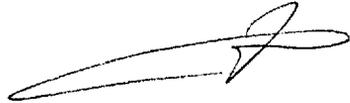


УДК 622.817.4: 622.272

На правах рукописи



ЩЕРБА Владимир Яковлевич

**РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ
И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ БОРЬБЫ
С ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ
В КАЛИЙНЫХ РУДНИКАХ**

Специальности: 05.05.06 - “Горные машины”,
25.00.20 - “Геомеханика, разрушение горных
пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика”

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2006

Работа выполнена в закрытом акционерном обществе «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством»

Научный консультант:
доктор технических наук

Прушак Виктор Яковлевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

Земсков Александр Николаевич

доктор технических наук

Линник Юрий Николаевич

доктор технических наук

Пастоев Игорь Леонидович

Ведущая организация – ОАО «Сильвинит»
618540, Пермская обл., г. Соликамск, ул. Мира, 14.

Защита состоится “25” октября 2006г. в 15 час. 00 мин. на заседании Диссертационного совета Д 212.137.03 при Московском государственном открытом университете по адресу: 107996, г. Москва, ул. Павла Корчагина, д. 22 ауд. № 408

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного открытого университета.

Автореферат разослан 25 сентября 2006 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук



В.В. Мазуренко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Проблема управления газодинамическими процессами при подземной разработке месторождений полезных ископаемых остается весьма актуальной вот уже на протяжении более чем ста лет практически на всех калийных месторождениях Европы, Азии, Америки и Африки. Газодинамические явления в калийных рудниках представляют собой одно из наиболее мощных природных явлений, с которыми приходится сталкиваться при ведении подземных горных работ. Основные факторы газодинамических явлений, такие как их внезапность, высокая скорость разлета кусков породы, значительные объемы разрушаемых горных пород, выделение горючих и ядовитых газов, ударная воздушная волна, к сожалению, нередко приводят к трагическим и катастрофическим последствиям. С самого начала разработки Старобинского месторождения калийных солей проблема предсказания, управления и предотвращения газодинамических явлений потребовала самого пристального внимания ученых и горняков-практиков. Статистика газодинамических явлений свидетельствует о том, что за время отработки сильвинитовых пластов на Старобинском месторождении калийных солей произошло более 230 газодинамических явлений, которые нанесли значительный материальный ущерб предприятиям и приводили, в отдельных случаях, к гибели шахтеров.

Различным аспектам решения общей проблемы управления и предотвращения газодинамических явлений в калийных рудниках (разработка теорий, способов, создание технических средств, механизмов и т.д.) были посвящены работы Айруни А.Т., Андрейко С.С., Докучкина А.В., Зборщика М.П., Земскова А.Н., Кантовича Л.И., Красникова Ю.Д., Красноштейна А.Е., Линника Ю.Н., Матвиенко Н.Г., Мещерякова В.В., Пастоева И.Л., Петросяна А.Э., Проскуракова Н.М., Скочинского А.А., Топчиева А.В., Трубецкого К.Н., Ходота В.В., Хорина В.Н. и многих других ученых. В этих научных работах накоплен и обобщен большой фактический материал, решен целый ряд теоретических и инженерно-технических задач. Вместе с тем, указанная проблема еще далека от окончательного решения. Так остается нерешенной проблема такого вида газодинамических явлений в калийных рудниках как внезапные отжимы призабойной части пород, сопровождающиеся разрушением и выносом разрушенной породы в выработку. На Старобинском месторождении калийных солей зафиксирована новая природная опасность – внезапные выбросы соли и газа из почвы за крепью сопряжения в лавах, отрабатывающих слои Третьего калийного пласта. Кроме того, увеличивается интенсивность ведения горных работ, разрабатываются новые технологии, усложняются горно-геологические условия. Практика ведения горных работ требует создания и широкого применения эффективных способов управления газодинамическими процессами при ведении подготовительных и очистных работ. Установлено, что строящиеся 5 и 6 рудники Старобинского месторождения калийных солей с точки зрения проявления газодинамических явлений будут еще более опасными. На сегодня остаются нерешенными проблемы исследования зависимости газодина-

мических явлений от характеристик используемой горно-добычной техники, в частности формы исполнительного органа горно-добычного комбайна, управления газодинамическими явлениями путем использования специальных эффективных технических средств, применительно к условиям калийных рудников. В первую очередь речь идет о создании нового высокопроизводительного комбайна, обеспечивающего в условиях калийных рудников оптимальную форму забоя и защиту шахтеров от газодинамических явлений. Кроме того, необходимо обеспечить дальнейшее развитие механико-математических моделей и геомеханическое обоснование методов прогноза и способов управления газодинамическими явлениями. При этом особое внимание следует уделить такому слабо изученному вопросу, как моделирование и исследование системы «горно-добычная техника – массив горных пород с очагом газодинамического явления», рассматривая данную систему как единый объект. В соответствии с требованиями практики ведения горных работ необходимо дальнейшее совершенствование способов предотвращения газодинамических явлений в условиях применения высокопроизводительных добычных комплексов.

Таким образом, проблема дальнейшей разработки безопасных и эффективных способов, а также создания новых технических средств борьбы с газодинамическими явлениями в калийных рудниках является актуальной и имеет большое теоретическое и практическое значение.

Связь работы с крупными научными программами и темами.

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с комплексными научно-техническими программами Государственного комитета Республики Беларусь по промышленности и межотраслевым производствам, Белорусского государственного концерна по нефти и химии, а также программами организационно-технических мероприятий, направленных на повышение безопасности работ на промышленных объектах «РУП «ПО «Беларуськалий». В выполнении научно-исследовательских работ автор принимал участие как ответственный исполнитель и научный руководитель. Диссертационная работа обобщает результаты исследований по темам, выполненным при участии и под руководством автора (№№ гос. регистрации 01850048106, 84058723, 87137548, 01910005145, 01920008634, 199467).

Цель работы – разработка безопасных и эффективных способов и создание новых технических средств борьбы с газодинамическими явлениями (внезапные отжимы призабойной части массива; внезапные выбросы соли и газа из почвы за крепью сопряжения в лавах и др.) в условиях калийных рудников.

Основная идея работы заключается в обосновании и целенаправленном использовании в качестве технического средства борьбы с газодинамическими явлениями проходческо-очистного комбайна со сферически-плоской и конусообразной формой забоя, а также в обосновании совместного воздействия специальных технических средств и способов управления газодинамическими явлениями.

Задачи исследований. Для достижения намеченной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработка математической модели напряженно-деформированного со-

стояния породного массива с очагом газодинамических явлений в окрестностях забоя одиночной выработки при варьировании его пространственной формы;

2. Определение рациональной формы забоя для отработки участков, опасных по отжигам пород из призабойной части;

3. Выявление закономерностей разрушения калийной соли режущим инструментом и установление зависимостей сил, действующих на резец, определение рациональных параметров и схем расстановки режущего инструмента, разработка методики расчета режимов работы исполнительного органа комбайна;

4. Разработка рациональных параметров компоновочных узлов (технического задания на создание) проходческо-очистного комбайна со сферически-плоской и конусообразной формой забоя;

5. Выявление закономерностей управления энергией в выбросоопасной зоне при бурении в соляном массиве врубовых скважин большого диаметра, разработка методики расчета и определение оптимальных параметров буровзрывных работ для инициирования выбросов соли и газа;

6. Разработка способов управления газодинамическими процессами в калийных рудниках на основе искусственного инициирования выброса соли и газа и технических средств их реализации;

7. Экспериментальные и промышленные испытания разработанных способов и технических средств борьбы с газодинамическими явлениями.

Методы исследований включают: анализ, сравнение и научное обобщение выполненных работ и исследований по изучаемому вопросу; общенаучные методы аналогий, синтеза, идеализации и построения гипотез; методы натурального шахтного эксперимента и опытно-промышленных испытаний; методы математического и компьютерного моделирования; методы и подходы геомеханики, механики машин и механизмов, механики деформируемого твердого тела, геофизики. При получении и обработке фактического материала использовались визуальные наблюдения, зарисовки, фотографирование, прямые замеры результатов механического и взрывного воздействия на соляной породный массив.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Математическая модель напряженно-деформированного состояния породного массива с очагом газодинамических явлений в окрестностях забоя одиночной выработки при варьировании его пространственной формы.

2. Способы управления газодинамическими процессами в забое подготовительной выработки путем выбора рациональной формы забоя.

3. Методы расчета режимов работы исполнительного органа комбайна и определение оптимальной совокупности его основных параметров для создания сферически-плоской и конусообразной формы забоя.

4. Закономерности управления энергией в выбросоопасной зоне соляного породного массива при использовании врубовых скважин большого диаметра.

5. Закономерности влияния параметров буровзрывных работ на эффективность управления газодинамическими процессами при ведении подготовительных и очистных работ.

6. Способы управления газодинамическими процессами на основе искусственного инициирования выброса соли и газа и технические средства их реализации.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

1. Впервые разработана математическая модель напряженно-деформированного состояния соляного породного массива с очагом газодинамического явления в окрестности забоя одиночной выработки плоской, сферически-плоской и конусообразной формы;

2. Установлены параметры рациональной формы забоя для отработки участков калийных пластов, опасных по газодинамическим явлениям;

3. Установлены новые закономерности разрушения калийной соли режущим инструментом и зависимости сил, действующих на резец, рациональные режимы работы, параметры и схемы расстановки режущего инструмента исполнительного органа проходческо-очистного комбайна для сферически-плоской и конусообразной формы забоя, применительно к условиям калийных рудников;

4. Разработаны новые рациональные параметры компоновочных узлов проходческо-очистного комбайна для создания в массиве горных пород сферически-плоской и конусообразной формы забоя;

5. Выявлены новые закономерности управления энергией в выбросоопасной зоне соляного породного массива при использовании врубовых скважин большого диаметра;

6. Выявлены новые закономерности влияния параметров буровзрывных работ на эффективность управления газодинамическими процессами при ведении подготовительных и очистных работ в калийных рудниках;

7. Разработаны новые способы управления газодинамическими процессами на основе искусственного инициирования выбросов соли и газа в зонах геологических нарушений.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

- корректной постановкой теоретических задач и строгостью применяемого математического аппарата;

- использованием больших объемов фактических материалов, полученных на калийных рудниках, выполнением большого объема лабораторных и натурных исследований, применением современных методов анализа и обработки статистического материала;

- положительными результатами опытно-промышленных испытаний проходческо-очистных комбайнов со сферически-плоской и конусообразной формой забоя и способов предотвращения газодинамических явлений из почвы горных выработок и в зонах геологических нарушений;

- хорошей сходимостью теоретических и экспериментальных результатов (в пределах 80-85%);

- положительными результатами опытно-промышленных испытаний способов управления газодинамическими процессами в зонах геологических нарушений.

Практическая значимость работы заключается в том, что все выполненные исследования доведены до научно обоснованных, экспериментально подтвержденных, применимых в инженерной практике методов и алгоритмов, представляющих собой научно-методическую базу, позволившую, в свою очередь, создать эффективные технические средства борьбы с газодинамическими явлениями в калийных рудниках.

Результаты работы использованы в отраслевых методических и нормативных документах.

На РУП «ПО «Беларуськалий» внедрены:

1. Рекомендации по применению параметров буровзрывных работ с врубными скважинами большого диаметра для инициирования выбросов соли и газа из выбросоопасных геологических нарушений при проведении передовой выработки. – 2000 г.;

2. Рекомендации по дегазации пород почвы при отработке лавами слоев II, III Третьего пласта на участках выемочных столбов, опасных по газодинамическим явлениям из почвы горных выработок. – 2004 г.

Разработанные параметры компоновочных узлов (технические задания на создание) проходческо-очистных комбайнов и технические требования к их исполнительным органам были использованы на ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» при создании новых комбайнов со сферически-плоской и конусообразной формой забоя, предназначенных для отработки участков калийных месторождений, опасных по внезапным отжимам пород из призабойной части. Комбайны успешно прошли опытно-промышленные испытания на РУП «ПО «Беларуськалий».

