

На правах рукописи

Федотенко Виктор Сергеевич

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ
ЭФФЕКТИВНОГО ПЕРЕХОДА К ОТРАБОТКЕ МОЩНЫХ
УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЫСОКИМИ ВСКРЫШНЫМИ
УСТУПАМИ**

Специальности

25.00.21 – Теоретические основы проектирования горнотехнических систем
25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук

Научный консультант профессор, доктор технических наук
Рыльникова Марина Владимировна

Официальные оппоненты: профессор, доктор технических наук
Атрушкевич Виктор Аркадьевич,
профессор кафедры «Геотехнологии освоения недр», МГИ НИТУ МИСиС,
г. Москва

профессор, доктор технических наук
Лель Юрий Иванович,
заведующий кафедрой разработки месторождений открытым способом
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

доктор технических наук
Пикалов Вячеслав Анатольевич,
начальник отдела методического обеспечения
ООО «НТЦ-Геотехнология», г. Челябинск

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

Защита диссертации состоится «__» _____ 2018 г. в 11⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 002.074.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук по адресу: 111020, Москва, Крюковский тупик, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в диссертационном совете и на сайте ИПКОН РАН <http://ипконран.рф>

Автореферат разослан «__» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
профессор, доктор технических наук

И.Ф. Жариков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В настоящее время доля открытого способа разработки месторождений угля составляет около 70% от общего объема добычи, а в перспективе по прогнозам она увеличится до 75-80%. Постоянная тенденция увеличения ущерба, наносимого природной среде открытой добычей углей, предопределила необходимость изыскания технологических схем открытой разработки с обоснованием параметров технологических процессов и конструктивных элементов систем разработки, обеспечивающих сокращение объемов извлечения вскрышных пород, площадей изымаемых земель, а также повышение полноты освоения недр.

Развитие действующих угольных разрезов характеризуется дальнейшим ухудшением горнотехнической обстановки, связанной с переходом горных работ на глубокие горизонты, возрастанием коэффициентов вскрыши, ограниченностью рабочего пространства угольных разрезов, а также физическим и моральным износом оборудования и иных производственных фондов. Одним из путей существенного улучшения технико-экономических показателей на угольных разрезах является переход на отработку вскрыши высокими (до 30-35 м и более) уступами с применением нового выемочно-погрузочного оборудования. Увеличение высоты вскрышного уступа на разрезах позволяет исключить ряд принципиальных трудностей, не разрешимых в рамках традиционной технологии. Основное преимущество технологии отработки вскрыши высокими уступами заключается в возможности управления углом откоса рабочего борта разреза, что обеспечивает снижение величины текущего коэффициента вскрыши, сокращение количества транспортных горизонтов, задействованных транспортных средств и пр.

Обоснование параметров и разработка технологии эффективного перехода к отработке мощных угольных месторождений высокими уступами представляет важную социально-экономическую проблему, так как способствует повышению полноты освоения месторождений открытым способом при сокращении экологического воздействия и продлению сроков эксплуатации месторождений.

Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда № 14-37-00050.

Цель работы состоит в установлении условий и обосновании параметров эффективного перехода на отработку разрезов высокими вскрышными уступами при освоении мощных угольных месторождений открытым способом.

Идея работы заключается в расширении области эффективного применения открытого способа разработки мощных угольных месторождений путем установления временных и пространственных параметров своевременного перехода действующего разреза к выемке вскрышных пород высокими уступами при соответствующем совершенствовании технико-технологических решений.

Задачи исследования:

- анализ технологических решений с оценкой параметров технологических процессов формирования и эксплуатации месторождений открытым способом с применением высоких уступов;

- создание и систематизация технологических схем отработки месторождений с применением высоких уступов и определение основных тенденций и перспектив роста эффективности открытых горных работ;

- исследование влияния основных факторов на параметры технологических процессов формирования и эксплуатации высоких уступов и определение условий эффективного перехода на работу высокими вскрышными уступами;

- разработка методов и средств управления взрывом при отработке высоких вскрышных уступов;

- установление закономерностей изменения параметров систем разработки высокими уступами и приращения границ карьеров, позволяющих управлять рабочим пространством открытых горных работ в интерактивном режиме при проектировании и эксплуатации месторождений;

- исследование условий и способов эффективного перехода на высокие вскрышные уступы и разработка методики определения высоты уступа и подступов, условий и параметров перехода на высокие вскрышные уступы с учетом взаимовлияющих факторов, позволяющей повысить экономическую эффективность и достоверность проектных решений при открытой разработке месторождений;

- разработка и внедрение технологических рекомендаций по выбору рациональной технологии отработки высоких вскрышных уступов различными комплексами выемочно-погрузочного и горнотранспортного оборудования на разрезах Кузбасса с оценкой их экономической эффективности.

Методы исследований. Общей теоретической и методологической основой диссертации является комплексный подход, включающий анализ и обобщение фундаментальных исследований в области методологии проектирования карьеров, обобщение производственной и проектной практики открытых горных работ. В качестве основных методов исследований использовались: аналитические и графоаналитические методы; горно-геометрическое моделирование конечных бортов карьера и развития его рабочей зоны; экономико-математическое моделирование; системный анализ, лабораторные и опытно-промышленные эксперименты при исследовании параметров технологических процессов, зависящих от принятой высоты уступа; методы математической статистики и экспертных оценок; технико-экономический анализ.

Основные защищаемые положения:

1. Своевременный переход на высокие вскрышные уступы обеспечивается в период максимального развития горных работ при равенстве текущего и

граничного коэффициентов вскрыши и позволяет обеспечить наибольшее приращение глубины карьера с оптимизацией объемов вскрыши на последующих этапах отработки месторождения открытым способом. Величина приращения конечной глубины карьера при отработке наклонных и крутопадающих месторождений с высокими вскрышными уступами прямо пропорциональна нормальной мощности продуктивного пласта (m), не зависит от угла его падения в диапазоне $15\div 40^\circ$ и линейно снижается при $\varphi=40\div 90^\circ$.

2. Увеличение высоты вскрышного уступа обеспечивает рост объемов дополнительно извлекаемых открытой геотехнологией запасов полезных ископаемых, глубины карьера и сроков его эксплуатации на 18-23 %, возрастание скорости подвигания фронта очистных работ и улучшение качества дробления породы на 10-15%, при этом сокращается протяженность транспортных путей и коммуникаций до 15%, уменьшается количество транспортной техники и время на перегон машин и оборудования.

3. Подготовку высокого вскрышного уступа следует производить его взрыванием на всю высоту с применением универсальных запирающих устройств, скважинных затворов и придонных компенсаторов, а последующую выемку горной массы предпочтительно осуществлять двумя слоями с использованием экскаваторов с верхним и нижним черпанием.

4. Высота высокого вскрышного уступа должна быть кратна базовой высоте эксплуатационных горизонтов, при этом зона работы с высокими вскрышными уступами ограничена уступами базовой высоты со стороны верхних горизонтов, сложенных слабыми породами, со стороны угленасыщенной зоны и со стороны борта погашения.

5. Высота обрабатываемого слоя при отработке высокого вскрышного уступа выбирается по критерию минимума совокупных эксплуатационных затрат на разработку 1 м^3 вскрышных пород, которые находятся в гиперболической зависимости от мощности слоя, обрабатываемого определенным комплексом бурового, выемочно-погрузочного и горнотранспортного оборудования при условии соблюдения равенства скоростей подвигания забоя в каждом из слоев.

Достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций обеспечена применением современных методов анализа и моделирования, вычислительным экспериментом; использованием апробированных методов и положений теории открытой разработки, а также привлечением проектных и фактических материалов по предприятиям горнорудной и угольной промышленности; сопоставимостью теоретических и экспериментальных результатов исследований с практикой проектирования и эксплуатации карьеров, а также положительным опытом внедрения разработанных методик и программных средств в проектных институтах и на горных предприятиях.

Научная новизна:

1. Доказан факт, что чем ближе время перехода на высокие вскрышные уступы к периоду достижения максимального развития горных работ, тем больший прирост глубины карьера можно получить, так как при этом растёт градиент снижения текущего коэффициента вскрыши при повышении угла наклона рабочего борта с увеличением глубины карьера. Установлены зависимости возможного прироста глубины открытых горных работ при равенстве текущего и граничного коэффициентов вскрыши ($k_{тек}=k_{гп}$) от нормальной мощности и угла падения пласта, затрат на добычу угля и качества реализуемой угольной продукции.
2. Установлена закономерность изменения угла наклона рабочего борта от его конструкции на этапах перехода на высокие вскрышные уступы, представляющая собой семейство монотонно возрастающих кривых, ограниченных сверху и снизу гиперболами: нижняя – асимптотически стремится к значению угла между горизонтом и линией, соединяющей нижнюю бровку нижнего и верхнего уступов проектной высоты, верхняя – асимптотически стремится к значению угла между горизонтом и линией, соединяющей нижнюю бровку нижнего и верхнего высоких уступов.

Личный вклад автора состоит в обобщении технологических решений с оценкой параметров технологических процессов формирования и эксплуатации месторождений открытым способом с применением высоких уступов; создании и систематизации технологических схем отработки высокого уступа; разработке методов управления взрывом при отработке высоких вскрышных уступов; установлении закономерностей изменения параметров систем разработки высокими уступами и приращения границ карьеров; разработке принципов и методик выбора совокупности технических и технологических решений для обеспечения рациональных параметров карьера при реализации стратегии наиболее полной отработки месторождений открытым способом; разработке технологических рекомендаций по выбору рациональной технологии отработки высоких вскрышных уступов различными комплексами выемочно-погрузочного и горнотранспортного оборудования.

Практическая значимость работы – разработана технология эффективного перехода к отработке мощных угольных месторождений высокими уступами различными комплексами выемочно-погрузочного и горнотранспортного оборудования применительно к условиям месторождений Кузнецкого угольного бассейна, повышающая экономическую эффективность и достоверность проектных решений при открытой разработке месторождений.

Реализация работы в промышленности

Результаты исследований приняты к использованию ООО «Сибгеопроект», эффективность разработанных организационно-технических решений подтвер-

ждена актом внедрения на предприятиях ООО «КРУ Взрывпром», ПАО «Кузбасская топливная компания» с указанием полученного экономического эффекта.

