития угольной отрасли следует считать переход на более масштабную переработку добываемых углей и комплексное использование угольной продукции. Угольные бассейны восточных регионов страны, в частности Кузнецкий и Канско-Ачинский, обладают значительной ресурсной базой для дальнейшего развития угледобычи, в том числе наиболее эффективным открытым способом. На современном этапе в основе инновационного развития угольной отрасли должно быть не просто наращивание объемов угледобычи, а глубокая переработка углей с получением большого ассортимента угольной продукции с новыми потребительскими свойствами. Ресурсная база угольной отрасли Сибири представлена в широком диапазоне марочного состава углей, предопределяющего обширную область их применения. Установлено, что от одного продукта в угольной отрасли можно произвести более 130 видов химических полупродуктов и более 5 тыс. видов продукции смежных отраслей [8]. Особый

интерес для масштабной комплексной переработки представляют канско-ачинские угли, подсчитанные запасы которых превышают 600 млрд т, из них пригодные для разработки наиболее дешевым открытым способом более 140 млрд т. Одним из приоритетных направлений глубокой переработки углей является производство синтетического жидкого топлива (СЖТ). В настоящее время производство СЖТ из угля организовано в ЮАР компанией Sasol на заводе Secunda CTL производительностью 160 тыс. баррелей в сутки (около 8 млн т/год). Активно наращивает производство СЖТ по этой же технологии Китай, где дополнительно к действующим заводам общей мощностью 1.9 млн т намечен запуск еще 9 заводов мощностью 5 млн т СЖТ в год. Эта технология приобретает повышенное внимание на фоне неустойчивых цен на нефть. В России попытка внедрения технологии производства СЖТ методом гидрогенизации была предпринята в период формирования Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса. Технология, разработанная сотрудниками ИГИ, предварительно была реализована в Подмосковном бурогольном бассейне на опытной установке СТ-5 при шахте “Бельковская”. На разрезе “Березовский-1” было начато, но вскоре приостановлено (из-за прекращения финансирования) строительство более производительной опытно-промышленной установки СТ-75.

Большой интерес в последние годы вызывает технология приготовления и использования водоугольных топлив (ВУТ), особенно в угледобывающих регионах и районах, не обеспеченных газом. Работы по производству и использованию ВУТ ведутся с 1970-х годов в ряде стран, в том числе в США, Канаде, Италии и Китае. Сегодня в числе лидеров по этой проблеме является Китай, где тематикой по ВУТ занимаются три научно-исследовательских центра, работают 6 заводов по производству ежегодно до 60 млн т ВУТ, намечено строительство еще одного крупного завода. В России технология ВУТ реализована в 80-е годы прошлого столетия в составе опытно-промышленного углепровода “Белово – Новосибирская ТЭЦ-5” протяженностью 262 км. За время работы углепровода приготовлено и доставлено на электростанцию около 300 тыс. т ВУТ. По разным причинам опыт не был доведен до конца, но выявил недостатки и дал определенные результаты, подтверждающие прогрессивность технологии ВУТ. В настоящее время технология внедрена или внедряется на ряде объектов: Абагурской агломерационной обогатительной фабрике ОАО “КМК”, ЗАО “Черниговец”, ОАО “Шахта Заречная”, ОАО “Сибирский антрацит”, в ЖКХ Мурманской и других областях страны. Особые надежды возлагаются при этом на последние разработки — кавитационную технологию приготовления ВУТ (далее КаВУТ), позволяющую использовать угли различного качества и отходы углеобогащения. Проведенные испытания по использованию ВУТ показали существенные его технологические преимущества, подтвердив реальную возможность замены не только высокосолевого угля и низкокэффе́ктивных методов его сжигания в слоевых топках, но и жидких и газообразных видов топлива. Приведенные примеры, хотя и носят пока ограниченный характер, свидетельствуют о растущем интересе отечественных предпринимателей к проблеме облагораживания углей.