Экономический эффект от внедрения способа управления выбросоопасностью путем искусственного инициирования выброса соли и газа в компенсационную выработку при пересечении гидромеханизированными комплексами выбросоопасных зон составляет 56,2 млн. руб. РФ в год. Экономическая эффективность способа управления газодинамическими процессами в зоне комбинированного геологического нарушения путем его дегазации и разгрузки составляет 10,4 млн. руб. РФ в год.

Личный вклад автора заключается:

- в разработке основной идеи работы, постановке задач исследований, разработке методологии и методики их решения;

- в установлении общих закономерностей напряженно-деформированного состояния массива в окрестности забоя одиночной подготовительной выработки плоской, сферически-плоской и конусообразной формы с учетом источника газодинамического явления;

- в разработке технического задания и методики расчета режимов работы исполнительного органа проходческо-очистного комбайна для придания забоя подготовительной выработки сферически-плоской и конусообразной формы;

- в обосновании возможности бурения скважин большого диаметра для инициирования выбросов соли и газа буровзрывными работами;

- в разработке технических средств и технологических решений для предотвращения газодинамических явлений в разрабатываемых калийных пластах;

- в непосредственном участии в экспериментальных работах и промышленных испытаниях, анализе полученных данных, составлении схем, получении графиков, диаграмм, выводе аналитических и корреляционных зависимостей.

Апробация результатов диссертации. Основные научные положения и результаты диссертационной работы докладывались и получили положительную оценку на II Международной научно-технической конференции «Проблемы безопасности жизнедеятельности» (Солигорск, 1999), на семинарах-совещаниях Проматомнадзора Республики Беларусь по обмену опытом надзора за безопасным ведением горных работ и комплексным использованием полезных ископаемых на Старобинском месторождении калийных солей (Солигорск, 2000-2005), на Международных научно-технических конференциях «Охрана труда в подземных и открытых шахтах и рудниках» (Болгария, Варна, 1998-2002), на технических совещаниях РУП «ПО «Беларуськалий» (Солигорск, 2000-2005), на научно-технических советах ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» (1999-2005).

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 43 научные работы общим объемом 922 страницы, в том числе монографий – 3, статей в научных журналах – 19, статей в научных сборниках – 16, получено патентов на изобретения – 5.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, шести глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Общий объем работы 278 страниц, в том числе 156 страниц машинописного текста, 104 рисунка, 32 таблицы. Список использованных источников включает 212 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В КАЛИЙНЫХ РУДНИКАХ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И БОРЬБЫ С ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ

Газодинамические явления происходят в виде внезапных и искусственно инициированных выбросов соли и газа, обрушений пород кровли, сопровождающихся газовыделениями, отжимов призабойной части пород, сопровождающихся звуковыми эффектами, разрушением и выносом разрушенной породы в горную выработку. Внезапность, большая энергия и высокая скорость разрушения массива соляных пород при газодинамических явлениях

приводят к травмированию, а иногда, к гибели шахтеров, разрушению дорогостоящего горного оборудования, значительным простоям высокопроизводительных добычных комплексов, создают психологическую и социальную напряженность в рабочих коллективах рудников. В диссертационной работе выполнен подробный анализ общей проблемы прогнозирования и управления газодинамическими процессами в калийных рудниках, рассмотрены технические средства и технологии предупреждения и борьбы с газодинамическими явлениями. Показано, что несмотря на достигнутые успехи в решении целого ряда теоретических и практических задач, практика ведения горных работ в калийных рудниках свидетельствует о том, что проблема газодинамических явлений на калийных месторождениях и в настоящее время остается актуальной и не решенной.

В работе выполнен анализ общей проблемы прогнозирования и управления газодинамическими процессами в калийных рудниках, рассмотрены технические средства и технологии предупреждения и борьбы с газодинамическими явлениями. Проблемы исследования зависимости газодинамических явлений от характеристик используемой горно-добычной техники, в частности формы исполнительного органа горно-добычного комбайна, а также управления газодинамическими явлениями путем использования специальных эффективных технических средств, применительно к условиям калийных рудников на сегодня остаются нерешенными. Выполнено геомеханическое обоснование методов прогноза и способов управления газодинамическими явлениями, моделирование и исследование системы «горно-добычная техника – массив горных пород с очагом газодинамического явления», рассматривая данную систему как единый объект. В соответствии с требованиями практики ведения горных работ необходимо дальнейшее совершенствование способов предотвращения газодинамических явлений в условиях применения высокопроизводительных добычных комплексов.

В работе выдвинута и обоснована гипотеза о том, что при использовании комбайнового способа проведения горных выработок предотвращать газодинамические явления можно путем создания рациональной формы забоя. Поэтому, выполнение полного комплекса теоретических и модельных (компьютерных и на моделях в лабораторных и натуральных условиях) исследований, изучение, создание и внедрение проходческо-очистных комбайнов, позволяющих в условиях калийных рудников предотвращать газодинамические явления из забоя подготовительной выработки путем выбора рациональной формы исполнительного органа, является актуальной задачей.

Результаты выполненных исследований подтвердили возможность управления газодинамическими явлениями путем изменения формы исполнительного органа комбайна, что, в свою очередь, позволяет создавать рациональную форму забоя выработки.

С учетом изложенного была поставлена цель и сформулированы задачи проведенных исследований.

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ЗАБОЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СОЛЯНОГО ПОРОДНОГО МАССИВА

Газодинамические явления в виде отжимов призабойной части пород происходят при проходке подготовительных горных выработок на Третьем калийном пласте Старобинского месторождения. Общее количество отжимов призабойной части пород составляет 36% от общего количества газодинамических явлений, имевших место на месторождении. Интенсивность отжимов призабойной части пород, которые происходят из груди забоя, обычно не превышает несколько тонн, но совершаемая ими работа угрожает жизни шахтеров и вызывает разрушение отдельных конструктивных элементов дорогостоящих проходческих комбайнов. Форма породного обнажения (форма контура выработки, в том числе и ее забоя) имеет одно из определяющих значений на вид напряженного состояния и на значения его отдельных компонентов, а, следовательно, и на формирование зон разрушения вокруг породного обнажения. Исследования механизма инициирования газодинамических явлений в подготовительных забоях показали, что управлять газодинамическими процессами можно путем создания рациональной формы забоя. Кроме того, путем изменения напряженно-деформированного состояния можно управлять газодинамическими процессами, поэтому изучение напряженно-деформированного состояния в окрестности забоя выработки при различной его топологии является важным и необходимым элементом разработки эффективных мер управления газодинамическими явлениями.

Горнодобычные комбайны, в отличие от других типов машиностроительной техники, необходимо рассматривать в системе «комбайн – массив горных пород», так как два эти элемента единой системы оказывают взаимное воздействие друг на друга. Нагрузка на элементы (особенно исполнительный орган) комбайна существенным образом зависит не только от физико-механических свойств пород, но и от напряженно-деформированного состояния массива, формирующегося в окрестности режущего органа комбайна. Зная все компоненты напряженно-деформированного состояния массива в окрестности забоя, можно определить тип и величину нагрузки на режущий орган комбайна, что позволяет правильно определить режим работы исполнительного органа комбайна.

В этой части работы изложены результаты исследований, касающихся выбора и построения геомеханических моделей, компьютерных расчетных методик и математического моделирования пространственного напряженно-деформированного состояния соляного породного массива в окрестности забоя выработки плоской, сферически-плоской и конусообразной формы.

Геомеханические процессы в породных массивах являются одними из

наиболее сложных с точки зрения адекватного качественного и тем более количественного их описания на основе математического моделирования. Качественным критерием приемлемого математического решения задач геомеханики является ясная интерпретация, достаточно просто и четко объясняющая получаемые числовые и экспериментальные результаты. Это является возможным лишь тогда, когда в качестве исходной используется физически обоснованная гипотеза механического поведения породного массива, учитывающая сложные граничные условия, гетерогенность строения и состава толщи пород и т.д. Главная задача компьютерного моделирования заключается в том, чтобы по результатам выполнения модельных исследований можно было дать необходимые ответы о качественных и количественных особенностях и эффектах изучаемого явления в натуральных условиях.

Методом граничных элементов построены расчетные схемы для моделирования пространственного напряженно-деформированного состояния соляного породного массива в окрестности забоя. На основании построенных расчетных компьютерных схем решены модельные задачи для изучения геомеханического состояния массива в окрестности забоя различной пространственной конфигурации и с учетом наличия тектонических трещин. Это позволило подтвердить, что управление газодинамическими процессами в окрестности забоя подготовительной выработки может осуществляться путем выбора рациональной формы забоя. Показано, что сферически-плоская форма забоя по сравнению с плоской формой обеспечивает более устойчивое состояние соляного породного массива впереди забоя за счет существенного снижения уровня действующих в массиве напряжений и деформаций (рис. 1,2), при этом позволяет в 5-8 раз уменьшить объем разрушенной при газодинамических явлениях породы, а также изменить направление выноса разрушенной породы и газа. При сферически-плоской форме забоя газосолевой поток при газодинамических явлениях направлен к центру выработки на исполнительный орган комбайна, что практически исключает вероятность воздействия газосолевого потока в призабойном пространстве на шахтеров.

Анализ деформированного состояния показывает, что в результате проведения выработки впереди забоя формируются области с горизонтальными деформациями растяжения, направленными перпендикулярно забою и способствующие прорастанию трещин, параллельных обнажению. При этом если из некоторой точки забоя провести луч в направлении движения забоя, то деформации растяжения достигают максимума на некотором расстоянии от забоя. Это расстояние максимально на оси выработки и составляет для обеих форм забоя порядка 0,5 м. Таким образом, поверхность, на которой реализуются максимальные растягивающие деформации, принимает форму линзы, примыкающей к забою. Однако, для плоского забоя линза охватывает весь забой, а для сферически-плоского – только грудь забоя. Также следует отметить, что сферическая форма забоя по сравнению с плоской снижает растягивающие деформации на оси выработки на 10-12%, а по периметру забоя на величину до 30-35%.

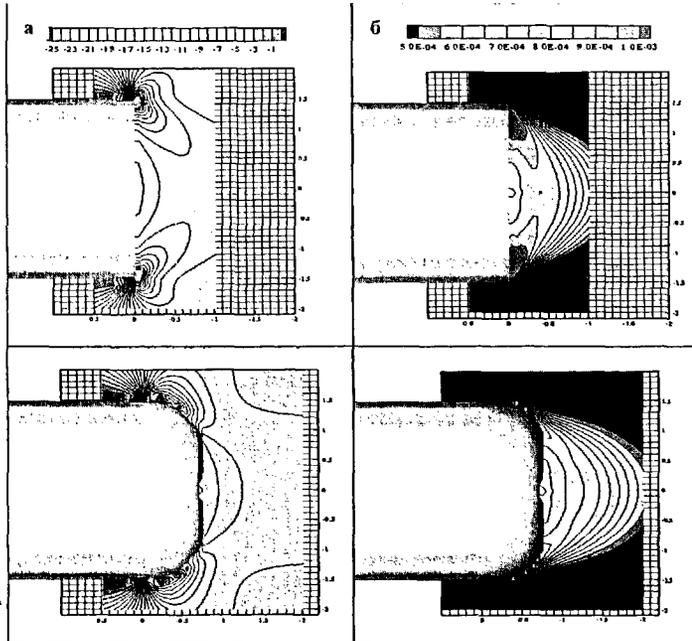


Рис.1. Распределение вертикальных напряжений (а) и горизонтальных (перпендикулярных забою) растягивающих деформаций (б) в вертикальном сечении забою для выработок с плоской и сферически-плоской формой забою

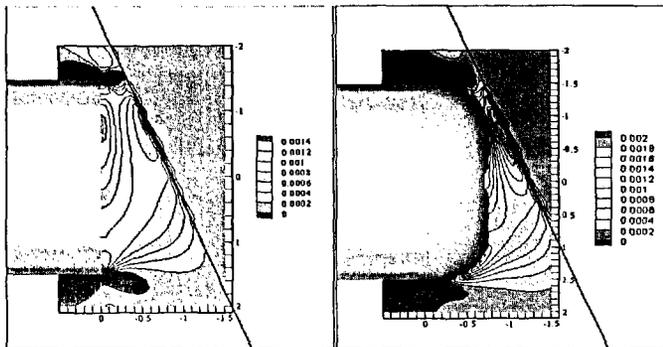


Рис.2. Распределение горизонтальных (перпендикулярных забою) растягивающих деформаций в окрестности забою в случае наклонной под углом 20° к забою вертикальной трещины с газом под давлением 5 МПа

Несмотря на очевидные преимущества сферически-плоской формы по сравнению с обычной плоской формой забоя, следует, однако, констатировать, что сферически-плоская форма забоя (рис.1) имеет достаточно протяженный плоский участок. Поэтому создание такой формы забоя позволяет изменить картину напряженно-деформированного состояния в массиве главным образом в зонах сферической формы границы забоя, что и подтверждено компьютерным моделированием.