Апробация работы

Основные положения диссертации и результаты исследований докладывались на XI Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири» (г. Кемерово, 2006), Научно-практических конференциях в Кузбасском государственном техническом университете (г. Кемерово, 2007-2008), VII Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах» (г. Кемерово, 2007), Международных научно-практических конференциях «Энергетическая безопасность России: новые подходы к развитию угольной промышленности» (г. Кемерово, 2010-2012), Международных научных симпозиумах «Неделя горняка» (г. Москва, 2011 – 2012, 2017, 2018), Международной конференции «Комбинированная геотехнология» (г. Магнитогорск, 2017), Научно-практической конференции с международным участием «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017» (г. Севастополь, 2017), Международной научно-практической конференции «Проблемы и решения в экологии горного дела» (г. Москва, 2017), Международной научно-практической конференции, посвященной 185-летию кафедры "Горное искусство" «Горное дело в 21 веке: технологии, наука, образование» (г. Санкт-Петербург, 2017), Международной научно-практической конференции «50 лет Российской научной школе комплексного освоения недр Земли» (г. Москва, 2017), Международной научно-технической конференции «Современные инновационные технологии в горном деле и первичной переработке минерального сырья» (г. Москва, 2018)

Публикации

Материалы диссертации опубликованы в 81 работе, в том числе в 12 статьях – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 16 статьях – в прочих изданиях, в 2 учебных пособиях и одной монографии, научная новизна подтверждена 50 патентами РФ.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из 6 глав, введения и заключения, содержит 145 рисунков, 88 таблиц, список литературы из 164 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе выполнен анализ технологических решений при отработке месторождений высокими уступами и определены перспективы развития инновационных геотехнологий с обоснованием параметров технологических процессов формирования и эксплуатации месторождений открытым способом с применением высоких уступов.

В области открытых горных работ потенциальными направлениями инноваций являются совершенствование способов вскрытия, систем разработки,

способов формирования карьерного пространства, технологий ведения горных работ и методов оптимизации их параметров, а также изыскание принципиально новых технологических и технических решений. Существенный вклад в решение указанных проблем внесли труды академиков Н.В. Мельникова, Н.Н. Мельникова, В.В. Ржевского, К.Н. Трубецкого, членов-корреспондентов РАН А.А. Пешкова, В.Л. Яковлева, докторов и кандидатов наук Ю.И. и К.Ю. Анистратовых, А.И. Арсентьева, В.А. Атрушкевича, Ж.В. Бунина, С.Д. Викторова, С.Е. Гавришева, В.А. Галкина, В.А. Ермолаева, И.Ф. Жарикова, П.Д. Зуркова, В.В. Истомина, С.В. Корнилкова, И.Ю. Леля, Н.А. Мацко, А.С. Ненашева, М.Г. Новожилова, В.А. Пикалова, С.И. Попова, С.П. Решетняк, А.Г. Секисова, А.В. Соколовского, П.И. Томакова, С.М. Федотенко, Г.Л. Фисенко, Г.А. Холоднякова, В.С. Хохрякова, Е.Ф. Шешко, О.В. Шпанского, Б.П. Юматова и многих других ученых.

Одним из путей существенного улучшения технико-экономических показателей на разрезах является переход на обработку вскрыши высокими (до 30-35м и более) уступами с применением нового выемочно-погрузочного оборудования.

В настоящее время условия по выбору высоты уступа в достаточной степени не освещены ни в нормах технологического проектирования, ни в методиках проектирования карьеров. Для принятия рациональных проектных решений необходимым является проведение технико-экономического обоснования критерия оптимальности параметров горнотехнической системы с применением высоких уступов на различных этапах эксплуатации месторождения.

Основное преимущество технологии обработки вскрыши высокими уступами заключается в возможности увеличения угла откоса рабочего борта карьера, снижения величины текущего коэффициента вскрыши, сокращения количества транспортных горизонтов и т.д. Развитие роботизированных геотехнологий извлечения из недр полезных ископаемых, не предполагающих участие человека в выполнении операционных процессов в опасной зоне ведения горных работ, делает возможным вовлечение в обработку запасов полезных ископаемых, расположенных в особо опасных и стесненных условиях.

Анализ изученности проблемы позволил сформулировать выше обозначенные цель и задачи исследований.

Во второй главе диссертации получила развитие теория проектирования открытой геотехнологии высокими уступами.

При обработке высокого уступа откос последующего разрабатываемого слоя пород (подустапа) продолжает предыдущий, вместе они составляют сплошной откос, формируя единую плоскость высокого уступа. Таким образом, к основным признакам высоких уступов относятся: послойная обработка уступа при взрывании на всю высоту и наличие единой (сплошной) плоскости откоса. Послойная обработка высоких уступов при транспортной технологии может быть реализована с помощью различных технических средств ведения выемочно-погрузочных работ.

Анализ типовых технологических схем отработки карьера высокими уступами позволил разработать и систематизировать технологические схемы отработки высокого породного уступа с использованием автотранспорта. Выбор приоритетного варианта производится с учетом характеристики массива пород, условий погрузки породы, последовательности отработки подступов и сочетания выемочно-погрузочного оборудования. Систематизированные типовые схемы разработки высокого вскрышного уступа при различной комбинации комплексов горного и транспортного оборудования представлены на рисунке 1.

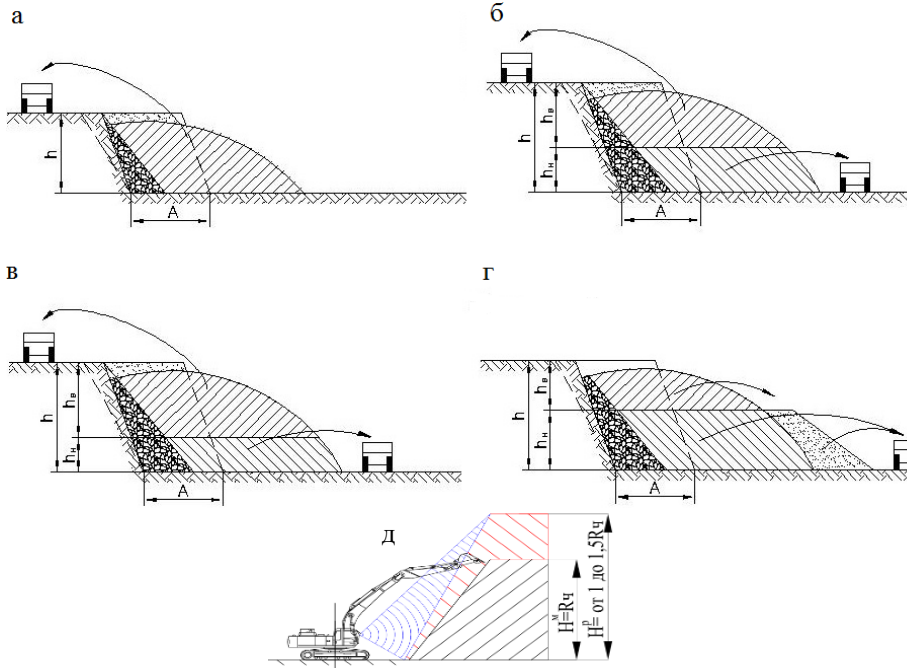


Рисунок 1 – Схемы разработки высокого вскрышного уступа в один и два слоя при использовании различных комплексов горного и транспортного оборудования: а – с использованием экскаватора ЭШ-10.70(ЭШ-14.50) для отработки уступа в один слой, но в разных режимах; б – с использованием экскаватора ЭШ-10.70(ЭШ-14.50) для отработки верхнего подступа и экскаватора ЭКГ-10 для отработки нижнего подступа; в – с использованием экскаватора ЭШ-10.70(ЭШ-14.50) для отработки верхнего подступа и экскаватора Cat.5130(Cat.385) для отработки нижнего подступа; г – с использованием экскаватора ЭКГ-12(ЭКГ-15) для отработки верхнего подступа и экскаватора РН-2800(ЭКГ-15) доставкой горной массы автотранспортом, д – с применением интеллектуального автономного горнотранспортного комплекса; h_b и h_n — высота верхнего и нижнего слоя соответственно, м; A — высота буровзрывной заходки, м; H_M — высота уступа при механизированной технике, м; H_p — высота уступа при роботизированной технике, м; R_q — высота черпания экскаватора, м

Важно отметить, что все технологические схемы предусматривают условия

движения грузопотока вскрышных пород из забоя на поверхность разреза исключительно в восходящем порядке. Однако в схемах *a*, *b* и *в* драглайн при разработке, как уступа в целом, так и верхнего слоя, выполняет транспортную работу путем подъема породы в ковше на верхнюю площадку уступа, в то время как в схеме *г* верхний экскаватор типа прямая механическая лопата сбрасывает породу на нижнюю площадку, где происходит погрузка всего объема взорванной породы, но большим по мощности экскаватором в кузов самосвала с последующей доставкой горной массы автотранспортом на верхнюю площадку уступа. С понижением горных работ снижение технико-экономических показателей при усложнении горнотехнических условий возможно компенсировать внедрением робототехнических систем.

Переход к технологии отработки высокими уступами осуществляется поэтапно. Каждый этап перехода характеризуется вовлечением в разработку дополнительного горизонта до начала погашения горных работ. Решение о вовлечении нового горизонта принимается при выполнении одновременно двух условий: не превышения текущим коэффициентом вскрыши граничного и соблюдения требуемого запаса устойчивости уступов и бортов карьера в целом. В качестве физических критериев эффективности перехода на технологию отработки высокими вскрышными уступами рассматриваются прирост балансовых запасов полезных ископаемых в карьерном поле и продление срока функционирования карьера.

При систематизации технологических схем (рисунок 2) основными классификационными признаками принята характеристика массива налегающих пород, технология погрузки горной массы в транспортные средства, количество слоев, обрабатываемых одним или несколькими экскаваторами, типы экскаваторов, сочетания выемочно-погрузочного оборудования.

К основным признакам высоких уступов относятся превышение высоты уступа технических параметров черпания экскаваторов, послынная отработка уступов и наличие сплошной единой плоскости откоса уступа после отработки очередного эксплуатационного блока. Разработка высокого вскрышного уступа производится в один или два слоя. При разработке высокого ($h = 30$ и 32 м) уступа в два слоя (одновременно) экскаватор, находящийся в верхнем слое, должен работать с опережением экскаватора, работающего в нижнем слое. Скорость продвижения экскаваторных забоев в верхнем и нижнем слоях вдоль фронта горных работ должна быть одинаковой. Послынная отработка высоких уступов при транспортной технологии может быть реализована с помощью различных технических средств и технологических схем ведения выемочно-погрузочных работ.



Рисунок 2 – Систематизация технологических схем обработки высокого уступа

Эффективность технологической схемы разработки высокого вскрышного уступа с выбранным комплексом горного и транспортного оборудования определялась по экономическому критерию, основанному на расчете эксплуатационных затрат на бурение скважин, выемочно-погрузочные работы и транспортировку породы до верхней площадки разрабатываемого вскрышного уступа. Затраты на транспортирование пород с верхней площадки разрабатываемого уступа до отвала вскрышных пород в сравнительных экономических расчётах не учитывались, поскольку для всех схем они одинаковы. Результаты расчетов по оптимизации высоты вскрышного уступа представлены на рисунке 3.