Одной из актуальных проблем комплексного использования углей является промышленное извлечение редких элементов из их минеральной составляющей. По результатам геологических исследований в сибирских угледобывающих регионах выявлено несколько типов редкометалльных концентраций. В частности, исследованиями С. И. Арбузова по месторождениям Кузнецкого, Канско-Ачинского, Горловского, Минусинского, Тунгусского, Иркутского, Улугхемского бассейнов установлено, что наиболее контрастные аномалии в углях месторождений Сибири образуют селен, мышьяк, стронций, молибден, бериллий, кобальт, золото, сурьма, уран, германий, ниобий, иттрий, цирконий, гафний, бром, ртуть и кадмий. Высокая контрастность аномалий редких элементов позволяет прогнозировать большую вероятность выявления угольных месторождений и пластов с промышленно значимыми содержаниями *германия, селена, золота, скандия, урана, бериллия, ниобия, циркония, иттрия* и ряда радиоактивных химических элементов.

Выполненные исследования позволяют сформулировать следующие выводы и рекомендации:

1. Дальнейшее инновационное развитие угольной и смежных отраслей промышленности РФ возможно на основе глубокой переработки и комплексного использования добываемых углей.

2. С учетом реального состояния в стране проблемы глубокой переработки углей не следует ожидать в ближайшей перспективе широкого внедрения достаточно наукоемких и затратных технологий этой направленности (производство СЖТ, извлечение редких элементов из угля и т. п.). Вместе с тем по мере отработки коренных залежей минерального сырья и изменения конъюнктуры рынка природных ресурсов, как показывает опыт развитых стран, могут быть востребованы уже известные и вновь разрабатываемые технологии, в том числе по извлечению редких элементов.

3. Успешное внедрение технологий глубокой переработки и комплексного использования углей, особенно в стадии их разработки и реализации, возможно при участии федерального бюджета, стимулирования и государственной поддержки хозяйствующих субъектов (в виде льгот по налогам, государственных гарантий, бюджетных инвестиций, кредитов и т. д.).

4. Для развития технологий по переработке и комплексному использованию углей месторождений Сибири необходимо:

— провести комплексные геохимические исследования углей сибирских месторождений с целью выявления редкометалльных и редкоземельных элементов с промышленно значимыми концентрациями;

— выполнить оценку ресурсной базы и потребности народного хозяйства страны на среднесрочную и долгосрочную перспективу в продуктах переработки угля, в том числе в редкометалльных и редкоземельных элементах;

— разработать государственную программу переработки и комплексного использования углей с выделением приоритетных технологий и сырьевых источников по угольным бассейнам и месторождениям;

— подготовить технологические регламенты для проектирования угледобывающих и перерабатывающих предприятий, предусматривающие:

- целенаправленно использовать угольные ресурсы и продукты их переработки;
- разработать и реализовать меры государственной поддержки хозяйствующих субъектов, стимулирующие внедрение инновационных технологий переработки угля и производство востребованной угольной продукции.

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ УГОЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

Предложена и разработана концепция системного развития управлением качеством добываемого полезного ископаемого. Системное развитие управления качеством основано на идее интеграции моделей геологических и технологических объектов, моделей оптимизации управления развитием и процессами открытой разработки месторождений углей [9]. Цель построения модели месторождения состоит в осуществлении вычислительных экспериментов для принятия обоснованных решений на стадии предпроектных исследований, проектирования и планирования пространственного развития и отработки месторождения. На рис. 6 приведен вариант структурирования запасов пласта H_{16} Эльгинского месторождения (Южная Якутия) и графики, характеризующие изменчивость зольности A^d и толщины пластического слоя y по направлению отработки пласта. Модельное представление морфологии и качества запасов месторождения служит основой для планирования качества на стадии проектирования освоения месторождения, стратегического и тактического планирования ведения добычных работ в режиме робастного управления качеством. Планирование качества добываемого полезного ископаемого, в частности углей, состоит во вскрытии возможностей добывающего предприятия по удов-

летворению требований потребителей к качеству и объему поставок углей на рынок. Концепция планирования качества добываемых углей предполагает вовлечение в управление качеством всех процессов, формирующих и улучшающих их качество.