С точки зрения геомеханики, наиболее рациональным является создание сферической формы забоя. Однако технически данную форму забоя создать весьма сложно. В то же время это и не является целесообразным. Достаточно уменьшить размер плоской части забоя. Развитие идеи управления газодинамическими явлениями путем изменения топологии забоя выработки с учетом требования уменьшения размера плоской части забоя, позволяет утверждать, что конусообразная форма забоя выработки также является эффективным решением поставленной проблемы. Выполнены исследования, касающиеся формирования нагрузки на исполнительный орган комбайна при конусообразной форме забоя. Схема действия внешних усилий на исполнительный орган комбайна представлена на рис.3: Q – усилия на плоскую часть со стороны забоя (горизонтальная составляющая) и два вектора R , действующие на наклонные части (вертикальные компоненты). В свою очередь вектора R можно разложить на составляющие: $\vec{R} = (\vec{N}, \vec{T})$, действующие соответственно перпендикулярно и вдоль наклонной поверхности. Важным является то, что согласно направлению действия вектора R компонента T всегда направлена на забой, а не в выработанное пространство. Таким образом, конусообразная форма забоя позволяет часть усилий направить обратно в массив.

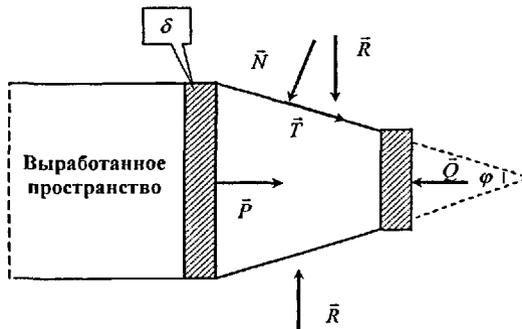


Рис.3. Принципиальная схема определения усилий, действующих на исполнительный орган конусообразной формы

Согласно расчетам общая нагрузка P на исполнительный орган комбайна от воздействия давления от источника газодинамических явлений и дополнительного напряженно-деформируемого состояния, формирующегося в окрестности забоя при передвижении исполнительного органа на величину δ в массив:

$$P = Q - 2T \cos \frac{\varphi}{2} \quad [1]$$

Из формулы [1] следует, что при конусообразной форме забоя общее давление на исполнительный орган значительно уменьшается по сравнению с обычной формой забоя.

Были сформулированы модельные задачи для изучения напряженно-деформированного состояния породного массива в окрестностях забоя выработок конусообразной формы и построены расчетные схемы. Результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния породного массива с очагом газодинамического явления (трещина с газом под давлением 5 МПа) в окрестности забоя показали, что конусообразная форма забоя по сравнению с плоской позволяет существенно до 8 раз и более уменьшить возможный объем отжатой породы.

Доказано, что, при использовании комбайнового способа проведения горных выработок, предотвращать газодинамические явления можно путем создания рациональной сферически-плоской или конусообразной формы забоя. Кроме того, на основе полученных количественных и качественных характеристик напряженно-деформированного состояния массива в окрестности забоя выработки можно определить тип и величину нагрузок на режущий орган комбайна, что позволяет правильно определить режим работы исполнительного органа комбайна.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА

Выше уже отмечалась возможность разработки исполнительного органа проходческо-очистного комбайна, который позволит за счет создания соответствующей формы забоя, максимально уменьшить вероятность развития газодинамических явлений в проводимой выработке. Выполнены комплексные теоретические и экспериментальные исследования, направленные на установление рациональной формы исполнительного органа и выбор всех его параметров. Это определило задачи установления рациональных параметров исполнительных органов комбайнов и определение оптимальных режимов их работы. К ним относятся, например, такие, как определение диаметра и кинематических характеристик движения исполнительного органа, установление зависимостей усилий на резах от параметров резания и физико-механических свойств разрушаемой горной породы, компьютерное моделирование состояния резов и др.

В калийной промышленности до настоящего времени имеет место особая ситуация, обусловленная тем, что применяемые для добычи калийных руд комбайны выпускаются заводами горного машиностроения как оборудование, ориентированное для добычи угля и поэтому их параметры, обеспечивающие режимы разрушения, как правило, не соответствуют горно-геологическим условиям месторождений калийных солей. В связи с этим, в диссертации приведены результаты выполненной работы по созданию проходческо-очистного ком-

байна для работы на пластах, опасных по отжимам пород из призабойной части. Создание современных машин высокого технического уровня предполагает использование новых прогрессивных методов проектирования, разработку новых подходов и методов расчетов и активное использование при конструировании методов компьютерного моделирования.

Задача разработки исполнительного органа проходческого комбайна для создания специальной формы забоя, позволяющей уменьшить вероятность развития газодинамического явления, требует решения целого ряда отдельных крупных задач.

Важнейшим конструктивным параметром исполнительного органа комбайна является его диаметр (высота), который должен иметь несколько типоразмеров для осуществления эффективной выемки продуктивных пластов с учетом потерь и разубоживания калийных руд. С изменением диаметра исполнительного органа конструктивные (геометрические) параметры исполнительного органа также претерпевают изменения, причем геометрические параметры узлов и деталей изменяются непропорционально диаметру исполнительного органа, поскольку в каждом конкретном случае вступают в силу различные конструктивные, технологические и прочностные требования. Вместе с тем, с изменением диаметра режимные параметры не должны испытывать больших отклонений, так как в противном случае исполнительный орган будет испытывать неблагоприятный режим работы. В таких условиях представляется весьма трудным в каждом конкретном случае найти совокупность конструктивных и режимных параметров, которая обеспечивала бы работу исполнительного органа в оптимальном режиме с учетом выбранных или заданных критериев качества. Так как при выборе диаметра исполнительного органа приходится иметь дело с десятками параметров, то вопрос о необходимости оптимизации этих параметров является актуальным.

Для решения задач, связанных с изучением различных режимов резания калийной соли, установления закономерностей данного технологического процесса и выбора оптимального режущего инструмента для исполнительного органа были выполнены экспериментальные и теоретические исследования. Для проведения исследований были разработаны специальные методики, учитывающие особенности разрушения калийных пород при различных схемах работы исполнительного органа.

Одной из важных задач является определение оптимальных режимов резания калийных пород и определение усилий, возникающих при этом в системе «резец – горная порода». Характер их результатов показал, что значения усилий резания возрастают с увеличением толщины и ширины среза. Значения же усилий подачи P_{γ} изменяются по нелинейным зависимостям, причем значения P_{γ} при увеличении толщины среза до некоторого критического значения возрастают, а при дальнейшем увеличении толщины среза больше критического они уменьшаются.

Такое поведение нагрузки P_{γ} , установленное опытным путем, подтверждено путем выполнения аналитических вычислений, воспользовавшись схемой взаимодействия реза с разрушаемым массивом, представленной на рис. 4.

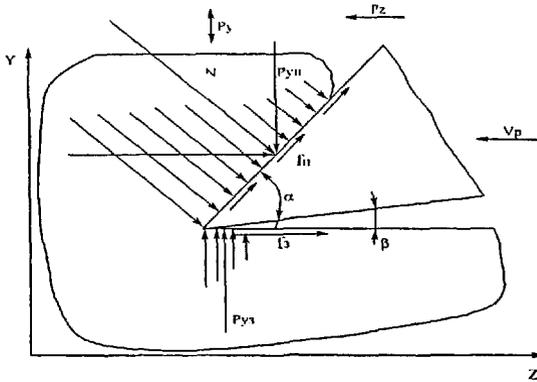


Рис. 4. Схема взаимодействия реза с разрушаемым массивом

При эксперименте фиксировались энергозатраты при изменении ширины реза и варьировании толщины среза. Показано, что при увеличении ширины реза до определенной величины удельные энергозатраты вначале уменьшаются, а при дальнейшем увеличении ширины реза возрастают. При этом точка минимума удельных энергозатрат зависит от толщины среза. Сравнение удельных энергозатрат на разрушение калийной соли при последовательной и шахматной схемах резания показывает, что шахматная схема резания предпочтительнее, т.к. при больших толщинах обеспечивает снижение удельных энергозатрат примерно на 10%.

Выполнено определение рационального угла установки резцов, при котором обеспечиваются минимальные значения как усилий, действующих на резец при резании, так и наименьшие удельные энергозатраты на разрушение калийных солей для нового типа исполнительного органа комбайна. Характерные зависимости приведены на рис. 5-7.

Результаты экспериментальных исследований обрабатывались с использованием «Автоматизированной системы научных исследований». При построении многофакторных регрессионных моделей применялись, как классические методы включения, так и метод исключения. При этом выбиралась регрессионная зависимость, имеющая наибольшее значение Т-критерия значимости, превосходящее значение заданной вероятности 0,9. Тщательный анализ данных, полученных в ходе проведения стендовых испытаний, позволил сформулировать важные выводы, касающиеся зависимости образующихся в результате резания массива классов от основных характеристик процесса среза пород резами.

С целью изучения динамической устойчивости резцов при резании горных пород на основе метода конечных элементов были разработаны расчетные схемы, позволяющие изучить состояние резцов при варьировании кинематических и динамических характеристик системы «резец – горная порода».

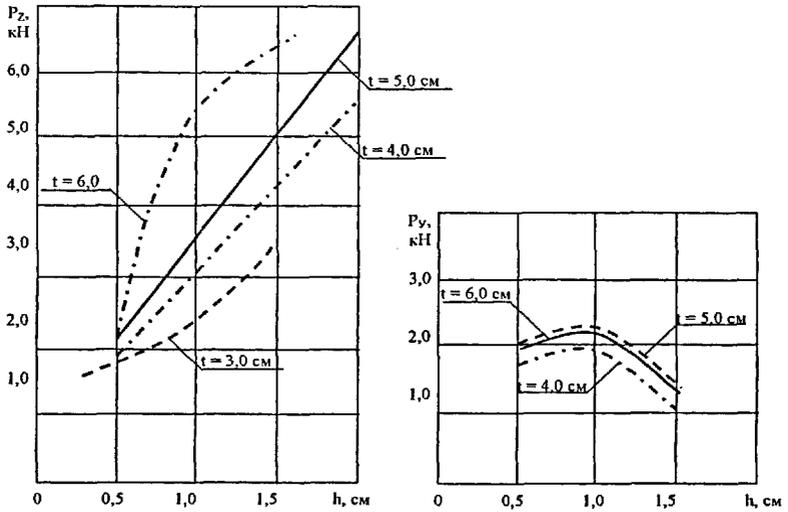


Рис. 5. Зависимости усилий резания резцом при последовательной схеме резания

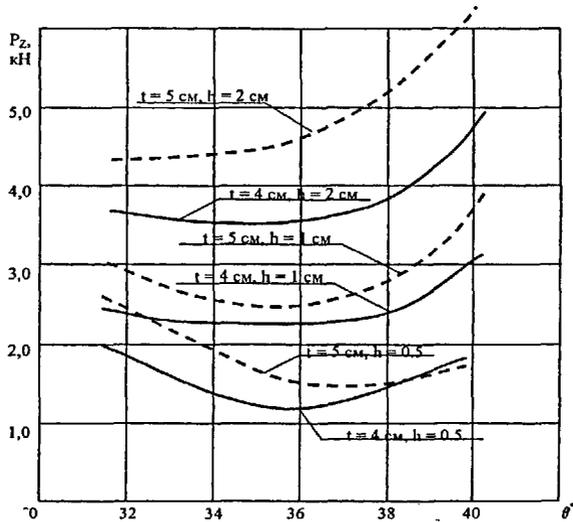


Рис. 6. Влияние угла установки резца θ на усилие резания P_z

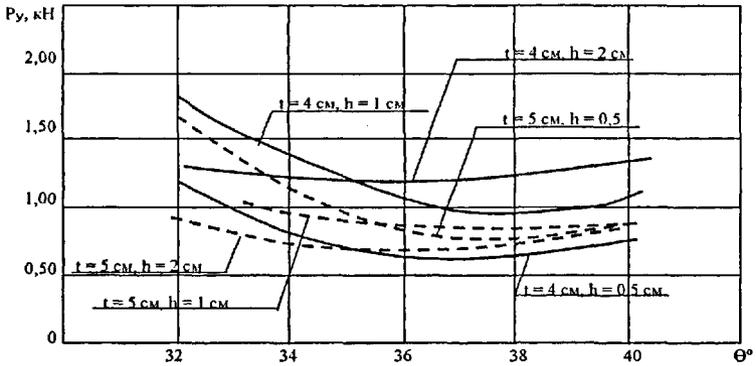


Рис.7. Зависимость усилий подачи на резце от угла его установки относительно плоскости резания

На основе разработанных расчетных схем выполнены комплексные исследования по изучению напряженно-деформированного состояния и устойчивости резца при варьировании как параметров собственно резца, так и горных пород. На рис. 8 представлен пример компьютерного моделирования.