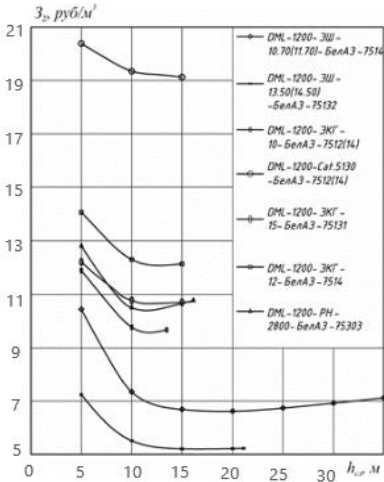


Рисунок 3 – Зависимость эксплуатационных затрат на 1 м³ вскрыши от высоты разрабатываемого слоя для разных вариантов горнотранспортного оборудования

Высота отрабатываемого слоя зависит от конструкции и технологических возможностей применяемого выемочно-погрузочного оборудования и не превышает 16 м, поскольку, как установлено в ходе исследования, переход с уступов высотой 15 м на уступы 30 м не обеспечивается простым сдвиганием слоев. При переходе в зоне сочленения (буферной или переходной зоне) возникают определенные закономерности в виде чередования числа заходов по горизонтам при углублении. В этой связи выглядит крайне проблематично технологически обеспечить процесс стравливания или учетверения уступов. Для всех типов экскаваторов и буровых станков с уменьшением высоты извлекаемого слоя наблюдается немонотонная зависимость удельных эксплуатационных затрат с точкой экстремума, определяющей оптимум (см. рисунок 3). Рост эксплуатационных затрат связан с сокращением полезного времени использования оборудования на основной работе и, как следствие, снижением производительности технологического оборудования. Кроме того, при взрывании уступов малой высоты уменьшается выход горной массы с 1 п.м скважины.

Выполненное экономическое сравнение технологических схем обработки высоких вскрышных уступов позволило установить, что уступы высотой 20 м при использовании для буровзрывной подготовки пород к экскавации станков DML-1200 предпочтительно разрабатывать шагающими драглайнами с погрузкой породы в автосамосвалы, размещенные на уровне стояния экскаватора (схема *a* на рисунке 1). Для разработки вскрышного уступа высотой 30 м наиболее эффективным является комплекс оборудования, состоящий из бурового

станка DML-1200, комплекта экскаваторов ЭШ-14.50 и ЭКГ-10 и автосамосвалов БелАЗ-75132 (схема б на рисунке 1). Вариант с использованием гидравлического экскаватора Cat-5130 по сравнению с экскаватором ЭКГ-10, менее эффективен (схема в на рисунке 1).

Определены граничные зоны применения высоких вскрышных уступов – уступы базовой высоты: со стороны верхних горизонтов, сложенные слабыми породами, со стороны угленасыщенной зоны и со стороны борта погашения (рисунок 4).

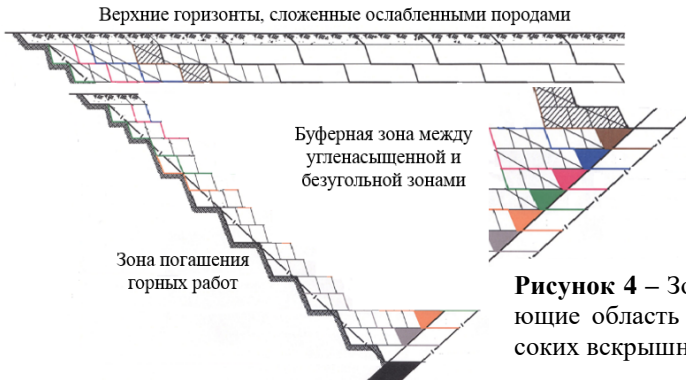


Рисунок 4 – Зоны, ограничивающие область применения высоких вскрышных уступов

При определении приращения глубины разреза при переходе на высокие уступы в период полного развития горных работ (рисунок 5) установлена зависимость изменения результирующего угла наклона рабочего борта от глубины горных работ (рисунок 6).

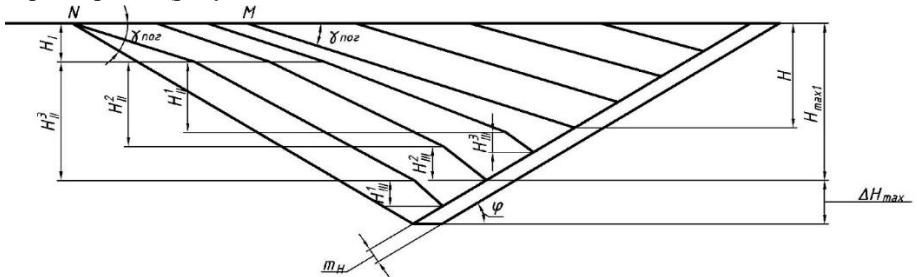


Рисунок 5 – Схема для определения приращения глубины разреза при переходе на высокие уступы в период полного развития горных работ ($k_T = k_{гр}$): m_H – нормальная мощность пласта угля; ϕ – угол падения пласта угля; $\gamma_{пог}$ – угол погашения горных работ; H_I – зона, затронутая выветриванием, H_{II} – зона с высокими вскрышными уступами; H_{III} – буферная (переходная) зона

Доказано, что при переходе на работу высокими уступами рабочий борт должен делиться на три зоны, каждая из которых характеризуется собственными параметрами ведения горных работ и порядком отработки (рисунок 6):

- I. Зона, затронутая выветриванием (H_I). В расчете принята 30 м. В данной зоне не допускается ведение вскрышных работ высокими уступами по причине того, что породы ослаблены и обеспечение необходимого запаса устойчивости при формировании высокого вскрышного уступа затруднительно.
- II. Зона с высокими ($h_{в.у.}=30$ и 20 м вместо соответственно $h_y=15$ и 10 м) вскрышными уступами (H_{II}).
- III. Буферная зона, или зона сочленения безугольной и угленасыщенной зон разреза (H_{III}). Формируется из уступов высотой, равной высоте нарезанных горизонтов. Ее особенность заключается в том, что при переходе на ведение вскрышных работ высокими уступами формирование первого, равно как и каждого последующего высокого уступа, не может быть обеспечено простым сдваиванием уступов.

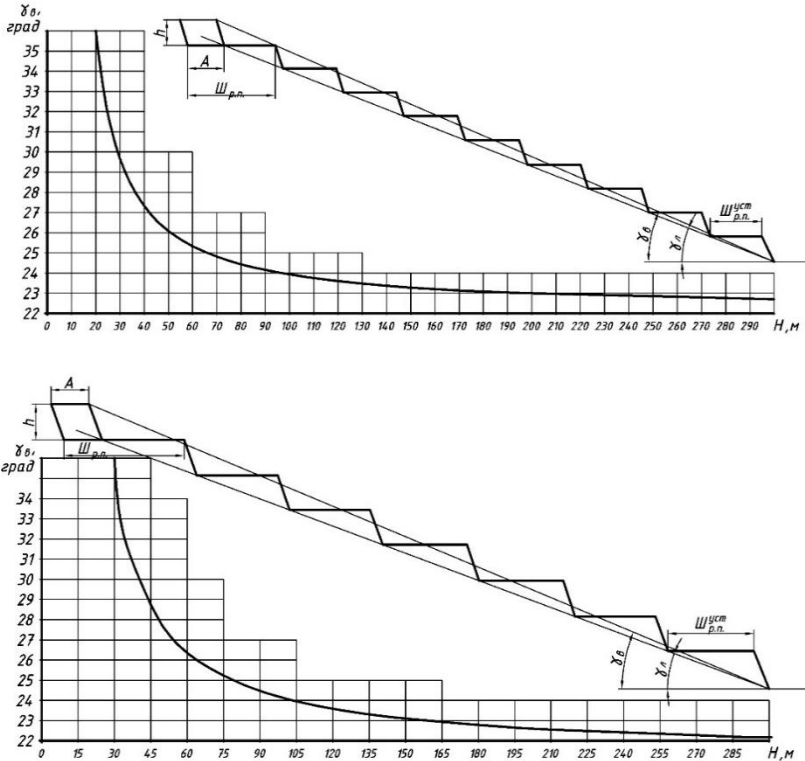


Рисунок 6 – Изменение угла наклона рабочего борта разреза ($\gamma_{в}$) в зависимости от глубины горных работ (H): h – высота уступа; A – ширина предохранительной бермы; $Ш_{р.н}$ – ширина рабочей площадки; $Ш_{р.н.ост}$ – остаточная ширина рабочей площадки: а) – при $h=10$ м, $A=15$ м, $Ш_{р.н}=36$ м ($\gamma_1=22^\circ$, $\gamma_{в}=23,5^\circ$, $Ш_{р.н.ост}=21$ м); б) при $h=15$ м, $A=15$ м, $Ш_{р.н}=48$ м ($\gamma_1=21^\circ$, $\gamma_{в}=23,5^\circ$, $Ш_{р.н.ост}=33$ м)

Определены требования к параметрам механизированных и роботизированных горнотехнических систем: ширины рабочей площадки, ширины транспортной бермы, высоты уступа, угла откоса уступа.

В третьей главе исследованы параметры технологических процессов формирования и эксплуатации месторождений открытой геотехнологией с высокими уступами.

Исследование влияния конструкции и высоты вскрышного уступа на схемы вскрытия и подготовки эксплуатационных горизонтов показало, что увеличение высоты разрабатываемого уступа оказывает существенное влияние на весь производственный цикл открытых горных работ, включающий вскрытие, подготовку, буровзрывные, выемочно-погрузочные работы и транспортирование горной массы. При ведении горных работ высокими уступами для отработки пологих месторождений предложена схема нарезки нового вскрышного горизонта (рисунок 7), предусматривающая определенную очередность ведения работ по формированию высокого вскрышного уступа. Новый горизонт (уступ) нарезается с помощью прямой механической или обратной гидравлической лопаты. Заходки обрабатываются последовательно по возрастанию порядкового номера 1, 2, 3...14, как показано на рисунке 7. При этом цветовая индикация и индекс каждого порядкового номера заходки показывают, когда становится возможным обработать ту или иную бестранспортную заходку. Например, заходка I может быть отработана после отработки заходок I', I'', а заходка II – после отработки заходок 1_{II}, 2_{II}, 3_{II}, заходка III – после отработки заходок 4_{III}, 5_{III}, и т.д.