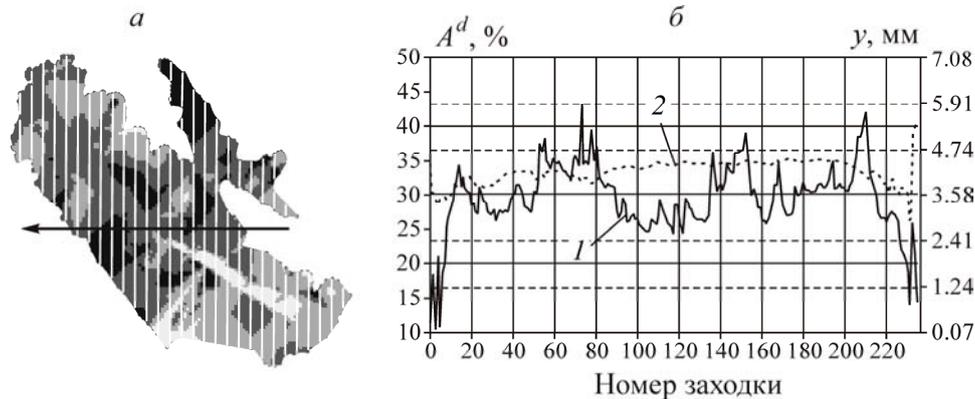


Рис. 6. Карта качества зольности угля (а) и изменения зольности (1) и толщины пластического слоя (2) по направлению отработки пласта Н₁₆ (б)

Применительно к выбранным вариантам направления развития горных работ проводится серия вычислительных экспериментов для установления возможного качественного состава продукции и соответствующих ему объемов путем моделирования функционирования технологических систем, включающих добычные работы и обогащение добытых углей. Поставленные и реализуемые на практике цели формирования качества добываемых углей на основе специальных классов математических моделей функционирования технологических систем (ТС) — полные и условно-динамические приведены в таблице.

Цели оптимизации управления качеством угольной продукции

Модели технологической системы	Цель и класс математических моделей
Модели функционирования ТС с формированием общего потока углей	Обеспечение равномерной по периодам интенсивности отработки запасов углей при условии выполнения ограничений на разброс значений показателей качества с применением условно-динамических моделей
	Стабилизация главного и основных показателей качества добываемых углей с применением полных и условно-динамических моделей
	Максимизация выхода углей более высокого класса качества с применением полных и условно-динамических моделей
	Максимизация выхода концентрата коксующихся углей при условии выполнения ограничений на разброс значений показателей качества с применением полных и условно-динамических моделей
Модели функционирования ТС с формированием раздельных потоков углей	Обеспечение равномерной по периодам интенсивности отработки запасов углей при условии выполнения ограничений на разброс значений показателей качества с применением условно-динамических моделей
	Стабилизация основных показателей качества добываемых углей с применением полных и условно-динамических моделей
	Оптимизация выхода углей более высокого класса качества с применением полных и условно-динамических моделей
	Максимизация выхода концентрата при условии выполнения ограничений на разброс значений показателей качества с применением условно-динамических моделей
	Стабилизация соотношения объемов добычи двух типов углей с применением полных и условно-динамических моделей

Решение задачи с применением полной динамической модели находится путем одновременной оценки действия комплекса экскаваторов по всем заходкам на всем множестве “элементарных” периодов, т. е. методом дискретной оптимизации. Для ее результативного использования разработаны процедуры корректирования полученного решения в некотором временном диапазоне.

Пример оценки диапазона возможностей по изменению номенклатуры производимой продукции, определенного по результатам исследования в ИГД СО РАН совместно с институтом “Сибгипрошахт” для углей Эльгинского месторождения, приведен на рис. 7. Каждый из вариантов отличается технологической сложностью и стоимостью. Таким примером подтверждается необходимость планирования качества продукции угледобывающего предприятия, рассматривая этот процесс как начало формирования жизненного цикла продукции на стадиях проектирования и перспективного планирования. Сложность управления качеством в процессе эксплуатации месторождений объясняется высокой флуктуацией параметров природно-технологической системы и жесткими требованиями потребителей к стабилизации качества.