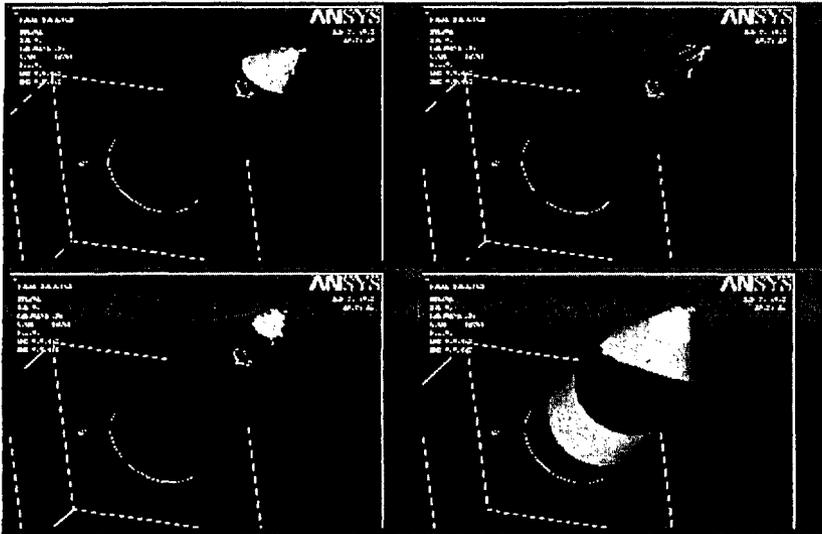


Рис.8. Характер износа резца в процессе резания породы

Установлено, что исполнительные органы проходческо-очистных комбайнов, предназначенных для добычи калийных солей, должны преимущественно оснащаться резцами типа ДБ.22. Резцы типа РКС-1 целесообразно применять лишь при повышенной абразивности пород, содержащих большое количество глинистых и песчано-глинистых сланцев. В результате выполненных комплексных экспериментальных исследований закономерностей режимов резания калийной соли выявлено, что независимо от типа резца шахматная схема разрушения является более предпочтительной в сравнении с последовательной схемой, как исходя из удельных энергозатрат, так и по формирующимся боковым усилиям на резец при одинаковых удельных энергозатратах (рис.9). В результате обработки данных лабораторных исследований установлены функциональные зависимости между основными параметрами процесса резания калийной соли резцами различных типов.

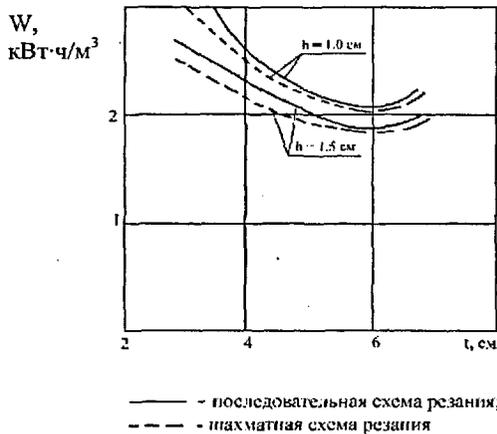


Рис.9. Зависимость удельных энергозатрат разрушения калийной соли резцом типа РКС-1 при различных схемах резания

Для практической реализации полученных зависимостей, а также результатов моделирования напряженно-деформированного состояния массива в забое одиночной выработки были проведены исследования по определению оптимальных значений конструктивных и режимных параметров исполнительного органа комбайна, предназначенного для применения на участках шахтных полей, опасных по внезапным отжигам пород из призабойной части. С целью высокой производительности комбайна при

минимальных энергозатратах на разрушение калийной соли была поставлена многокритериальная задача определения оптимальной совокупности конструктивных и режимных параметров исполнительного органа, при решении которой критерием оптимальности является минимизация трех следующих критериев качества: энергозатрат на разрушение массива режущим инструментом исполнительного органа C_1 ; обратного значения площади поперечного сечения стружки при разрушении режущими инструментами исполнительного органа C_2 ; удельного пути контакта режущих инструментов исполнительного органа при разрушении единицы объема массива C_3 .

Для выбора параметров исполнительного органа проходческо-очистного комбайна разработана упрощенная кинематическая схема и соотношения геометрических параметров (рис.10).

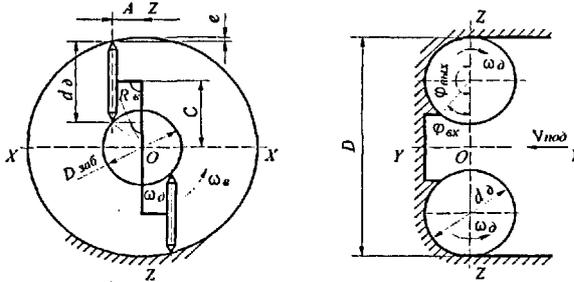


Рис. 10. Кинематическая схема исполнительного органа проходческо-очистного комбайна

Отношение энергозатрат на разрушение режущими инструментами как критерий качества можно представить в следующем виде

$$C_1 = E \frac{\varepsilon_{зоб} f}{\varepsilon_{p,d}(E-f)} = \frac{\varepsilon_{зоб} [A^2 + (C - r_d)]}{\varepsilon_{p,d} [D^2 - A^2 - (C - r_d)^2]}, \quad [2]$$

где $\varepsilon_{зоб}$, $\varepsilon_{p,d}$ – соответственно удельные энергозатраты на разрушение массива забурником и режущими дисками; E , f – соответственно площади забоя, обрабатываемые режущими дисками и забурником; D – диаметр исполнительного органа; A и C – соответственно боковое и радиальное смещения оси режущего диска; r_d – радиус режущего диска. Критерий качества C_2 можно выразить в виде:

$$C_2 = \frac{1}{S} = \frac{30k_D \omega_D z_D}{2\pi^2 V_{II} \sin \varphi_0 \sqrt{A^2 + (C - r_D \cos \varphi_0)^2}}, \quad [3]$$

где $\omega_D = 2\pi n_D / 30$ – угловая скорость режущего диска; n_D – частота вращения режущего диска; z_D – число резцов на режущем диске; V_D – скорость подачи комбайна на забой; k_D – число режущих дисков на одном исполнительном органе; φ_0 – значение угла поворота режущего инструмента, при котором площадь поперечного сечения стружки S достигает максимума.

Критерий качества U_3 можно представить в таком виде:

$$U_3 = \frac{L_p}{\frac{\pi}{4} DV_a}, \quad [4]$$

где L_p – путь контакта режущих инструментов, который выражается в виде сложной тригонометрической функции параметров исполнительного органа,

$$L = \int_{\varphi_{\text{вх}}}^{\varphi_{\text{вых}}} \sqrt{\left(\frac{dx}{d\varphi}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\varphi}\right)^2 + \left(\frac{dz}{d\varphi}\right)^2} d\varphi. \quad [5]$$

Здесь $\varphi_{\text{вх}}$, $\varphi_{\text{вых}}$ – соответственно углы входа и выхода из контакта режущего инструмента; φ – угол поворота режущего инструмента вокруг собственной оси; x , y , z – координаты режущего инструмента в пространстве.

Уравнение движения режущего инструмента можно представить в виде системы трех уравнений:

$$\left. \begin{aligned} x &= A \cos \frac{\varphi}{i} + (C - r_D \cos \varphi) \sin \frac{\varphi}{i}; \\ y &= r_D \sin \varphi; \\ z &= -A \sin \frac{\varphi}{i} + (C - r_D \cos \varphi); \end{aligned} \right\}, \quad [6]$$

где оси x и z расположены в плоскости переносного вращения исполнительного органа, а ось y совпадает с направлением подачи комбайна на забой; i – отношение скоростей главного и переносного вращений ($i = \omega_D / \omega_B$).

В многокритериальной задаче оптимизации основных параметров исполнительного органа выбранные критерии качества (целевые функции) U_1 , U_2 , и U_3 содержат параметры, характеризующие как соотношения геометрических параметров исполнительного органа, так и режимные параметры разрушения массива режущими дисками, включая число режущих инструментов. При решении задачи оптимизации одна часть параметров должна быть заданной, а на другую необходимо положить ограничения, вытекающие из конструктивных и эксплуатационных требований.

Все это легло в основу разработки методики расчета режимов работы исполнительного органа проходческо-очистного комбайна, основанной на учете физико-механических свойств калийного пласта, геометрических параметров режущего инструмента и конструкции исполнительного органа и позволяющей, в конечном итоге, определить суммарную нагрузку, действующую на исполнительный орган комбайна. Кроме того, разработаны специаль-

ная методика, алгоритм расчета и компьютерные процедуры для определения оптимальной совокупности основных параметров исполнительного органа комбайна для создания сферически-плоской и конусообразной формы забоя, что позволило обосновать основные параметры исполнительного органа проходческо-очистного комбайна.

Предложенные способы управления газодинамическими процессами в забое подготовительной выработки путем придания забою сферически-плоской или конусообразной формы и выбранные параметры исполнительных органов реализованы в конструкциях проходческо-очистных комбайнов. Опытно-промышленные испытания данных комбайнов на участках шахтного поля, опасных по газодинамическим явлениям, показали их высокую безопасность и эффективность использования.

В настоящее время проходческо-очистные комбайны предложенной конструкции (рис.11) успешно эксплуатируются на рудниках РУП «Беларуськалий» при подготовке и отработке Третьего калийного пласта. За все время эксплуатации комбайнов в забоях не было отмечено случаев интенсивных отжимов призабойной части пород, которые сопровождался бы травмированием шахтеров и разрушением элементов оборудования комбайнов.

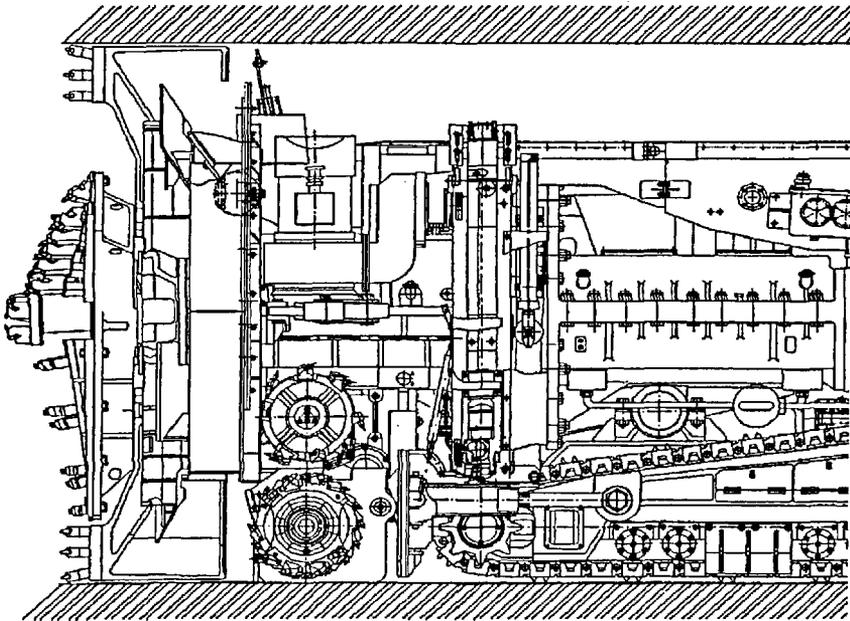


Рис.11. Проходческо-очистной комбайн с исполнительным органом для создания конусообразной формы забоя

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ БОРЬБЫ С ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ВРУБОВЫХ СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

В качестве следующей системы «способ борьбы с газодинамическими явлениями – технические средства, реализующие данный способ» в работе рассмотрена возможность использования врубовых скважин большого диаметра в качестве эффективного способа борьбы с газодинамическими явлениями.