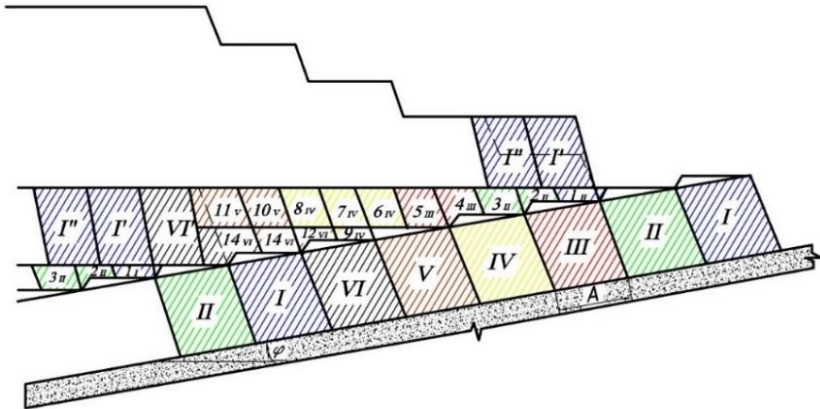


Рисунок 7 – Порядок нарезки нового вскрышного горизонта при ведении горных работ высокими уступами

Длина нарезаемой части нового вскрышного уступа (в направлении продвижения фронта горных работ) зависит от принятой высоты $h_{гр}^r$ и угла откоса α

этого рабочего уступа, а также от угла падения залежи φ , что графически показано на рисунке 8:

$$L_{mp}^r = L_1^r + L_2^r = \frac{h_{mp}^r}{tg\varphi} + \frac{h_{mp}^r}{tg\alpha} = h_{mp}^r \cdot \left(\frac{1}{tg\varphi} + \frac{1}{tg\alpha} \right). \quad (1)$$

Для размещения и нормального функционирования горного и транспортного оборудования при отработке вскрышных пород из вновь нарезанного уступа требуется формирование рабочей площадки, которая создается путем перемещения борта в зоне углубочной системы разработки на величину, равную двойной ширине заходки экскаватора. В связи с тем, что угол откоса уступа значительно выше угла наклона скользящего съезда, последний проводится под некоторым наклоном к бровке уступа (рисунок 9).

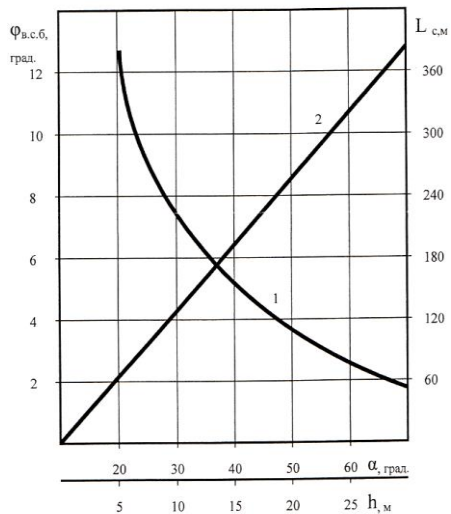
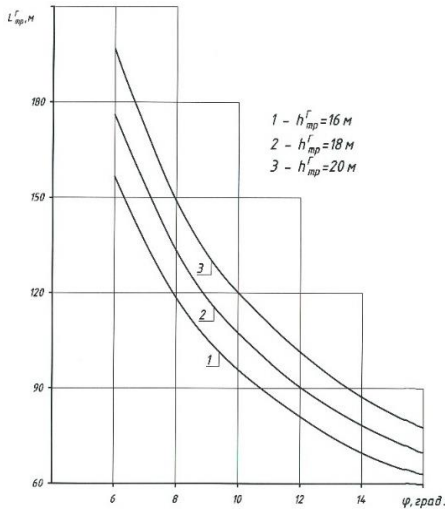


Рисунок 8 – Влияние на длину L_{mp}^r нарезанной части нового вскрышного уступа до полной высоты h_{mp}^r угла падения φ пласта угля при угле откоса уступа $\alpha = 70^\circ$

Рисунок 9 – Зависимости угла встречи $\Phi_{в.с.б}$ скользящего съезда с уступом от угла откоса уступа α (1) и длины съезда L_c и высоты уступа h (2) при угле наклона съезда, равном 80°

Исследование параметров буровзрывных работ при отработке высоких уступов позволило усовершенствовать конструкции зарядов глубоких скважин. Способность зарядов с воздушными промежутками растягивать во времени процесс трансформации энергии продуктов детонации в энергию деформирования горной породы – одна из основных характеристик дробления горных пород. Исследованиями доказано, что применение зарядов ВВ с воздушными промежутками при работе высокими уступами позволяет управлять объемной концентрацией энергии, что весьма важно при совместном взрывании различных по крепости и плотности смежных слоев горных пород. Определены

параметры конструкции заряда в зависимости от коэффициента крепости взрывааемых пород и обводненности массива.

При использовании зарядов с воздушными промежутками, равными одной четверти длины заряда, значительно увеличивается выход фракции размером 100–400 мм, снижается выход негабаритных кусков и уменьшается выход мелких фракций размером до 40–70 мм. Показано, что количество взрывчатого вещества, израсходованного на образование 1 м² новой поверхности в случае применения заряда с воздушными промежутками, на 10 % меньше, чем при сплошной конструкции заряда. Сейсмическое действие взрыва зарядов с воздушными промежутками оказалось в 1,3–1,6 раза меньшим, по сравнению со сплошными зарядами, что позволяет увеличить массу одновременно взрывааемых зарядов при обеспечении безопасности работ.

Предложены и внедрены способы рассредоточения заряда в скважине при работе высокими уступами с конструкцией устройств для их осуществления, которые выгодно отличаются от известных своей простотой и эффективностью. Наиболее эффективны способы с применением пневматического и подвесного затворов, позволяющие производить рассредоточения заряда ВВ в скважинах любой глубины, в том числе и в обводненных скважинах.

С целью интенсификации процесса дробления горных пород, снижения удельного расхода взрывчатых веществ, повышения качества дробления горной массы и снижения затрат на буровзрывные работы разработано универсальное запирающее устройство (УЗУ), предназначенное для локализации газообразных продуктов взрыва в зарядной полости в глубоких взрывных скважинах диаметром 140–270 мм (рисунок 10).

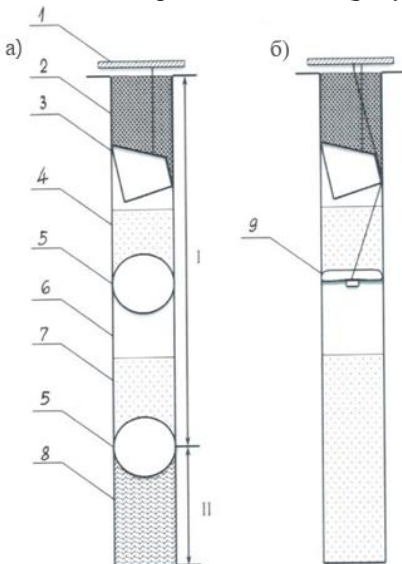


Рисунок 10 – Схема рассредоточенного скважинного заряда: а – с применением пневматических скважинных затворов и отсечением столба воды; б – с применением подвесного скважинного затвора; I – сухая часть скважины; II – обводненная часть скважины; 1 – опора; 2 – забоечный материал; 3 – УЗУ; 4 – верхняя часть рассредоточенного заряда; 5 – пневматический скважинный затвор; 6 – воздушный промежуток; 7 – неводоустойчивое ВВ в нижней части рассредоточенного заряда; 8 – водоустойчивое ВВ в нижней части рассредоточенного заряда; 9 – подвесной скважинный затвор

Испытаниями, проведенными на разрезах Краснобродский, Талдинский, Бачатский, Кедровский, Калтанский и Моховский «УК “Кузбассразрезуголь”», установлено существенное улучшение фракционного состава взорванной горной массы, что важно для последующей экскавации породы, так как при этом значительно увеличивается выход фракции размером +100÷+400 мм и снижается выход негабаритных кусков. Отмечено также уменьшение выхода мельчайших фракций размером до +40÷+70 мм, что способствует снижению запыленности рабочих зон горных выработок.

При взрывании высоких вскрышных уступов дополнительно к вышеперечисленному достигается также эффект уменьшения количества скважин и общего объема буровых работ.

В рамках исследований, применительно к высоким уступам, способов и устройств забойки было проведено в общей сложности 429 экспериментальных опытно-промышленных взрывов, в ходе которых испытывались УЗУ и их модификации. По результатам проведенных экспериментальных взрывов установлена зависимость, отражающая относительное снижение объема используемого ВВ $\Delta q/q$ от коэффициента крепости взрывааемых пород f при выполнении скважинной забойки с применением УЗУ:

$$\frac{\Delta q}{q} = 15 \ln f + 20, \quad (2)$$

где Δq - разность между базовым и фактическим удельным расходом ВВ, г/м³; q — базовый удельный расход ВВ, г/м³.

Применение УЗУ для забойки скважин при взрывании пород с коэффициентом крепости от 2 до 13 обеспечивает относительное снижение объема используемого ВВ, прямо пропорциональное крепости взрывааемых пород в диапазоне от 9,5 до 12,3 %. Рассредоточение заряда позволяет снизить удельный расход ВВ на 12,3÷15,8 %.

Оценка устойчивости уступов и бортов карьеров в целом выполнена с учетом объемного напряженного состояния массива, его структурного строения, тектонических нарушений, особенностей залегания продуктивных слоев, а также сложившейся геомеханической и горнотехнической ситуации. Коэффициент запаса устойчивости борта карьера, при условии отсутствия во вскрышном массиве согласно падающих с откосом высокого уступа поверхностей ослабления, определяется с учетом сдвигающих и удерживающих откос сил, действующих по потенциальной поверхности скольжения. Для Кузбасса безопасность ведения горных работ по условию устойчивости откосов высоких вскрышных уступов и рабочего борта разреза в целом будет обеспечивается при величине коэффициента запаса устойчивости не менее 1,2.

Доказано, что применение высоких вскрышных уступов при открытой разработке наклонных и крутопадающих месторождений обеспечивает рост полноты освоения запасов месторождения при одновременном повышении эффективности и обеспечении безопасности открытых работ со снижением экологической нагрузки на окружающую природную среду.

Четвертая глава диссертации посвящена исследованию условий эффективного перехода на высокие вскрышные уступы.

Исследования параметров перехода к работе высокими уступами проводились при рассмотрении реконструкции карьера в различные моменты времени (рисунок 11).

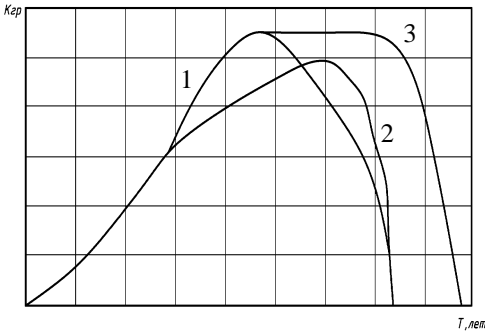


Рисунок 11 – Изменение $k_{тек}$ при работе с постоянной высотой уступа (1), при переходе к отработке вскрышных пород высокими уступами до того, как $k_{тек}=k_{гр}$ (2), при переходе к отработке вскрышных пород высокими уступами в момент $k_{тек}=k_{гр}$ (3)

Анализ графиков на рисунке 11 свидетельствует, что переход на работу высокими уступами во вскрышной зоне карьера позволяет перераспределить объемы вскрышных работ по времени, перенеся часть их на более поздний период, и, тем самым, снизить текущие объемы вскрыши, а как следствие, эксплуатационные затраты. При этом суммарная добыча полезных ископаемых остается неизменной как при работе по традиционной технологии, так и при переходе к ведению горных работ высокими уступами.