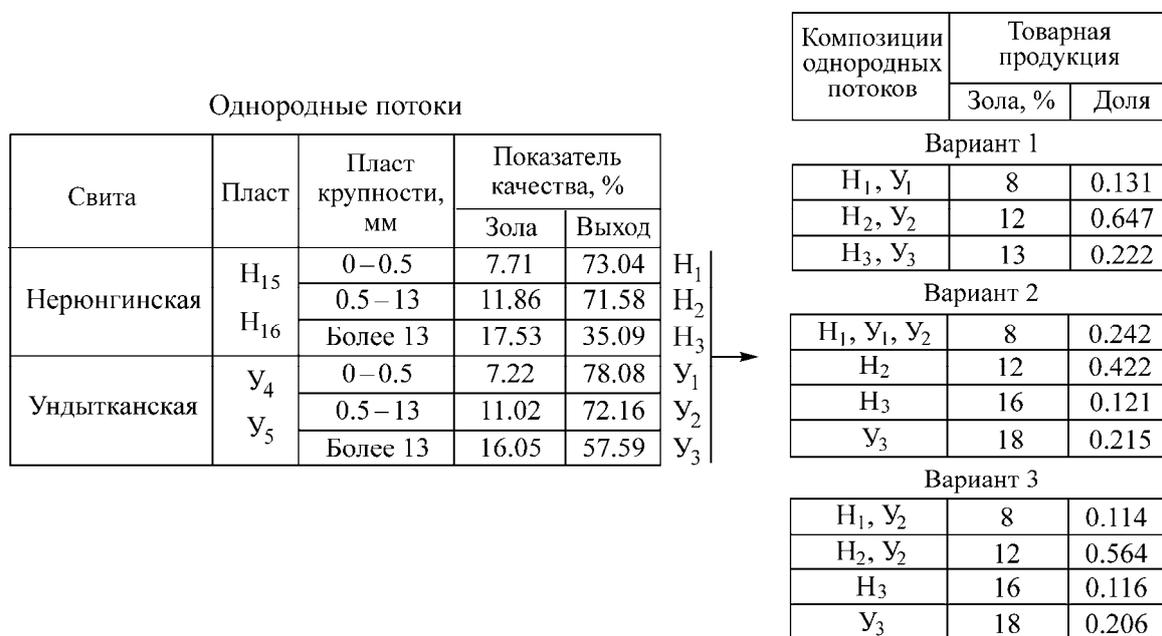


Рис. 7. Варианты состава угольной продукции из запасов Эльгинского месторождения

Исследования подтвердили, что в представленных условиях текущее планирование ведения добычных работ в режиме управления качеством целесообразно проводить с подключением моделирования функционирования технологических систем с набором целей и математических моделей.

Разработаны методологические основы развития робастного управления на карьерах, состоящие в установлении и во введении в математические модели функционирования технологических систем диапазонов ограничений по показателям качества, пространственному развитию добычной зоны карьера и производительности погрузочного оборудования. В качестве инструментов, отслеживающих и дифференцирующих отклонения показателей качества от средневзвешенной величины на существенные и несущественные, предложены контрольные карты по процессам технологии добычи углей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курленя М. В., Кортелев О. Б., Васильев Е. И., Ческидов В. И. Перспективы применения открытых горных работ при освоении Бакчарского железорудного месторождения // ГИАБ. — 2006. — № 4.
2. Молотилов С. Г., Васильев Е. И., Кортелев О. Б., Норри В. К., Левенсон С. Я., Гендлина Л. И., Тишков А. Я. Интенсификация погрузочно-транспортных работ на карьерах. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000.
3. Кортелев О. Б., Ческидов В. И., Молотилов С. Г., Норри В. К. Внешнее отвалообразование на карьерах. — Новосибирск: РИЦ “Золотые Слова”, 2009.
4. Молотилов С. Г., Норри В. К., Ческидов В. И., Маттис А. Р. Природоохранные технологии открытой добычи угля с использованием выработанного карьерного пространства. Ч. I. Анализ существующих систем разработки месторождений // ФТПРПИ. — 2006. — № 6.
5. Ческидов В. И., Кортелев О. Б., Маттис А. Р., Молотилов С. Г., Норри В. К., Зайцев Г. Д., Зайцева А. А. и др. Пути повышения эффективности и экологической безопасности открытой добычи твердых полезных ископаемых. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010.
6. Маттис А. Р., Ческидов В. И., Яковлев В. Л., Новопашин М. Д., Лабутин В. Н., Зайцев Г. Д., Шер Е. Н. и др. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007.
7. Опарин В. Н., Ческидов В. И., Бобыльский А. С., Резник А. В. К вопросу рационального недропользования при открытой разработке бурогоугольных месторождений Канско-Ачинского бассейна // ФТПРПИ. — 2012. — № 3.
8. Ческидов В. И., Зайцев Г. Д. Проблемы переработки и комплексного использования углей месторождений Сибири // ФТПРПИ. — 2013. — № 6.
9. Фрейдина Е. В., Ботвинник А. А., Дворникова А. Н. Основы управления качеством добываемых углей в контексте международных стандартов ISO 9000-2000 // ФТПРПИ. — 2008. — № 6.

Поступила в редакцию 18/V 2014