Камуфлетно-сотрясательное взрывание, как способ управления газодинамическими явлениями при разработке месторождений калийных солей, используется недавно, поэтому эффективность данного способа невысока, а технологическая цепочка его практического применения не была полностью отработана. Выполненные экспериментальные исследования показали, что существенного повышения безопасности и эффективности буровзрывных работ при камуфлетно-сотрясательном взрывании можно достичь путем использования врубовых скважин большого диаметра. Любой выброс соли и газа прекращается в условиях увеличения площади обнажения массива в окрестности горной выработки вследствие образования полости и неизбежной в таких случаях концентрации напряжений. Следовательно, возможно создание в массиве безопасных обнажений с двумя граничными значениями их параметров, в промежутке между которыми будут выполняться условия, необходимые для протекания газодинамических явлений. Трансформация энергии упруго-сжатых соляных пород в работу расширения при действии сил сопротивления во многом зависит не только от площади обнажения, но и от его формы. Поэтому решение задачи о влиянии соотношения площади и периметра обнажения на параметры высвобождения накопленной в массиве энергии представлялось актуальным и необходимым для обоснования возможности бурения скважин большого диаметра в выбросоопасных соляных породах.

В результате выполненных комплексных исследований обоснована возможность бурения скважин большого диаметра (более 80 мм) для инициирования выбросов соли и газа в процессе пересечения выбросоопасных геологических нарушений, при этом безопасное управление энергией в выбросоопасной зоне может быть достигнуто путем направленного создания в массиве обнажений с определенными отношениями геометрических параметров. Теоретическими исследованиями установлено, что выбросоопасное состояние массива соляных пород наступает при некотором критическом значении параметра, определяемого как отношение площади обнажения к его периметру (S/P). При всех значениях этого параметра, превышающих критическое, становится возможным развязывание выброса соли и газа. Получены аналитические выражения для расчетов предельных значений введенного критерия и рассчитано нижнее предельное критическое значение этого отношения для условий рудников РУП «ПО «Беларуськалий».

Показано, что параметры безопасного высвобождения накопленной в массиве энергии для обнажения по своей форме близкого к кругу с диаметром d (т.е. $S/P = d^2/4$), имеют следующий вид:

$$d_{\min} \leq 1,88 \times (1 - 2\mu) \times (1 - \mu)^{-1} \times (1 - \sigma_0 / \gamma H)^{-1}, \quad [7]$$

где μ – коэффициент Пуассона; σ_0 – прочность пород на растяжение; γH – естественное напряженное состояние массива.

В соответствии с данной формулой установлено, что критическая величина диаметра скважины, при котором возможно образование трещин отрыва с последующим развитием выброса соли и газа, для условий рудников Старобинского месторождения составляет 0,87 м. При бурении врубовых скважин диаметром менее 0,87 м образование трещин отрыва и развитие в скважину выброса соли и газа происходить не должно.

Проведены исследования, касающиеся технологии применения взрывных врубов в соляных породах и изучения особенностей их проектирования. Так, установлено, что параметры короткозамедленного взрывания в соляных породах существенно отличаются от параметров взрывания в крепких породах. Основное различие обусловлено тем, что акустическая жесткость и скорость трещинообразования соляных пород соответственно в два-три и три-четыре раза меньше по сравнению с крепкими породами. Скорость смещения соляного массива при взрыве также значительно отличается от скорости смещения крепких пород, поэтому процесс разрушения и отделения соляных пород от массива идет значительно медленнее, чем в крепких породах. Линия наименьшего сопротивления заряда при взрывании на врубовую полость (ограниченную обнаженную поверхность) в соляных породах уменьшается в соответствии с уменьшением поперечного размера обнаженной поверхности. Для соляных пород зависимость линии наименьшего сопротивления от величины поперечного размера обнаженной поверхности выражается экспоненциальной функцией вида:

$$W_1 = W_0 \cdot (1 - e^{-d_b / W_0}), \quad [8]$$

где W_0 – линия наименьшего сопротивления данного заряда при его взрывании на неограниченную обнаженную поверхность; d_b – диаметр обнаженной поверхности; e – основание натурального логарифма.

Выполнен подробный анализ конструкций и закономерностей работы взрывных врубов в соляных породах.

Для расчета эффективных параметров взрывных врубов разработана методика, основанная на гипотезе импульсного разрушения горных пород. Надежность работы вруба со скважиной обеспечивается соблюдением интервалов замедления и правильно выбранным количеством шпуров, взрывааемых в одной серии. Кроме этого, при взрывании врубовых шпуров необходимо учитывать объем породы, взрывааемой в одной серии. Этот объем с учетом коэффициента разрыхления породы не должен превышать общего, вновь образованного объема врубовой полости. Объем врубовой полости, образуемый при взрывании шпуров, включает в себя собственно объем врубовой скважины и объем, отбиваемый

взрываемыми шпурами. Нарушение этого положения приводит к существенному снижению эффективности работы вруба. При увеличении диаметра врубовой скважины происходит изменение взаимного расположения врубовых шпуров и снижается их общее число. С увеличением глубины комплекта шпуров для надежного действия взрыва необходимо увеличивать и диаметр врубовых скважин.

Выражение для расчета величины линии наименьшего сопротивления шпуровых зарядов при взрывании на неограниченную обнаженную поверхность имеет вид:

$$W_0 = \frac{1}{i_s} \cdot \sqrt{\frac{a \cdot \bar{Q} \cdot D \cdot \ell_n}{m \cdot r \cdot J_i}}, \quad [9]$$

где i_s – степень дробления породы взрывом; a – коэффициент, учитывающий способ инициирования заряда; \bar{Q} – масса ВВ, размещаемая в 1 м шпура; D – скорость детонации ВВ; ℓ_n – предельный эффективный коэффициент удлинения заряда; m – коэффициент сближения шпуров; r – коэффициент использования шпуров; J_i – удельный нормированный импульс дробления.

В расчетах параметров камуфлетно-сотрясательного взрывания определяется линия наименьшего сопротивления при взрывании одиночного заряда на неограниченную обнаженную поверхность по формуле [9]. Затем рассчитывается величина л.н.с. при взрывании врубового заряда на ограниченную обнаженную поверхность (врубовую скважину) для каждой серии взрываемых шпуров. После расчетов величины л.н.с. для серий взрывания, определяются рациональные интервалы замедления.

Результаты опытных взрываний комплектов шпуров с врубовыми скважинами диаметром 130 мм показали, что впереди забоя лавы в зоне, где действует передовое опорное давление, эффективность взрыва резко снижается. В зоне действия передового опорного давления соляные породы оказываются в условиях всестороннего сжатия и величина сжимающих напряжений может достигать 40-45 МПа. В связи с этим основная часть энергии взрыва зарядов расходуется на энергоемкое пластическое течение соляных пород в зоне полного разрушения и появляется необходимость в дополнительных затратах энергии для разрушения и выброса требуемого объема пород. В зоне действия передового опорного давления взрывание зарядов не обеспечивает отрыв кусков породы от массива и последующий их выброс в сторону очистного забоя лавы, то есть породы остаются в зажатом состоянии. Наибольший эффект при использовании клиновых врубов с врубовыми скважинами в зоне действия передового опорного давления достигается при величине центрального угла клиновых врубов 50-60°, использовании во врубе эффектов «перебуривания» и «сосредоточенных зарядов» в удлиненных скважинах для выброса разрушенной породы из передовой выработки в призабойное пространство лавы, установлении интервала замедления для зарядов второго (среднего) клина не менее 70 мс, а третьего (большого) клина не менее 100 мс.

Для надежного воздействия взрыва на выбросоопасное геологическое нарушение при искусственном инициировании выбросов соли и газа необходимо выполнение следующих условий: длина заряда ВВ в шпуре должна превышать величину линии наименьшего сопротивления не менее чем в 1,5 раза; расстояние между шпурами не должно быть меньше критического по запрессовыванию; длина незаряженной части шпура не должна превышать как 1,5-2,0 величины линии наименьшего сопротивления, так и 0,5 длины шпура.

Итак, выбор оптимальных размеров взрывных врубов и интервалов замедления в сериях взрывания позволяет эффективно управлять газодинамическими процессами при инициировании выбросов соли и газа в подготовительные и очистные горные выработки. Оптимальные параметры буровзрывных работ позволят ограничить интенсивность инициированных выбросов соли и газа за счет регулирования размеров выпускного отверстия и применения эффекта самозабучивания.

Для повышения качества буровзрывных работ необходимо применение специальных буровых станков, обеспечивающих требуемые направления и углы наклона шпуров к плоскости забоя. При отсутствии буровых станков для бурения шпуров и скважин из призабойного пространства лав и подготовительных выработок эффективным при управлении газодинамическими процессами является постадийное взрывание клиновых врубов с использованием приемов ручного бурения шпуров в дегазированной области массива.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ

Использование врубовых скважин большого диаметра как способа борьбы с газодинамическими явлениями требует выполнения буровзрывных работ. Так как камуфлетно-сотрясательное взрывание, как способ управления газодинамическими явлениями при разработке месторождений калийных солей, используется достаточно недавно, то требовалось выполнить исследования и разработать технологию выполнения буровзрывных работ. В диссертационной работе в отдельной главе подробно рассмотрены различные аспекты разработки технологии и выбора оптимальных параметров буровзрывных работ для управления газодинамическими явлениями на основе использования врубовых скважин большого диаметра.

В расчетах рациональных параметров буровзрывных работ с врубовыми скважинами принималось, что после цикла взрывания подвигание очистного забоя лавы должно быть не менее двух – трех стружек, снимаемых очистным комбайном в лаве. При этом должно выдерживаться неснижаемое опережение забоем вруба передовой выработки или самим забоем передовой выработки относительно линии очистного забоя лавы не менее 1,5 м. Причем, после проведения шахтных испытаний глубина врубовой скважины и взрываемых шпуров может быть еще увеличена. Одним из параметров, который

во многом определяет эффективность работы комплекта шпуров с врубовой скважиной, является расстояние первого шпура от врубовой скважины. Правильно выбранное расстояние первого шпура от врубовой скважины обеспечивает высокий коэффициент использования шпуров (к.и.ш.), снижение удельного расхода ВВ и количества шпурометров. Расстояние первого шпура от стенки скважины зависит от диаметра врубовой скважины и глубины шпуров. Надежность работы вруба обеспечивается соблюдением интервалов замедления и правильно выбранным количеством шпуров, взрываемых в одной серии. Установлено, что одиночные скважины диаметром менее 100 мм применять в соляных породах нецелесообразно.