Показано, что переход к работе высокими уступами, завершаемый до начала погашения горных работ, предполагает перераспределение максимальных объемов вскрыши путем переноса их на более поздний период. Это позволяет в процессе разработки месторождения добиться выравнивания режима горных работ, сделать объем извлекаемой горной массы более равномерным и, тем самым, предотвратить скачкообразную динамику объемов вскрыши.

Наиболее привлекательным с экономической и экологической точек зрения вариантом перехода на высокие уступы является период полного развития горных работ, когда текущий коэффициент вскрыши достигнет значения граничного коэффициента вскрыши ($k_{тек}=k_{гр}$). При этом эффект достигается не за счет переноса части объемов вскрыши на более позднее время, а от увеличения добычи полезных ископаемых на данном месторождении за счет приращения глубины карьера.

В зависимости от различия горно-геологических условий был проведен анализ параметров технологии эффективного перехода на высокие вскрышные уступы. Исследования проводились с применением графического и графоаналитического методов, в результате чего были построены графики зависимостей влияния изучаемых факторов на время и глубину эффективного перехода к обработке месторождения высокими уступами. Рассматривалось условное месторождение при варьировании мощности пласта в диапазоне 15 – 45 м и изменении углов падения залежи от 15 до 45°, что определяет условия применения однобортной системы разработки. Изменение приращения конечной глубины карьера с увеличением горизонтальной мощности угольного пласта для различных углов падения приведено на рисунке 12. Полученная зависимость приращения конечной глубины карьера с ростом горизонтальной мощности пласта преимущественно прямолинейная и носит возрастающий характер.

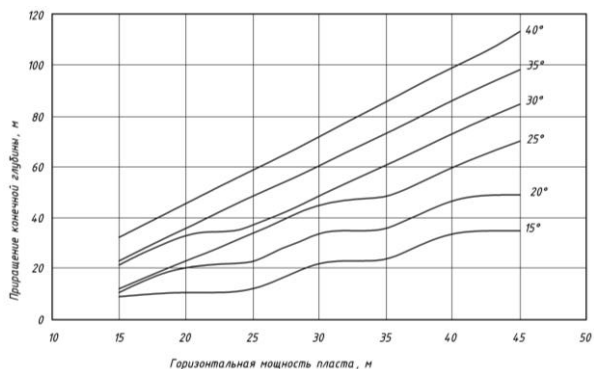


Рисунок 12 – Влияние горизонтальной мощности пласта угля при различных углах его падения φ на приращение конечной глубины карьера

В результате исследований установлено, что с увеличением граничного коэффициента вскрыши можно достичь большей

глубины карьера при постоянной мощности залежи. При сравнении различных вариантов отработки условного угольного месторождения общим является то, что с увеличением нормальной мощности (m_n) пласта угля и уменьшением угла его падения (φ), а также с улучшением качества угля и снижением затрат на добычу возрастает значение коэффициента вскрыши в период максимального развития горных работ $k_T = k_{гp}$ и, следовательно, увеличивается глубина разреза (H), с которой целесообразно осуществлять переход на высокие ($h = 30$ и 20 м) вскрышные уступы.

При этом объем вскрыши, обрабатываемой в более поздний период, сводится к минимуму. Обоснован выбор высоты вскрышного уступа на основе установленных зависимостей изменения эксплуатационных затрат от высоты разрабатываемого слоя. Определены рациональные технологические параметры отработки угольных месторождений высокими вскрышными уступами для различных значений граничного коэффициента вскрыши, мощности и угла падения угольного пласта.

Исследование влияния горнотехнических факторов на параметры эффективного перехода на высокие вскрышные уступы показало, что достигнуть максимального приращения конечной глубины можно за счет того, чтобы как можно дольше проработать в условиях равенства $k_{\text{тек}}=k_{\text{гр}}$. Если одновременно перейти на высокие уступы на всей рабочей зоне, то угол откоса рабочего борта резко увеличится, соответственно, упадет текущий объем вскрыши, это в свою очередь сократит часть возможного приращения глубины. Именно поэтому необходимо постепенно вовлекать новые горизонты в отработку после достижения момента, когда $k_{\text{тек}}=k_{\text{гр}}$. Следовательно, на каждом новом горизонте в идеале необходимо подобрать такое сочетание высоких уступов и уступов нормальной высоты, чтобы, управляя углом наклона рабочего борта, удерживать $k_{\text{тек}}$ максимально близким к значению $k_{\text{гр}}$. Для выполнения этой цели необходимо несколько лет, чтобы, вовлекая горизонт за горизонтом, полностью по всей рабочей зоне перейти на высокие уступы. Для того чтобы подчеркнуть длительность переход, в терминологии используется термин «период перехода». Уместно уточнить, что в определенных условиях (при малой глубине залегания или при недостаточной прочности обрабатываемых пород) переход на работу высокими вскрышными уступами может ограничиться появлением всего лишь одного высокого уступа. В этих случаях логично говорить о переходе, а не о периоде перехода, но количество таких случаев ограничено.

Предложенный способ открытой разработки месторождения с изменением границ карьера позволяет придавать бортам карьера углы откоса, равные углам откоса рабочих бортов, и расширять карьер до тех пор, пока текущий коэффициент вскрыши достигнет величины граничного коэффициента вскрыши. Точки верхнего контура карьера фиксируются в конечном положении, затем по известному положению верхних бровок определяется конечная глубина карьера, а углам откоса бортов придается максимально возможная величина на момент погашения открытых работ.

Изложенный способ перехода к рабочему борту с увеличенным углом откоса позволяет расширить границу карьера по верху, увеличить конечную глубину карьера на величину приращения ΔH и, как следствие, увеличить продолжительность эксплуатации месторождения открытым способом. Кроме того, применение данного способа позволяет управлять профилем рабочего борта карьера в процессе разработки месторождения и добиться выравнивания режима горных работ, то есть сделать его более равномерным.

Пятая глава диссертации посвящена разработке методики обоснования принципов и параметров освоения месторождения с применением высоких вскрышных уступов.

Выбор оптимальных вариантов разработки месторождений открытым способом на завершающей стадии эксплуатации карьера обеспечивается предлагаемой экономико-математической моделью ресурсосберегающей открытой технологии на основе критериев, учитывающих комплексное использование недр – минимальные эксплуатационные затраты на основные и вспомогательные технологические процессы при соблюдении всех эколого-экономических ограничений. В качестве физических критериев эффективности перехода на технологию отработки высокими вскрышными уступами в модели рассматриваются прирост балансовых запасов полезных ископаемых в карьерном поле и дополнительный срок функционирования карьера, который в среднем составляет 10-15 лет.

Согласно принципу определения конечной глубины открытых горных работ, опирающемуся на равенство граничного и текущего коэффициентов вскрыши, бортам карьера придают углы откоса, равные углам откоса рабочих бортов, и расширяют карьер до тех пор, пока текущий коэффициент вскрыши достигнет величины граничного коэффициента вскрыши. Дальнейшее развитие горных работ при сохранении угла откоса рабочего борта на прежнем уровне экономически нецелесообразно, поэтому именно в этот период переходят к погашению горных работ (см. рисунок 5). Точка М является границей горных работ на поверхности, по достижении которой приступают к погашению горных работ, при этом максимальная глубина карьера составит $H_{\max 1}$.

Переход к отработке рабочего борта высокими уступами осуществляется поэтапно. Каждый этап перехода характеризуется вовлечением в разработку дополнительного горизонта до начала погашения горных работ.

Аналогично определяются параметры: максимальная глубина карьера, приращение максимальной глубины, приращение границ карьера поверху, количество горизонтов, вовлекаемых дополнительно в разработку до начала погашения горных работ.

Приращение глубины горных работ является функцией глубины перехода к высоким уступам. Отношение возможного приращения глубины карьера к глубине начала перехода или к максимальной глубине горных работ, определенной по базовому варианту (без перехода), является величиной практически постоянной. Для самого широкого диапазона условий (мощности, угла падения пласта и $k_{гp}$) отношение приращения глубины к глубине начала перехода колеблется в диапазоне 0,226-0,233. Выявлено, что оно зависит от конструкции борта (деление на зоны, соотношения высоты уступа и ширины рабочей площадки, угла погашения горных работ).

Для определения изменения результирующего угла наклона рабочего борта в зависимости от глубины карьера и конструкции борта был разработан отдельный программный модуль (рисунок 13).

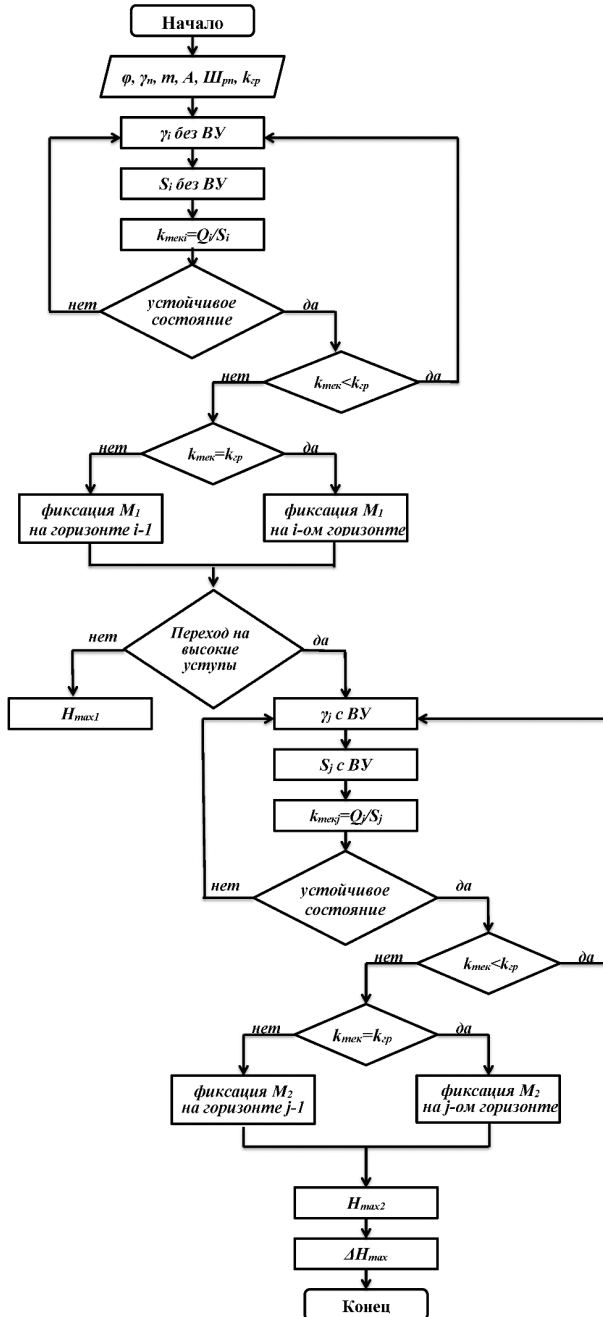


Рисунок 13 – Блок-схема алгоритма определения приращения конечной глубины горных работ

Алгоритм принятия решений о времени перехода на обработку высокими вскрышными уступами и условиях управления параметрами рабочей зоны представлен в виде методики автоматизированных расчетов, обеспечивающей целевой характер, что гарантирует получение результатов, близких к оптимальным.

Так, если мощность пласта 20 м, угол его падения 40° , граничный коэффициент вскрыши $10 \text{ м}^3/\text{т}$, переход следует начинать со 120 м, при этом угол рабочего борта $\beta=23,5^\circ$. То есть до глубины 120 м рабочая зона формируется уступами высотой 15 м. Закончится переход при глубине карьера 180 м, при этом угол наклона рабочего борта достигнет значения $\beta=29^\circ$. Далее следует переходить к погашению горных работ. При той же мощности пласта и угле падения пласта $\varphi=40^\circ$, но разном качестве добываемого угля значения $k_{\text{тек}}=k_{\text{гр}}$ меняются от 7 до $20 \text{ м}^3/\text{т}$; по графику можно определить, какого угла наклона рабочего борта можно достичь и когда следует переходить к погашению горных работ (рисунок 14).

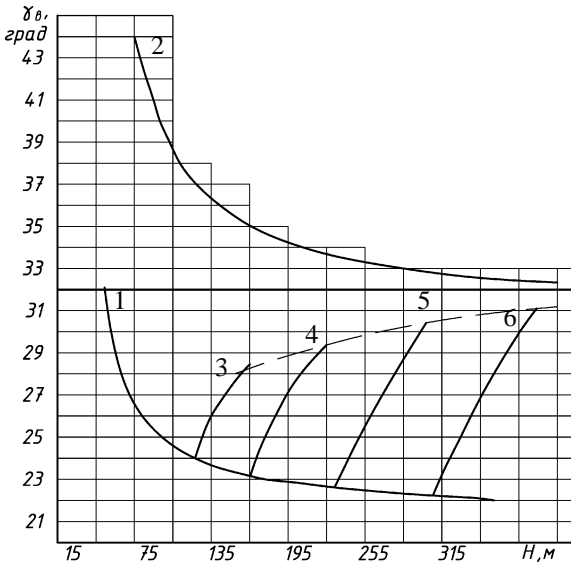


Рисунок 14 – Изменение угла наклона рабочего борта при работе с уступами высотой 15 м (1), при работе с уступами 30 м (2), при переходе на работу высокими уступами с $h=30$ м при: угле падения пласта угля $\varphi=40^\circ$ и мощности пласта угля $m=20$ м:
 3 – $k_{\text{тек}}=k_{\text{гр}}=7 \text{ м}^3/\text{т}$;
 4 – $k_{\text{тек}}=k_{\text{гр}}=10 \text{ м}^3/\text{т}$;
 5 – $k_{\text{тек}}=k_{\text{гр}}=15 \text{ м}^3/\text{т}$;
 6 – $k_{\text{тек}}=k_{\text{гр}}=20 \text{ м}^3/\text{т}$

Для выбора оптимальных технологических параметров карьера был составлен алгоритм, который сводится к последовательному формированию вариантов технологических схем разработки вскрышного уступа с различным сочетанием главных параметров горнотехнической системы.

Для анализа изменения главных параметров карьера на различных стадиях освоения месторождения разработана программа, позволяющая установить оптимальное сочетание параметров горнотехнической системы при заданных критериях оптимальности. Программа автоматизирует процесс оптимизации параметров горнотехнических конструкций, технологических процессов и

средств их механизации при обработке угольных месторождений высокими уступами, позволяет в автоматическом режиме анализировать изменения главных параметров карьера и на основе этого выбирать оптимальное сочетание горнотехнических и технологических параметров перехода на высокие вскрышные уступы в зависимости от принятых критериев оптимальности, определяемых в соответствии с заданным уровнем риска реализации принятых технологий.

Предложены технологические решения по уменьшению объемов остаточного выработанного пространства, площади и продолжительности изъятия нарушенных земель и, как следствие, снижению техногенной нагрузки на окружающую природную среду при разработке крупноплощадных месторождений с большой мощностью вскрышных пород.

В шестой главе диссертации выполнена технико-экономическая оценка и представлены рекомендации по внедрению высоких уступов на угольных месторождениях Кузбасса.

Добыча угля открытым способом в Кузбассе характеризуется рядом особенностей и на протяжении всего срока своего существования производилась в широком диапазоне изменения горно-геологических условий. С развитием горных работ вовлекались в разработку глубинные и нагорные части месторождений, осваивались новые участки, но уже с более сложным геологическим строением. Идет постоянное изменение как основных параметров рабочей зоны разреза в целом, так и параметров технологии обработки отдельных участков, угольно-породных блоков и уступов сложного строения.

На угольных разрезах Кузбасса, где разрабатывается не один, а свита пластов различной мощности с переменными углами падения, где протяженность карьерных полей достигает 5–7 км, практически всегда имеется резерв фронта вскрышных работ. Использование площади общего фронта работ по отдельным участкам разрезов в различные годы колеблется в диапазоне 50–80 %. С учетом этого оценка результатов промышленного внедрения организационно-технических решений по формированию рассредоточенных зарядов, скважинной забойки показала экономическую целесообразность перехода на высокие вскрышные уступы. При этом использование скважинных затворов при взрывании высоких вскрышных уступов с глубины скважин 8-9м и более, а универсальных запирающих устройств с глубины 9-10м и более обеспечивает экономический эффект от их использования, который находится в линейной зависимости от высоты одновременно взрываемого уступа.

Экономический эффект от внедрения технологии совершенствования конструкции заряда за период 2012-2017 гг. (установлено 5,5 млн устройств) составил 1,053 млрд руб. Для Тешского участка Осинниковского поля разреза Калтанский в результате перехода на высокие вскрышные уступы

прогнозируется увеличение добычи на 7,66 млн т. за весь период отработки, что в целом при минимизации воздействия на окружающую среду обеспечивает продление срока эксплуатации разреза на 3,5 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации предложены актуальные научно-технические решения по обоснованию условий и сроков эффективного перехода к отработке мощных угольных месторождений высокими вскрышными уступами с учетом горно-технических возможностей и установленных закономерностей изменения параметров систем разработки и приращения границ карьеров, что имеет важное социально-экономическое значение для развития горной промышленности России.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Научно обосновано, что условием эффективного освоения мощных угольных месторождений открытым способом является своевременный переход на высокие вскрышные уступы в период максимального развития горных работ при равенстве текущего и граничного коэффициентов вскрыши, обеспечивающий наибольшее приращение глубины карьера с оптимизацией объемов вскрыши.

2. Определены область и границы эффективного применения открытой геотехнологии с высокими вскрышными уступами при различных условиях залегания полезных ископаемых. Доказано, что для углубочной системы разработки с использованием автотранспорта при переходе на работу с высокими вскрышными уступами приоритетными являются горнотехнические системы с непосредственной погрузкой породы в автосамосвалы, либо с предварительным сбросом породы (из верхнего слоя) на концентрационный транспортный горизонт для последующей погрузки всего объема вскрыши из верхнего и нижнего слоев высокого уступа в автосамосвалы.

3. Разработаны и систематизированы технологические схемы отработки высокого вскрышного уступа с использованием автотранспорта с учетом характеристики массива пород, условий погрузки породы, последовательности отработки слоев и сочетания выемочно-погрузочного оборудования. Предпочтительными являются схемы отработки высокого вскрышного уступа двумя слоями: верхнего – с использованием шагающего экскаватора для отработки верхнего слоя с погрузкой на уровне его стояния, нижнего – экскаватором прямой механической лопата.

4. Обоснован критерий оптимальности технологических решений, предусматривающий отнесение начала осуществления перехода к ведению горных

работ высокими вскрышными уступами на момент времени, в который текущий коэффициент вскрыши достигает граничного значения при соблюдении требуемого запаса устойчивости откосов для безопасного ведения работ при дальнейшем увеличении угла рабочего борта, что позволяет, не превышая значений граничного коэффициента вскрыши, увеличить глубину открытых разработок и извлечь дополнительно проектных запасов полезных ископаемых на 18-23 %.

5. Определены требования к обоснованию параметров механизированных и роботизированных горнотехнических систем при применении высоких уступов: ширины рабочей площадки, ширины транспортных берм, высоты слоев и уступов, угла откоса уступа. Разработана программа для ЭВМ, автоматизирующая процесс оптимизации параметров горнотехнических конструкций, технологических процессов и средств их механизации, позволяющая при отработке угольных месторождений высокими вскрышными уступами установить и визуализировать параметры горнотехнической системы, такие как глубина карьера, положение и угол наклона рабочего борта в момент начала перехода на высокие уступы, количество и порядок формирования высоких вскрышных уступов на каждом этапе перехода, угол наклона рабочего борта на каждом этапе перехода, приращение границ карьера по глубине и по верху, объем обрабатываемой вскрыши и добываемого угля на каждом этапе перехода.

6. Доказано, что подготовку высоких вскрышных уступов целесообразно вести с применением зарядов ВВ с воздушными промежутками для управления объемной концентрацией энергии и улучшения качества подготовки массива к выемке. Определены оптимальные параметры конструкции заряда, зависящие от коэффициента крепости взрываемых пород и обводненности скважин. Установлено, что при применении универсального запирающего устройства для забойки скважин при взрывании пород с коэффициентом крепости от 2 до 13 относительное снижение объема используемого ВВ прямо пропорционально крепости взрываемых пород и изменяется в диапазоне от 9,5 до 12,3 %.

7. Установлено, что рассредоточение зарядов в скважинах уменьшает негативное воздействие взрыва на окружающую среду и позволяет снизить удельный расход ВВ до 15,8 %, при этом эффект увеличивается с ростом высоты взрываемого уступа. Получена экспоненциальная зависимость величины абсолютного снижения массы используемого ВВ от крепости взрываемых пород f при взрывании для экскаваторов с емкостью ковша $32 \div 35 \text{ м}^3$.