Анализ разработанных схем комплектов шпуров призматических врубов с врубовыми скважинами диаметром 100 мм, 150 мм, 200 мм и 250 мм показал, что увеличение диаметра со 100 мм до 250 мм и числа врубовых скважин позволяет уменьшить число ступеней замедления с шести до четырех. Увеличение числа ступеней замедления позволяет уменьшать общее количество активных шпуров в передовом врубе. Наиболее устойчивыми к погрешностям бурения являются схемы комплектов шпуров с двумя врубовыми скважинами. Результаты шахтных испытаний параметров буровзрывных работ с комплектами шпуров призматических врубов с врубовыми скважинами диаметром 130 мм показали неудовлетворительную работу призматических врубов, которую можно объяснить отклонением врубовых шпуров от заданного направления и недостаточным интервалом замедления между первой и второй сериями взрывания. Для обеспечения полноценного выброса раздробленной горной породы из вновь образуемой промежуточной врубовой полости интервал замедления между первой и второй сериями взрывания должен быть не менее 50-70 мс. Повышение эффективности работы комплектов шпуров с призматическими врубами и врубовыми скважинами может быть достигнуто путем увеличения диаметра врубовых скважин до 210-250 мм. При правильном выборе интервалов замедления и увеличении диаметра врубовых скважин использование призматических врубов может оказаться эффективным при управлении газодинамическими процессами в калийных рудниках. Результаты испытаний параметров буровзрывных работ с тройным клиновым врубом и двумя врубовыми скважинами диаметром 130 мм показали, в отдельных случаях, недостаточную их эффективность. Низкая эффективность такой конструкции комплекта шпуров обусловлена двумя основными причинами: действием впереди забоя лавы на область массива, разрушаемую взрывом, максимума опорного давления и недостаточным диаметром врубовых скважин. Для повышения эффективности работы клиновых врубов с врубовыми скважинами в зоне действия передового опорного давления необходимо: увеличить размер дополнительной обнаженной поверхности (диаметр врубовых скважин должен быть не менее 210 мм и общее их количество во врубе должно быть не менее двух); увеличить центральный угол клиновых врубов до 50° - 60° ; усовершенствовать конструкцию клиновых врубов (использовать во врубе эффекты «перебуривания» и «сосредоточенных зарядов» в удлиненных скважинах для выброса из

передовой выработки в призабойное пространство лавы разрушенных пород); установить интервал замедления для зарядов второго (среднего клина) не менее 70 мс, а третьего (большого) клина не менее 100 мс; повысить качество буровзрывных работ за счет применения специальных буровых станков, обеспечивающих требуемые направления и углы наклона шпуров к плоскости забоя. Показано, что при отсутствии буровых станков для бурения шпуров и скважин из призабойного пространства лав и подготовительных выработок эффективным при управлении газодинамическими процессами является постадийное взрывание клиновых врубов с использованием приемов ручного бурения шпуров в дегазированной торпедированной области массива.

СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В КАЛИЙНЫХ РУДНИКАХ СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Способ управления газодинамическими процессами в зонах геологических нарушений искусственным инициированием выбросов соли и газа камуфлетно-сотрясательным взрыванием является довольно трудоемким, однако он обеспечивает безопасность ведения горных работ и в обозримом будущем изменений в его принципиальной сути не предвидится. В то же время необходимы были новые технические решения по дальнейшему совершенствованию способов управления газодинамическими процессами в калийных рудниках. Поиск новых технических решений обусловлен был также появлением новой природной опасности в калийных рудниках Старобинского месторождения – газодинамических явлений из почвы горных выработок. В работе изложены результаты исследований, направленных на разработку новых и совершенствование применяемых способов управления газодинамическими процессами в калийных рудниках Старобинского месторождения. В общем виде задача управления газодинамическими процессами состоит в опережении в пространстве и во времени работ по планомерному инициированию выбросов соли и газа или принудительной дегазации соляных пород в зоне выбросоопасного геологического нарушения таких технологических процессов, как очистная выемка руды в лаве.

Дальнейшее существенное развитие получила методика оконтуривания выбросоопасных геологических нарушений на уровне разрабатываемых сильвинитовых слоев, представляющая собой современную сейсмотехнологию на базе веерной системы наблюдений и включающая в себя процедуру сканирования пространства между горными выработками, регистрацию упругих колебаний портативной сейсмостанцией, запись и обработку данных с помощью специализированного пакета прикладных программ, выдачу результатов в виде двумерных топографических сечений с восстановленными значениями параметров поля упругих колебаний, а при наличии контуров геологических нарушений – с их указанием. Дополнена новыми положениями методика прогнозирования зон, опасных по газодинамическим явлениям, в породах, подстилающих III ка-

лийный горизонт, основанная на исследованиях особенностей формирования волновых полей искусственно возбуждаемых упругих колебаний и представляет собой сейсмотехнологию, включающую невзрывное возбуждение упругих колебаний в породах почвы, регистрацию отраженных и преломленных волн портативной сейсмостанцией, обработку и выдачу результатов с указанием зон, опасных по газодинамическим явлениям.

Разработан и внедрен способ управления газодинамическими процессами в разрабатываемых калийных пластах, состоящий в проведении компенсационной выработки в зону оконтуренного сейсмотомографией выбросоопасного нарушения с последующим искусственным инициированием выброса соли и газа камуфлетно-сотрясательным взрыванием. При этом для гарантированного инициирования выброса соли и газа камуфлетно-сотрясательным взрыванием в компенсационную выработку отношение площади обнажения выбросоопасных пород к его периметру должно быть более 0,23 м.

Разработан и внедрен способ управления газодинамическими процессами в зоне комбинированного геологического нарушения, состоящий в детальном изучении строения зоны нарушения методом сейсмодосвечивания, проведении по центру нарушения опережающей выработки в режиме дистанционного управления включением и выключением проходческого комбайна, бурении дегазационных шпуров в кровлю и стенки выработки, разгрузку кровли сотрясательным взрыванием. Установлено, что оптимальный шаг бурения дегазационных шпуров в кровлю составляет 6,0 м, в стенки – 3,0 м, а глубина шпуров должна быть не менее 6,0 м. Разгрузка кровли опережающей выработки сотрясательным взрыванием производится по всей ее длине.

Разработаны и внедрены региональные способы управления газодинамическими явлениями в почве горных выработок:

♦ Применение разгрузочно-дегазационных щелей, проводимых в бортовых штреках лавы, обрабатывающей слои II, III. Разгрузочно-дегазационные щели позволяют разгрузить породы почвы от действия горизонтальной составляющей сил горного давления, уменьшить деформации упругого восстановления и частично их дегазировать.

♦ Проходка дегазационных выработок в опасных зонах, установленных методом предварительного прогноза. Дегазационные выработки могут проходить по центру опасной зоны в пределах выемочного столба или участками со стороны бортовых штреков лавы. При этом для дегазации пород в почву выработки бурятся сразу за проходческим комбайном шпуром с шагом не более 2,5 м и глубиной, обеспечивающей перебуривание контакта кровно-каменная соль ПКС– 12 горизонт не менее чем на 0,2 м.

♦ Бурение дегазационных скважин в опасных зонах, установленных в результате выполнения предварительного прогноза. Параметры дегазационного бурения: диаметр скважин – не менее 0,04 м; глубина – мощность слоя ПКС плюс 0,2 м; расстояние между скважинами – не более 4,8 м. Этот спо-

соб управления газодинамическими процессами является эффективным при надежном прогнозе опасных зон в пределах выемочного столба.

♦ Торпедирование пород почвы с помощью буровзрывных работ. Параметры торпедирования для взрывчатого вещества аммонит 6ЖВ: длина заряда ВВ – 5,0 м; тип заряда – торпедозаряд специальной конструкции в жесткой оболочке; диаметр скважин – не менее 100 мм; радиус зоны трещинообразования при диаметре скважин 100 мм и 120 мм соответственно – 3,4 м и 3,8 м; расстояние между скважинами диаметром 100 мм и 120 мм соответственно – 6,8 м и 7,6 м. По сравнению с дегазационным бурением количество скважин диаметром 100 мм или 120 мм снижается в опасной зоне соответственно в 1,4 или 1,6 раза.

Способ предотвращения газодинамических явлений из почвы горных выработок с помощью бурения дегазационных скважин основан на дренающем эффекте скважин, пробуренных в породы почвы бортовых штреков лавы. Дегазирующее влияние скважины, пробуренной перпендикулярно к слоистости в почву, на очаг газодинамического явления суммируется из следующих составляющих: естественной пористости и газопроницаемости; фильтрации газов по местам контактов слоев, глинистых прослоев и областям расслоений. Параметрами дегазационного бурения скважин в породы почвы являются: глубина, диаметр и расстояние между скважинами (шаг бурения скважин в опасной зоне). Глубина дегазационных скважин определяется геологическим строением пород, залегающих в почве Третьего пласта, и устанавливается из необходимости дегазации слоев подстилающей каменной соли и контакта слоя подстилающей каменной соли с газоносным 12 глинисто-мергелистым горизонтом. Результаты выполненных исследований и анализ случаев газодинамических явлений из почвы горных выработок показали, что скопления свободных газов приурочены к контакту слоя подстилающей каменной соли и 12 глинисто-мергелистого горизонта. Таким образом, глубина дегазационных скважин будет определяться мощностью слоя подстилающей каменной соли и гарантированным вскрытием контакта с 12 горизонтом не менее, чем на 0,2 м. Основным параметром дегазации пород почвы Третьего пласта является расстояние между скважинами. Половина этого расстояния r (с точностью до радиуса скважины) находится из решения системы уравнений, определяющих величину безопасного давления P_δ и величину давления газа в массиве P_o , окружающем дегазационную скважину. Давление газа в массиве может уменьшаться до безопасной величины на расстоянии от скважины меньшем, чем определяемое по следующей формуле: $r = P_\delta^2 \cdot G^{-1}$, где P_δ – безопасное давление газа в почве горной выработки в ее призабойной зоне; G – газодинамическая характеристика массива «квадрат начального градиента» давления газа. Поэтому расстояние между дегазационными скважинами определяется из выражения:

$$l_c = 2P_\delta^2 \cdot G^{-1}. \quad [10]$$

На рис.12 представлена технологическая схема реализации способа предотвращения газодинамических явлений путем бурения дегазационных скважин в почву бортовых штреков лавы, обрабатывающей слон II, III калийного пласта. Способ целесообразно применять в том случае, если опасная по газодинамическим явлениям зона установлена заблаговременно, до подхода лавы к данному участку. При соблюдении требуемых параметров дегазационных работ этот способ предотвращения газодинамических явлений из пород почвы является весьма эффективным в условиях двойной наработки и интенсивных последующих расслоений пород по глинистым прослойкам.

Промышленные испытания на III калийном горизонте рудников 1 РУ и 3 РУ РУП «ПО «Беларуськалий» региональных способов управления газодинамическими процессами в разрабатываемых пластах показали их высокую надежность и эффективность. В настоящее время региональные способы управления газодинамическими процессами реализованы в технологических схемах и являются нормативными. Для управления газодинамическими явлениями в породах, подстилающих III калийный горизонт, в условиях рудника 1 РУ применяется бурение дегазационных скважин в почву горных выработок.

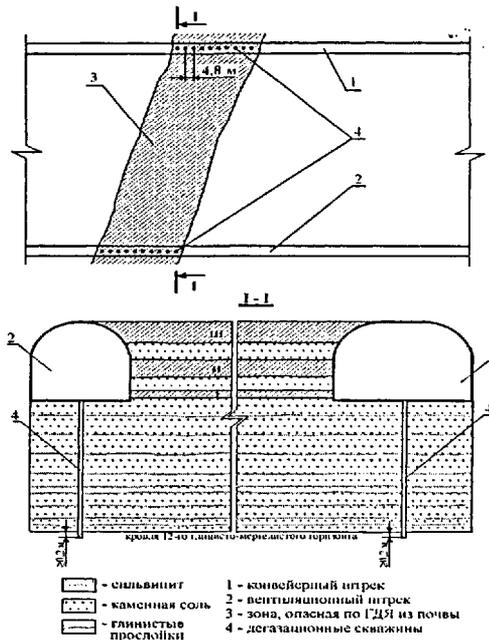


Рис.12. Технологическая схема способа предотвращения газодинамических явлений из почвы с помощью бурения дегазационных скважин

Способы управления газодинамическими процессами применяются только в опасных зонах непосредственно из забоев очистных или подготовительных выработок. Целью данных способов, еще на стадии образования опасной ситуации является возможность ликвидировать развитие газодинамического явления. Данные способы управления газодинамическими процессами при отработке калийных пластов на всех месторождениях мира получили наибольшее развитие.

В результате выполненных исследований, автором предложены различные варианты локальных способов управления газодинамическими процессами, в частности:

♦ Способ управления газодинамическими процессами в лаве, реализуемый путем искусственного инициирования выброса соли и газа камуфлетно-сотрясательным взрыванием с рациональными параметрами. Рациональные параметры камуфлетно-сотрясательного взрывания основаны на применении двойного клинового вруба с врубовыми удлиненными скважинами и сосредоточенными зарядами, а также четырех ступеней замедления. Пример реализации локального способа предотвращения внезапных выбросов соли и газа при пересечении лавами геологических нарушений представлен на рис. 13.

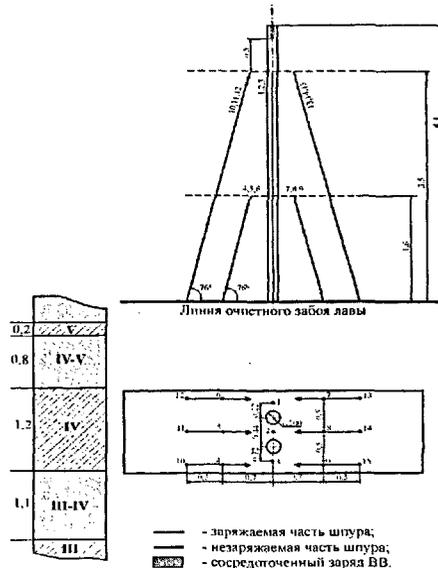


Рис.13. Схема параметров камуфлетно-сотрясательного взрывания в лаве, отрабатывающей IV сильвинитовый слой, с использованием двойного клинового вруба и двух вертикально расположенных скважин диаметром 200 мм с сосредоточенными зарядами

♦ Для управления газодинамическими процессами в почве при проходке подготовительных и специальных выработок в слое подстилающей каменной соли разработана технология принудительной дегазации пород почвы с помощью бурения дегазационных шпуров. Параметры дегазационного бурения следующие: глубина шпуров должна обеспечивать перебуривание контакта слой ПКС-12-й горизонт не менее чем на 0,2 м; шаг бурения шпуров – не более 2,5 м. Дегазационные шпуров бурятся в почву при проходке горизонтальной части выработки. Технологическая схема способа управления газодинамическими процессами в почве подготовительных и специальных выработок, проходимых в пределах слоя подстилающей каменной соли, приведена на рис. 14.

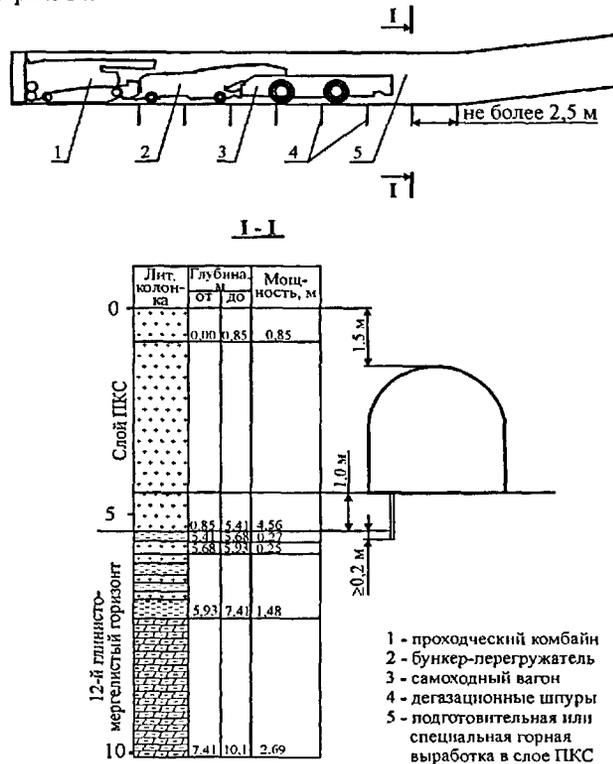


Рис. 14. Технологическая схема способа управления газодинамическими процессами в почве подготовительных или специальных выработок, проходимых в слое подстилающей каменной соли, с помощью бурения дегазационных шпуров

Важной составляющей частью любого технического решения по предотвращению газодинамических явлений является разработка организационных мероприятий, которые должны обязательным образом сопровождать предложенный способ. Поэтому в диссертационной работе, как составляющие части региональных и локальных способов управления газодинамическими процессами, изложены организационные и технические мероприятия по обеспечению безопасности шахтеров при возникновении газодинамических явлений из почвы горных выработок. Для предотвращения воздействия на шахтеров поражающих факторов газодинамических явлений из почвы предложено использовать следующие организационные мероприятия: регламентация действий горнорабочих очистного забоя при появлении предвестников газодинамических явлений; перенос пультов управления крепями сопряжения на бортовых штреках лавы в район первой или второй секций забойной крепи; запрещение нахождения горнорабочих очистного забоя на сопряжении лавы с бортовыми штреками в течение 10 минут после передвижки крепей сопряжения. Технические мероприятия по предотвращению воздействия на шахтеров поражающих факторов газодинамических явлений из почвы горных выработок состоят в установке дополнительных секций крепей сопряжения в завальной части лав, которые позволяют уменьшить площадь обнажения пород почвы и создают на почву дополнительную пригрузку при распоре.

Кроме того, крепи сопряжения оснащаются гибкими дополнительными перекрытиями для изоляции на сопряжениях завальной части лав от рабочего пространства.

Так как выполненные исследования непосредственным образом ориентированы на внедрение результатов исследований в производство, была выполнена оценка ожидаемой экономической эффективности разработанных способов и технических средств управления газодинамическими процессами в условиях калийных рудников Старобинского месторождения. Показано, что внедрение разработанных способов управления газодинамическими процессами в калийных рудниках позволяет не только значительно повысить безопасность ведения горных работ, но и получить существенный экономический эффект.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе изложены принципиально новые высоко эффективные научно-обоснованные способы и технические средства для предотвращения и управления газодинамическими явлениями в подготовительных и очистных горных выработках, пройденных в соляном породном массиве. Внедрение разработанных способов и технических средств позволит существенным образом повысить безопасность и эффективность ведения горных работ в условиях месторождений калийных солей.

Основные научные результаты, выводы и практические рекомендации выполненных исследований заключаются в следующем:

1. Разработана математическая модель напряжено-деформированного состояния соляного породного массива с очагом газодинамических явлений в окрестностях забоя одиночной подготовительной выработки плоской, сферически-плоской и конусообразной формы. Установлено, что управление газодинамическими процессами в окрестностях забоя подготовительной выработки может осуществляться выбором рациональной формы забоя путем изменения формы исполнительного органа комбайна. Используя количественные и качественные характеристики напряженно-деформированного состояния массива, разработанная модель позволяет определить тип и величину нагрузок на режущий орган комбайна.

2. Доказано, что сферически-плоская и конусообразная форма забоя по сравнению с плоской формой обеспечивают более устойчивое состояние соляного породного массива впереди забоя за счет существенного снижения уровня действующих в массиве напряжений и деформаций. Так, сферически-плоская форма забоя, в сравнении с плоской позволяет в 5-8 раз уменьшить объем разрушенной породы при газодинамических явлениях и направляет газосолевой поток на исполнительный орган комбайна, предотвращая поражение шахтеров в призабойном пространстве. Не менее эффективным решением проблемы является формирование конусообразной формы забоя.

3. Установлены функциональные зависимости между основными параметрами процесса резания калийной соли резами различных типов. Доказано, что исполнительные органы проходческо-очистных комбайнов, предназначенных для добычи калийных солей должны преимущественно оснащаться неподвижными резами стандартной формы. Круглые резы, имеющие возможность вращения вокруг собственной оси, целесообразно применять лишь при повышенной абразивности пород, содержащих большое количество глинистых и песчано-глинистых сланцев. Установлено, что независимо от типа реза шахматная схема разрушения является более предпочтительной, чем последовательная схема, как исходя из удельных энергозатрат, так и по формирующимся боковым усилиям на резец при одинаковых удельных энергозатратах.

4. Разработана методика расчета режимов работы и определения оптимальной совокупности основных конструктивных и режимных парамет-

ров исполнительного органа комбайна для создания сферически-плоской и конусообразной формы забоя. Выполнен расчет и обоснование основных параметров исполнительного органа проходческо-очистного комбайна. Разработаны рациональные параметры компоновочных узлов (технические задания на создание) проходческо-очистного комбайна со сферически-плоской и конусообразной формой забоя. Образцы комбайнов были изготовлены на ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», прошли опытно-промышленные испытания на участках шахтного поля Старобинского месторождения калийных солей, опасных по газодинамическим явлениям и показали высокую безопасность и эффективность. За все время эксплуатации комбайнов в забоях не было отмечено случаев интенсивных отжимов призабойной части пород, которые сопровождались бы травмированием шахтеров и разрушением элементов оборудования.

5. Выявлены закономерности управления энергией в выбросоопасной зоне при наличии в соляном массиве врубовых скважин большого диаметра. Обоснована возможность бурения скважин большого диаметра (более 80 мм) для инициирования выбросов соли и газа в процессе пересечения выбросоопасных геологических нарушений. Безопасное управление энергией в выбросоопасной зоне достигается путем направленного создания в массиве обнажений с определенными отношениями геометрических параметров. Даны аналитические выражения для расчетов предельных значений критерия отношения площади к периметру обнажения и рассчитано нижнее предельное критическое значение этого отношения для калийных рудников. Установлено, что критическая величина диаметра скважины, при котором возможно образование трещин отрыва с последующим развитием выброса соли и газа, составляет 0,87 м. При меньших диаметрах скважин образование трещин отрыва и развитие в скважину выброса соли и газа не происходит. Разработана методика расчета оптимальных параметров буровзрывных работ, которые обеспечивают эффективное управление газодинамическими процессами при инициировании выбросов соли и газа в подготовительные и очистные горные выработки. Оптимальные параметры буровзрывных работ позволяют ограничить интенсивность выбросов соли и газа за счет регулирования размеров выпускного отверстия и применения эффекта самозабучивания.

6. Разработаны следующие способы управления газодинамическими процессами в разрабатываемых калийных пластах:

- способ управления газодинамическими процессами в лаве путем искусственного инициирования выброса соли и газа камуфлетно-сотрясательным взрыванием с рациональными параметрами;

- способ управления газодинамическими процессами в разрабатываемых калийных пластах, состоящий в проведении компенсационной выработки в зону оконтуренного СПМ-томографией выбросоопасного нарушения с

последующим искусственным инициированием выброса соли и газа камуфлетно-сотрясательным взрыванием;

- способ управления газодинамическими процессами в зоне комбинированного геологического нарушения, состоящий в детальном изучении строения зоны нарушения методом сеймопросвечивания, проведении по центру нарушения опережающей выработки в режиме дистанционного управления включением и выключением проходческого комбайна, бурении дегазационных шпуров в кровлю и стенки выработки, разгрузку кровли сотрясательным взрыванием;

- способ управления газодинамическими процессами в почве горных выработок, состоящий в применении разгрузочно-дегазационных щелей, проводимых в бортовых штреках лавы, обрабатывающей слои II, III;

- способ управления газодинамическими процессами в почве горных выработок, состоящий в торпедировании пород почвы с помощью буровзрывных работ;

- способ управления газодинамическими процессами в почве горных выработок, реализующийся путем проходки дегазационных выработок в опасных зонах, установленных методом прогноза. Дегазационные выработки могут проходить по центру опасной зоны в пределах выемочного столба или участками со стороны бортовых штреков лавы;

- способ управления газодинамическими процессами в почве горных выработок, состоящий в бурении дегазационных скважин в опасных зонах, установленных в результате выполнения предварительного прогноза;

- способ управления газодинамическими процессами в почве при подготовке подготовительных и специальных выработок в слое подстилающей каменной соли путем принудительной дегазации пород почвы с помощью бурения дегазационных шпуров.