8. Предложены технологические решения по уменьшению объемов выработанного пространства, площади и продолжительности нарушения земель и, как следствие, снижению техногенной нагрузки на окружающую природную

среду при разработке мощных месторождений с большой мощностью вскрышных пород с использованием высоких уступов. Установлено, что выбор периода перехода к работе высокими уступами позволяет управлять приращением конечной глубины открытых горных работ и объемами вскрыши, которые могут быть перенесены на более поздний период отработки месторождения. При этом приращение конечной глубины открытых горных работ и объем породы, переносимой на более поздний период отработки, зависят от момента начала перехода на высокие вскрышные уступы и являются величинами обратно пропорциональными.

9. Обоснованы рекомендации по выбору рациональной технологии отработки высоких вскрышных уступов различными комплексами выемочно-грузочного и горнотранспортного оборудования на разрезах Кузбасса, что позволит увеличить объем обрабатываемых запасов угля и улучшить технико-экономические показатели. Достигнутый экономический эффект, подтвержденный актами внедрения, составил 1,053 млрд руб.

Основные научные и практические результаты диссертации изложены в следующих опубликованных работах автора Федотенко В.С.:

В изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России

1. Оптимизация взрывных работ на разрезах угольной компании «Кузбассразрезуголь» / И.Е. Сапрыкин, С.М. Федотенко, С.В. Гришин, С.В. Кокин, В.С. Федотенко // Горный журнал. – 2006. - №11. – С. 65-67.
2. Ненашев, А.С. Технология проведения скользящего съезда (выездной траншеи) экскаватором «обратная лопата» / А.С. Ненашев, В.С. Федотенко // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – №5. – С. 23-27.
3. Макшеев, В.П. Параметры буровзрывных работ при разработке вскрышных пород высокими уступами на транспорт / В.П. Макшеев, В.С. Федотенко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – №2. – С. 308-311.
4. Федотенко, В.С. Выбор комплексов горного и транспортного оборудования для отработки высокого вскрышного уступа / В.С. Федотенко // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – №2. – С. 31-36.
5. Макшеев, В.П. Обоснование периода перехода к разработке вскрышных пород высокими уступами при транспортной технологии / В.П. Макшеев, А.С. Ненашев, В.С. Федотенко // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – №3. – С. 55-58.
6. Федотенко, Н.А. Проблемы управления негативным воздействием на окружающую среду при добыче угля открытым способом. Актуальные решения / Н.А. Федотенко, В.С. Федотенко, Н.В. Елесина // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2012. – №6. – С. 64-66.
7. Федотенко, В.С. Корректировка проектной документации при переходе к разработке вскрышных пород высокими уступами / В.С. Федотенко //

Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – №1. С. 39-41.

8. Совершенствование способов буровзрывной подготовки пород на предприятиях ОАО «УК “Кузбассразрезуголь”» / С.В. Матва, С.В. Кокин, Ю.И. Литвин, С.И. Протасов, Г.Н. Корнев, В.С. Федотенко // Уголь. – 2015. – № 12 /1077/. – С. 24-31.

9. Ковалев, В.А. Технологические аспекты перехода разрезов Кузбасса на ведение вскрышных работ высокими уступами / В.А. Ковалев, В.С. Федотенко // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015. – № 5. – С. 5-14.

10. Рьльникова, М. В. Применение автоматизированных систем и технологий при открытой разработке угольных месторождений высокими вскрышными уступами / М. В. Рьльникова, В. С. Федотенко, Е. Н. Есина // Горный журнал. – 2018. – №1. – С. 32-36.

11. Федотенко, В.С. Влияние горно-геологических и горнотехнических факторов на параметры горнотехнических систем отработки угольных месторождений с высокими вскрышными уступами / В. С. Федотенко, М. В. Рьльникова, Е. Н. Есина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Специальный выпуск №38. – 2017. – С. 166-180.

12. Совершенствование нормативно-правовой базы обеспечения экологической и промышленной безопасности горных работ – основа внедрения инновационных геотехнологий / М. В. Рьльникова, В. С. Федотенко, Е. Н. Есина // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2018. – №5.

Патентах

1. Патент на изобретение 2285895 РФ. Способ рассредоточения заряда в скважине / С. М. Федотенко, В. П. Кузнецов, В. С. Федотенко. – Оpubл. 20.10.2006, Бюл. № 29.

2. Патент на изобретение 2285896 РФ. Способ рассредоточения заряда в скважине / С. М. Федотенко, В. П. Кузнецов, В. С. Федотенко. – Оpubл. 20.10.2006, Бюл. № 29.

3. Патент на изобретение 2319924 РФ. Способ рассредоточения заряда в скважине / С. М. Федотенко, В. С. Федотенко. – Оpubл. 20.03.2008, Бюл. № 8.

4. Патент на изобретение 2364828 РФ. Способ формирования комбинированного заряда / С. М. Федотенко, С. В. Кокин, В. С. Федотенко. – Оpubл. 20.08.2009, Бюл. № 23.

5. Патент на изобретение 2371671 РФ. Подвесная скважинная забойка / С. М. Федотенко, В. С. Федотенко, Н. А. Федотенко. – Оpubл. 27.10.2009, Бюл. № 30.

6. Патент на изобретение 2374603 РФ. Способ рассредоточения заряда в обводненной скважине и устройство для его осуществления / С. М. Федотенко, С. В. Кокин, И. В. Стрельников, В. А. Митюковский, В. С. Федотенко. – Оpubл. 27.11.2009, Бюл. № 33.

7. Патент на изобретение 2379621 РФ. Способ рассредоточения заряда в скважине / С. М. Федотенко, В. С. Федотенко, Н. А. Федотенко. – Оpubл. 20.01.2010, Бюл. № 2.

8. Патент на изобретение 2401416 РФ. Способ рассредоточения заряда в скважине / С. М. Федотенко, В. С. Федотенко, Н. А. Федотенко. – Оpubл. 10.10.2010, Бюл. № 28.
9. Патент на изобретение 2409805 РФ. Подвесная скважинная забойка / С. М. Федотенко, В. С. Федотенко, Н. А. Федотенко. – Оpubл. 20.01.2011, Бюл. № 2.
10. Патент на изобретение 2419063 РФ. Подвесная скважинная забойка / С. М. Федотенко, С. В. Гришин, С. В. Кокин, В. А. Митюковский, В. С. Федотенко. – Оpubл. 20.05.2011, Бюл. № 14.
11. Патент на изобретение 2435132 РФ. Способ забойки скважин / В. С. Федотенко, С. В. Кокин, А.С. Кокина, С. М. Федотенко. – Оpubл. 27.11.2011, Бюл. № 33.
12. Патент на изобретение 2425324 РФ. Способ формирования комбинированного заряда / В. С. Федотенко, Е. Л. Резников, С. М. Федотенко. – Оpubл. 27.07.2011, Бюл. № 21.
13. Патент на изобретение 2441197 РФ. Подвесная скважинная забойка / В. С. Федотенко, С. М. Федотенко, Е. В. Мордовин. – Оpubл. 27.01.2012, Бюл. № 3.
14. Патент на изобретение 2452859 РФ. Способ осушения взрывного блока при бестранспортной технологии добычи угля / В. С. Федотенко. – Оpubл. 10.06.2012, Бюл. № 16.
15. Патент на изобретение 2454541 РФ. Способ осушения породугольного массива / В. С. Федотенко. – Оpubл. 27.06.2012, Бюл. № 18.
16. Патент на изобретение 2459178 РФ. Подвесная скважинная забойка / В. С. Федотенко, Я. О. Литвин, В. П. Макшеев, С. М. Федотенко. – Оpubл. 20.08.2012, Бюл. № 18.
17. Патент на полезную модель 123135 РФ. Подвесная скважинная забойка / В. С. Федотенко, Е. Л. Резников, В. П. Макшеев, С. М. Федотенко. – Оpubл. 20.12.2012, Бюл. № 35.
18. Патент на изобретение 2482442 РФ. Способ зарядания слабообводненных нисходящих скважин / В. С. Федотенко, Н. О. Антонов, С. М. Федотенко, Н. В. Елесина. – Оpubл. 20.05.2013, Бюл. № 14.
19. Патент на полезную модель 128312 РФ. Подвесная скважинная забойка / В. С. Федотенко, Н. О. Антонов, С. М. Федотенко. – Оpubл. 20.05.2013, Бюл. № 14.
20. Патент на полезную модель 128313 РФ. Подвесная скважинная забойка / В. С. Федотенко, С. Д. Курбанов, С. М. Федотенко, А. К. Федотенко. – Оpubл. 20.05.2013, Бюл. № 14.
21. Патент на изобретение 2490463 РФ. Способ отработки рабочего борта карьера высокими уступами / В. С. Федотенко, А. С. Ненашев, В. П. Макшеев. – Оpubл. 20.08.2013, Бюл. № 23.
22. Патент на изобретение 2492324 РФ. Способ определения границ карьера / В. С. Федотенко, А. С. Ненашев. – Оpubл. 10.09.2013, Бюл. № 25.
23. Патент на полезную модель 132179 РФ. Комбинированная скважинная забойка / И. Б. Катанов, В. С. Федотенко, С. М. Федотенко. – Оpubл. 10.09.2013, Бюл. № 25.