7. Внедрение основных результатов исследований выполнено в РУП «ПО «Беларуськалий». Экономический эффект от внедрения способа управления выбросоопасностью путем искусственного инициирования выброса соли и газа в компенсационную выработку при пересечении гидромеханизированными комплексами выбросоопасных зон составляет 56,2 млн. руб. РФ в год. Экономическая эффективность способа управления газодинамическими процессами в зоне комбинированного геологического нарушения путем его дегазации и разгрузки составляет 10,4 млн. руб. РФ в год.

Основные положения и научные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Щерба В.Я., Дакуко Н.А. Анализ существующих технических средств предотвращения газодинамических явлений из забоя при комбайновом способе проведения горных выработок // Горный информ.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2006. – Вып. 1. – С. 62-72.

2. Щерба В.Я. Методика поиска оптимальной совокупности основных параметров исполнительного органа комбайна для создания сферически-

плоской формы забоя горной выработки // Горный информац.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2006. – Вып. 1. – С. 73-80.

3. Щерба В.Я. Выбор основных параметров исполнительного органа комбайна для создания забоя горной выработки сферически-плоской формы // Горный информац.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2006. – Вып. 1. – С. 81-88.

4. Щерба В.Я., Старовойтов Ю.В., Дакуко Н.А. Структурный анализ надежности средств механизации процесса выемки калийных солей // Горный информац.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2006. – Вып. 1. – С. 27-32.

5. Щерба В.Я., Старовойтов Ю.В., Дакуко Н.А. Структурный анализ надежности выемочных комплексов // Горный информац.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2006. – Вып. 1. – С. 33-45.

6. Щерба В.Я. Обоснование возможности бурения врубовых скважин при инициировании выбросов соли и газа // Сб. ст. «Динамические и газодинамические явления в калийных рудниках». Горный информац.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – № 5. – С. 24-33.

7. Щерба В.Я. Конструкция и закономерности работы взрывных врубов в соляных породах // Сб. ст. «Динамические и газодинамические явления в калийных рудниках». Горный информац.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – № 5. – С. 33-45.

8. Щерба В.Я., Мисников В.А. О возможности газодинамических проявлений горного давления в окрестности сопряжений горных выработок глубоких горизонтов Солигорских калийных рудников // Сб. ст. «Динамические и газодинамические явления в калийных рудниках». Горный информац.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – № 5. – С. 87-100.

9. Щерба В.Я. Селективная выемка Третьего пласта на полную мощность двухшнековым комбайном // Сб. ст. «Технология и механизация подземной добычи калийных руд». Горный информац.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – № 5. – С. 27-34.

10. Щерба В.Я., Волков Б.А., Петровский Б.И., Губанов В.А. Применение аппаратуры контроля опасных обрушений кровли в очистных забоях калийных пластов // Сб. ст. «Экономика и организация калийного производства». Горный информац.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2003. – № 10. – С. 32-37.

11. Щерба В.Я., Башура А.Н., Андрейко С.С. Управление газодинамическими процессами при подземной разработке Старобинского месторождения калийных солей. Под ред. Прушака В.Я. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 194 с.

12. Щерба В.Я., Прушак В.Я., Петровский Б.И. Повышение эффективности отработки калийных пластов Старобинского месторождения на глубоких горизонтах // Сб. ст. «Экономика и организация калийного производства». Горный информац.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2003. – № 10. – С. 3-10.

13. Петровский Б.И., Щерба В.Я., Губанов В.А., Поляков А.Л., Зубович В.С. Развитие способов сохранения горных выработок в калийных рудниках // Горный журнал. – № 11. – 2003. – С. 16-19.

14. Андрейко С.С., Некрасов С.В., Щерба В.Я., Прушак В.Я., Зубович В.С. Предотвращение газодинамических явлений в почве выработанного пространства лав // Горный журнал. – № 2. – 2004. – С. 45-48.

15. Щерба В.Я. Борьба с газодинамическими явлениями в калийных рудниках стран СНГ // Сб. ст. «Динамические и газодинамические явления в калийных рудниках». Горный информац.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – № 5 – С. 3-8.

16. Щерба В.Я. Региональные способы управления газодинамическими процессами в породах почвы горных выработок при слоевой отработке Третьего калийного пласта // Сб. ст. «Динамические и газодинамические явления в калийных рудниках». Горный информац.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – № 5. – С. 9-18.

17. Старовойтов В.С., Щерба В.Я., Старовойтов Ю.В. Методика расчета режимов работы очистного комбайна // Сб. ст. «Технология и механизация подземной добычи калийных руд». Горный информац.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – № 5. – С. 78-89.

18. Старовойтов В.С., Щерба В.Я., Старовойтов Ю.В. Выбор рациональных параметров исполнительных органов и схем набора резцов // Сб. ст. «Технология и механизация подземной добычи калийных руд». Горный информац.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – № 5. – С. 60-69.

19. Старовойтов В.С., Щерба В.Я., Старовойтов Ю.В. Определение рациональных параметров шнекового исполнительного органа комбайна КШ-3М // Сб. ст. «Технология и механизация подземной добычи калийных руд». Горный информац.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – № 5. – С. 70-77.

20. Щерба В.Я. Технология слоевой выемки Третьего пласта для сложных горно-геологических условий // «Технология и механизация подземной добычи калийных руд». Горный информац.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – №5. – С. 18-26.

21. Петровский Б.И., Губанов В.А., Прушак В.Я., Щерба В.Я. Бесцеликовые технологические схемы слоевой выемки Третьего калийного пласта // Сб. ст. «Вопросы геомеханики подземной добычи калийных солей». Горный информац.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2003. – № 10. – С. 3-16.

22. Петровский Б.И., Прушак В.Я., Щерба В.Я., Губанов В.А. Особенности проявления горного давления в двухслоевых лавах на Втором калийном пласте // Сб. ст. «Вопросы геомеханики подземной добычи калийных солей». Горный информац.-аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ, 2003. – № 10. – С. 24-34.

23. Красников Ю.Д., Прушак В.Я., Щерба В.Я. Горные машины.– Минск, 2003. – 148 с.

24. Щерба В.Я., Башура А.Н., Лаутербах Д., Микула С., Дворник А.П. Долговечность поворотных резцов комбайна при разработке месторождений калийной руды // Материалы, технологии, инструменты: междунар. науч.-техн. журнал. – № 2. – 1997. – С. 104-105.

25. Андрейко С.С., Щерба В.Я., Прушак В.Я. Методика локального прогноза выбросоопасных зон // *Материалы, технологии, инструменты: междунар. науч.-техн. журнал.* – Т. 7. – № 3. – 2002. – С.94-98.

26. Прушак В.Я., Щерба В.Я., Андрейко С.С. Методика управления газодинамическими процессами в зонах геологических нарушений // *Материалы, технологии, инструменты: междунар. науч.-техн. журнал.* – Т. 7. – № 3. – 2002. – С. 102-106.

27. Прушак В.Я., Щерба В.Я., Тухто А.А., Андрейко С.С. Анализ методов прогнозирования и предотвращения газодинамических явлений в калийных рудниках // *Материалы, технологии, инструменты: междунар. науч.-техн. журнал.* – Т. 7. – № 1. – 2002 – С. 37-41.

28. Андрейко С.С., Щерба В.Я., Тухто А.А. Оптимизация параметров сотрясательного взрывания на рудниках Старобинского месторождения калийных солей // *Материалы, технологии, инструменты: междунар. науч.-техн. журнал.* – Т. 8. – № 1. – 2003 – С. 80-83.

29. Андрейко С.С., Калугин П.А., Щерба В.Я. Газодинамические явления в калийных рудниках: генезис, прогноз и управление. Под ред. Прушака В.Я. – Минск, 2000. – 335 с.

30. Щерба В.Я., Прушак В.Я., Петровский Б.И., Калиниченко П.И., Ищенко Р.В., Плескунов В.Н. Комбайн для селективной выемки Третьего калийного пласта на полную мощность // *Горная механика: междунар. науч.-техн. журнал.* – № 3-4. – 2004. – С. 3-9.

31. Кириенко В.М., Щерба В.Я. Способы управления выбросоопасностью в зонах геологических нарушений на рудниках Старобинского месторождения калийных солей // *Горная механика: междунар. науч.-техн. журнал.* – № 3-4. – 2000. – С. 38-41.

32. Андрейко С.С., Щерба В.Я., Тухто А.А. Региональные способы управления выбросо-опасностью в зонах расположения мульд и комбинированных геологических нарушений // *Горная механика: междунар. науч.-техн. журнал.* – № 1. – 2002. – С. 81-89.

33. Щерба В.Я., Тухто А.А., Плескунов В.Н. Выбор сейсмической модели изучаемой среды при прогнозировании выбросоопасных зон Третьего пласта Старобинского месторождения // *Горная механика: междунар. науч.-техн. журнал.* – № 3-4. – 2004. – С. 84-91.

34. Щерба В.Я., Тухто А.А., Плескунов В.Н. Разработка способов опережающего управления выбросоопасностью на калийных пластах // *Горная механика: междунар. науч.-техн. журнал.* – № 3-4. – 2004. – С. 91-96.

35. Щерба В.Я., Тухто А.А., Плескунов В.Н. Методика прогноза выбросоопасных зон при разработке Старобинского месторождения калийных солей // *Горная механика: междунар. науч.-техн. журнал.* – № 1. – 2005. – С. 17-22.

36. Щерба В.Я., Плескунов В.Н., Зубович В.С. Пространственное моделирование напряженно-деформированного состояния солевого породного

массива в окрестности забоя плоской и сферически-плоской формы // Горная механика: междунар. науч.-техн. журнал. – № 2. – 2005. – С. 3-12.

37. Щерба В.Я., Рашеня Г.Н., Филипеня Г.Г. Исследование режимов работы и конструктивных параметров исполнительного органа проходческого комбайна на энергоёмкость // Упрочнение, восстановление и ремонт на рубеже веков: Сб. науч. тр. междунар. науч.-техн. конф. – Новополоцк, 2001. – С. 566-570.

38. Щерба В.Я., Старовойтов В.С., Старовойтов Ю.В. Исследование влияния параметров режущего инструмента на усилия резания // Упрочнение, восстановление и ремонт на рубеже веков: Сб. науч. тр. междунар. науч.-техн. конф. – Новополоцк, 2001. – С. 710-713.

39. Пат. 6297 ВУ, МПК Е 21 Д 9/10. Комбайн шахтный проходческий / Прушак В.Я., Щерба В.Я., Конопляник И.А. и др. – № 20000798; Заявл. 22.08.2000; Оpubл. 30.06.04 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2004. – № 2 (41). – С.199.

40. Пат. 1735 ВУ, МПК Е 21 В 7/28. Забурник для крепления расширителя скважин на буровой штанге / Прушак В.Я., Щерба В.Я., Губанов В.А., и др. – № 20040286; Заявл. 11.06.04; Оpubл. 30.12.04 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2004. – № 4 (43). – С.257-258.

41. Пат. 1819 ВУ, МПК Е 21 В 17/22. Шнековая буровая штанга для вращательного бурения скважин, преимущественно, в глинисто-соляных породах / Прушак В.Я., Щерба В.Я., Губанов В.А. и др. – № 20040263; Заявл. 31.05.04; Оpubл. 30.03.05 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2005. – № 1(44). – С.283.

42. Пат. 1820 ВУ, МПК Е 21 В 10/42. Буровая коронка для вращательного бурения скважин, преимущественно, в глинисто-солевых породах / Прушак В.Я., Щерба В.Я., Петровский Б.И. и др. – № 20040264; Заявл. 31.05.04; Оpubл. 30.03.05 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2005. – № 1(44). – С.236-237.

43. Пат. 1821 ВУ, МПК Е 21 В 23/00. Стопорное устройство для доставки монозаряда в скважину / Прушак В.Я., Щерба В.Я., Губанов В.А. и др. – № 20040265; Заявл. 31.05.04; Оpubл. 30.03.05 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2005. – № 1(44). – С.238.

Подписано в печать 18.09.2006 г.

Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка», А4, 80 г/м2. Гарнитура Таймс
Отпечатано на ризографе CR-1610. Усл. печ. л. 7,31. Тираж 100 экз. Заказ 194.

ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным
производством»

ул. Козлова, 69, г. Солигорск, 223710, Республика Беларусь.

т. 6-35-32, 6-27-94

ipr@sipr.by