24. Патент на изобретение 2498210 РФ. Способ ведения взрывных работ / В. С. Федотенко, А. С. Ташкинов, В. П. Макшеев, С. М. Федотенко, С. В. Кокин, Д. А. Поклонов. – Оpubл. 10.11.2013, Бюл. № 31.
25. Патент на полезную модель 136823 РФ. Устройство для забойки скважин / В. С. Федотенко, А. С. Гришин, Н.О. Антонов, Н. В. Елесина, С. М. Федотенко. – Оpubл. 20.01.2014, Бюл. № 2.
26. Патент на полезную модель 136883 РФ. Подвесная скважинная забойка / В. С. Федотенко, Н. В. Елесина, Н. А. Федотенко, С. М. Федотенко. – Оpubл. 20.01.2014, Бюл. № 2.
27. Патент на изобретение 2506533 РФ. Подвесная скважинная забойка / В. С. Федотенко, Н. А. Федотенко, Н. В. Елесина, С. М. Федотенко. – Оpubл. 10.02.2014, Бюл. № 4.
28. Патент на полезную модель 138075 РФ. Устройство для пылеподавления / В. С. Федотенко, Н. В. Елесина, Н. А. Федотенко, С. М. Федотенко. – Оpubл. 27.02.2014, Бюл. № 6.
29. Патент на полезную модель 138115 РФ. Подвесная скважинная забойка / В. С. Федотенко, Н. В. Елесина, Н. А. Федотенко, С. М. Федотенко. – Оpubл. 27.02.2014, Бюл. № 6.
30. Патент на изобретение 2511326 РФ. Способ пылеподавления при взрывных работах / В. С. Федотенко, М. В. Струпаева, М. Г. Самарцев, С. М. Федотенко, Н. В. Елесина, С. Л. Джавальян. – Оpubл. 20.02.2014, Бюл. № 5.
31. Патент на полезную модель 140585 РФ. Устройство для рассредоточения заряда взрывчатого вещества в скважине / В. С. Федотенко, Н. В. Елесина, Н. А. Федотенко, С. М. Федотенко. – Оpubл. 10.05.2014, Бюл. № 13.
32. Патент на изобретение 2513731 РФ. Способ пылеподавления при взрывных работах / В. С. Федотенко, С. М. Федотенко, Н. В. Елесина. – Оpubл. 20.04.2014, Бюл. № 11.
33. Патент на полезную модель 146118 РФ. Устройство для создания промежутка в скважине / В. С. Федотенко, Н. В. Елесина, Н. А. Федотенко, С. М. Федотенко. – Оpubл. 27.09.2014, Бюл. № 27.
34. Патент на полезную модель 146134 РФ. Устройство для создания промежутка в скважине / В. С. Федотенко, Н. В. Елесина, Н. А. Федотенко, С. М. Федотенко. – Оpubл. 27.09.2014, Бюл. № 27.
35. Патент на полезную модель 147084 РФ. Скважинный затвор / В. С. Федотенко, К. А. Голубин, В. А. Митюковский, Н. О. Антонов, С. М. Федотенко. – Оpubл. 27.10.2014, Бюл. № 30.
36. Патент на полезную модель 150393 РФ. Устройство для рассредоточения скважинного заряда / В. С. Федотенко, Н. А. Федотенко, Н. В. Елесина, С. М. Федотенко, М. Ю. Сигарев. – Оpubл. 20.02.2015, Бюл. № 5.
37. Патент на полезную модель 150394 РФ. Устройство для создания промежутка в скважине / В. С. Федотенко, М. Ю. Сигарев, Н. В. Елесина, Н. А. Федотенко, С. М. Федотенко. – Оpubл. 27.02.2015, Бюл. № 6.
38. Патент на изобретение 2542792 РФ. Подвесная скважинная забойка / В. С. Федотенко, Н. В. Елесина, Н. А. Федотенко, С. М. Федотенко. – Оpubл. 27.02.2015, Бюл. № 6.

39. Патент на полезную модель 152453 РФ. Устройство для создания промежутка в скважине / В. С. Федотенко, М. Ю. Сигарев, Н. О. Антонов, С. М. Федотенко. – Оpubл. 27.02.2015, Бюл. № 15.
40. Патент на полезную модель 152866 РФ. Устройство для создания промежутка в скважине / В. С. Федотенко, М. Ю. Сигарев, С. М. Федотенко, В. А. Митюковский. – Оpubл. 20.06.2015, Бюл. № 17.
41. Патент на изобретение 2563894 РФ. Способ определения рационального расхода взрывчатого вещества / В. С. Федотенко, И. А. Ташкинов, А. С. Ташкинов, С. М. Федотенко. – Оpubл. 27.09.2015, Бюл. № 27.
42. Патент на полезную модель 156633 РФ. Устройство для создания расщелочения заряда в скважине / В. С. Федотенко, Н. А. Федотенко, Н. В. Елеси́на, С. М. Федотенко, А. В. Яцук, Г. Н. Корнев. – Оpubл. 10.11.2015, Бюл. № 31.
43. Патент на полезную модель 156400 РФ. Устройство для создания промежутка в скважине / В. С. Федотенко, М. Ю. Сигарев, С. М. Федотенко, К. А. Голубин. – Оpubл. 10.12.2015, Бюл. № 34.
44. Патент на изобретение 2570797 РФ. Способ определения влияния гранулометрического состава породы на параметры экскавации / А. Б. Исaiченков, В. С. Федотенко, М. Ю. Сигарев, Е. А. Кононенко. – Оpubл. 10.12.2015, Бюл. № 34.
45. Патент на полезную модель 164607 РФ. Устройство для расщелочения зарядов в скважинах / В. С. Федотенко, С. М. Федотенко. – Оpubл. 10.09.2016, Бюл. № 25.
46. Патент на полезную модель 165651 РФ. Пробка для скважин / С. М. Федотенко, В. С. Федотенко. – Оpubл. 27.10.2016, Бюл. № 30.
47. Патент на полезную модель 166111 РФ. Устройство для создания промежутка в скважине / В. С. Федотенко, С. М. Федотенко. – Оpubл. 20.11.2016, Бюл. № 32.
48. Патент на полезную модель 166771 РФ. Подвесная скважинная забойка / С. М. Федотенко, В. В. Чаплыгин, И. В. Деревяшкин, А. В. Яцук. – Оpubл. 10.12.2016, Бюл. № 34.
49. Патент на изобретение 2630004 РФ. Способ ведения буровзрывных работ с экранированием / В. С. Федотенко, В. В. Чаплыгин, М. Ю. Сигарев, С. М. Федотенко. – Оpubл. 05.09.2017, Бюл. № 25.
50. Патент на изобретение 2637667 РФ. Способ открытой разработки месторождений полезных ископаемых / В. С. Федотенко, Я. О. Литвин, В. А. Ермолаев, А. А. Сысоев, А. В. Селюков. – Оpubл. 06.12.2017, Бюл. № 34.

Монографии и учебные пособия

1. Ненашев, А.С. Технология ведения горных работ на разрезах при разработке сложноструктурных месторождений: учебное пособие / А.С. Ненашев, В.Г. Проноза, В.С. Федотенко. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2010. – 248 с.
2. Катанов, И.Б. Низкоплотные материалы в конструкции скважинных зарядов на карьерах / И.Б. Катанов, В.С. Федотенко. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2012. – 124 с.

3. Ненашев, А.С. Технологические аспекты перехода на высокие вскрышные уступы: учебное пособие / А.С. Ненашев, В.С. Федотенко. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2017. – 209 с.

В прочих изданиях

1. Федотенко, С.М. Оптимизация взрывных работ в ООО «Кузбассразрезуголь-Взрывпром» / С.М. Федотенко, В.С. Федотенко // «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири»: материалы XI Международной научно-практической конференции. – Кемерово. – ГУ КузГТУ, 2006. – С. 149-152.

2. Федотенко, С.М. К вопросу утилизации автомобильных шин в Кузбассе / С.М. Федотенко, В.С. Федотенко // «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири»: материалы XI Международной научно-практической конференции. – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2006. – С. 152-156.

3. Федотенко, В.С. Осушение скважин с использованием установок Legra / В.С. Федотенко // «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири»: материалы XI Международной научно-практической конференции. – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2006. – С. 156-159.

4. Морар, Петру Проблемы утилизации изношенных автомобильных шин в Кузбассе / Петру Морар, С.М. Федотенко // Сборник докладов студентов и аспирантов по материалам 52-й научно-практической конференции в Кузбасском государственном техническом университете. – Кемерово, 2007. – С. 52-56.

5. Митюковский, В.А. Осушение скважин для ведения буровзрывных работ с использованием установок Legra на рзрзах Кузбасса / В.А. Митюковский, В.С. Федотенко // Сборник докладов студентов и аспирантов по материалам 53 й научно-практической конференции. – Кемерово, 2008. – Т. I. – С. 27-29.

6. Федотенко, В.С. Технологии оптимизации ведения взрывных горных работ / С.М. Федотенко, В.С. Федотенко, С.В. Кокин, В.А. Митюковский // ТЭК и ресурсы Кузбасса. – 2008. – №5. – С. 62-64.

7. Совершенствование конструкции скважинного заряда / И.Б. Катанов, В.С. Федотенко // «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности»: труды XVI международной научно-практической конференции. – Кемерово, 2012. – С. 67-69.

8. Федотенко, В.С. Обоснование периода и целесообразности перехода к отработке вскрыши высокими уступами как фактор выбора стратегии освоения месторождения / В.С. Федотенко, Н.А. Федотенко // «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности»: труды XVI международной научно-практической конференции. – Кемерово, 2012. – С. 144-146.

9. Ненашев, А.С. Система разработки с внутренним отвалообразованием для крутопадающих и наклонных угольных месторождений Кузбасса / А.С. Ненашев, С.М. Федотенко, В.С. Федотенко // ТЭК и ресурсы Кузбасса. – 2013. – №4 (69). – С. 48-54.

10. Федотенко, В.С. Специфика геомеханического обеспечения перехода на отработку угольных месторождений высокими уступами / В.С. Федотенко,

Е.Н. Есина // Комбинированная геотехнология: ресурсосбережение и энергоэффективность: труды Международной научно-технической конференции. – Магнитогорск, 2017. – С. 160-162.

11. Рыльникова, М.В. Обоснование параметров горнотехнических систем на завершающей стадии эксплуатации месторождения при применении роботизированной геотехнологии с высокими вскрышными уступами / М.В. Рыльникова, В.С. Федотенко: труды Международной научно-технической конференции, г.Магнитогорск. Магнитогорск, 2017. – С. 117-120.

12. Рыльникова, М.В. Обоснование параметров эффективного перехода на высокие вскрышные уступы для повышения полноты освоения месторождения открытым способом и экологической безопасности горных работ / М.В. Рыльникова, В.С. Федотенко, Е.Н. Есина // «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017»: сб.статей по материалам научно-практической конференции с международным участием (11 – 15 сентября 2017 г.). – Севастополь: СевГУ, 2017. – С. 1302-1305.

13. Рыльникова, М.В. Эколого-экономическая эффективность открытой разработки наклонных и крутопадающих месторождений высокими вскрышными уступами / М.В. Рыльникова, В.С. Федотенко, Е.Н. Есина // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы и решения в экологии горного дела». – М.: ВНИИПромтехнологии, 2017. – С.24-28.

14. Рыльникова, М.В. Применение автоматизированных систем и технологий при открытой разработке угольных месторождений высокими вскрышными уступами / М.В. Рыльникова, В.С. Федотенко, Е.Н. Есина // «Горное дело в 21 веке: технологии, наука, образование»: сб.тезисов докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 185-летию кафедры "Горное искусство". – СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2017. – С. 63-64.

15. Федотенко, В.С. Определение рациональных технологических параметров отработки угольных месторождений высокими вскрышными уступами / В.С. Федотенко, Е.Н. Есина // «50 лет Российской научной школе комплексного освоения недр Земли»: материалы Международной научно-практической конференции, 13-16 ноября 2017 г. – М.: ИПКОН РАН, 2017. – С.331-335.

16. Федотенко, В.С. Разработка технологии эффективного перехода к отработке мощных угольных месторождений высокими вскрышными уступами / В.С. Федотенко // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр: материалы Международной научной школы академика К.Н.Трубецкого, 26-29 июня 2018 г. – М.: ИПКОН РАН, 2018. – С.328-331.