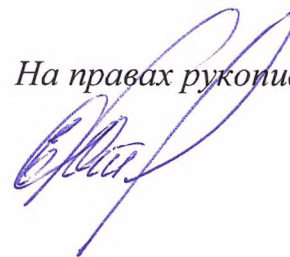


На правах рукописи



Ютяев Евгений Петрович

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ИНТЕНСИВНОЙ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ
ВЫСОКОГАЗОНОСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

*Специальность 25.00.22 – Геотехнология
(подземная, открытая и строительная)*

*Специальность 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика*

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Кемерово 2019

Работа выполнена в филиале федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в городе Прокопьевск и Акционерном обществе «СУЭК-Кузбасс».

Научный консультант –

Казанин Олег Иванович

доктор технических наук, декан горного факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», профессор РАН

Официальные оппоненты:

Козырев Анатолий Александрович,

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заместитель директора по научной работе Горного института ФИЦ Кольского научного центра Российской академии наук

Левин Лев Юрьевич,

доктор технических наук, заместитель директора по научной работе Горного института Уральского отделения Российской академии наук

Рассказов Игорь Юрьевич,

доктор технических наук, доцент, директор Института горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук

Ведущая организация –

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет»

Защита диссертации состоится 16 мая 2019 г. в 11 ч 00 мин на заседании диссертационного совета Д 212.102.02 при ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, аудитория 1232.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева и на сайте организации по адресу: <http://science.kuzstu.ru/activities/gos-attestation/soresearchers/>

Автореферат разослан «___» _____ 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Тюленев М.А.

Общая характеристика работы

Актуальность. Среди современных вызовов, стимулирующих непрерывное развитие технологий подземной угледобычи, можно выделить рост конкуренции на мировом рынке, резкие колебания цен на уголь с неуклонным падением в период 2011-2016 гг., а также ужесточение экологических требований. Несмотря на замедление темпов роста мирового потребления угля, долгосрочной программой развития угольной отрасли предусмотрено к 2030 году увеличение общего объема добычи угля в России до 430 млн. т и более, а по отдельным прогнозам и 500 млн. т, что существенно превышает достигнутый в 2017 году уровень. Рост угледобычи планируется как за счет строительства новых производственных мощностей, так и за счет увеличения уровня концентрации горных работ на действующих предприятиях. Повышение уровня концентрации горных работ, т.е. снижение количества действующих очистных забоев при увеличении их производительности, приводит к переходу шахт к структуре «шахта-лава», когда в шахте работает один длинный очистной забой в режиме от 2 до 10 и более млн. тонн в год. По состоянию на 01.07.2018 г. в России 42 из 57 шахт работали в режиме «шахта-лава». Количество действующих комплексно-механизированных очистных забоев (КМЗ) за период с 2000 по 2018 гг. снизилось со 170 до 70, а среднесуточная нагрузка на КМЗ за этот период возросла с 1324 т/сут до 5105 т/сут.

Отрицательно сказываются на технико-экономических показателях работы шахт простои оборудования, вызванные повышенным газовыделением, отжигом угля, вывалами, увеличенными водопритоками, остановками при переходе геологических нарушений, организационно-техническими причинами. При наличии на шахте лишь одного очистного забоя потери от простоев КМЗ могут составлять до 130 тыс. рублей в час и более.

Дальнейший рост технико-экономических показателей работы КМЗ является необходимым условием обеспечения конкурентоспособности угледобычи в условиях неблагоприятной рыночной конъюнктуры. При этом повышение интенсивности воздействия на массив в сочетании с постоянным углублением горных работ, ростом природной газоносности пластов и геодинамической опасности предъявляет особые требования как к качеству проектов отработки пластов, так и к организации мониторинга и контроля состояния массива в процессе ведения горных работ.

Решению проблем повышения эффективности и безопасности подземной угледобычи посвящены работы А.Т. Айруни, Я.А. Бича, А.А. Борисова, А.С. Бурчакова, А.С. Батугина, И.М. Батугиной, Ю.Ф. Васючкова, Ю.В. Громова, П.В. Егорова, В.С. Забурдяева, В.Е. Зайденварга, В.П. Зубова, В.С. Зыкова, О.И. Казанина, Н.О. Калединой, В.Н. Каретникова, О.В. Ковалева, К.С. Коликова, В.А. Колмакова, Г.И. Коршунова, Г.Д. Лидина, А.С. Малкина, Ю.Н. Малышева, В.В. Мельника, В.И. Мурашева, Н.В. Ножкина, И.М. Петухова, Г.Я. Полевщикова, В.А. Портолы, В.Н. Пузырева, Л.А. Пучкова, А.А. Ренева, М.А. Розенбаума, И.В. Сергеева, С.В. Сластунова, О.В. Тайлакова, Н.И. Устинова, К.З. Ушакова, В.Н. Фрянова, Ю.Л. Худина, С.В. Циреля, О.И. Чернова,

А.Н. Шабарова, Л.А. Шевченко, В.М. Шика, Ю.В. Шувалова, И.Л. Эттингера, В.Д. Ялевского, С.А. Ярунина и многих других ученых.

Результаты их исследований заложили научные основы для технологического развития угольной отрасли. В то же время, в условиях необходимости повышения и поддержания на стабильно высоком уровне нагрузок на очистные забои и возрастания интенсивности техногенного воздействия на массив, раздельное решение вопросов управления газовыделением и геомеханического обеспечения производства не решает проблему обеспечения конкурентоспособности подземной угледобычи в долгосрочной перспективе. Необходимо комплексное рассмотрение данных вопросов в увязке с принятыми пространственно-планировочными решениями для конкретных условий, а также мониторинг и контроль геомеханических, газодинамических и технологических процессов в процессе ведения горных работ.

Тематика исследований соответствует целям долгосрочной программы развития угольной промышленности России до 2030 года, а также государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий», федеральной целевой программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы».

Целью работы является обоснование технологии интенсивной подземной разработки высокогазоносных угольных пластов, обеспечивающей на долгосрочной основе эффективную и безопасную угледобычу при усложнении горно-геологических и горнотехнических условий.

Идея работы состоит в комплексном учёте результатов исследований гео- и газодинамических процессов в угленосной толще при расчете параметров технологии ведения горных работ для обеспечения максимальной загрузки современного горного оборудования и контроля за газодинамическими процессами и состоянием массива.

Основные задачи исследований:

1. Выбор способа подготовки выемочных участков и параметров технологических схем интенсивной отработки высокогазоносных угольных пластов;
2. Исследование геодинамического состояния массива горных пород, выделение геодинамически опасных зон и разработка методов снижения их влияния на технико-экономические показатели при интенсивной отработке угольных пластов;
3. Разработка и апробация методологии оценки предельно допустимого уровня интенсификации подземной угледобычи по газовому фактору для объективного выбора способа дегазационной подготовки угольного пласта, оценка точности прогноза ожидаемых нагрузок на очистные забои на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс»;
4. Обоснование и реализация методологических подходов к выбору технологии дегазационной подготовки угольных пластов, технико-экономическая оценка реализации рекомендаций по эффективной комплексной дегазации газоносных угольных пластов;

5. Обоснование методологии создания на основе современных информационных технологий системы регионального и локального мониторинга геодинамического состояния массива в рамках единого диспетчерско-аналитического центра при интенсивной отработке угольных пластов.

Объектом исследования являются высокогазоносные угольные пласты.

Предметом исследования являются технологии разработки угольных пластов длинными очистными забоями.

Научная новизна:

1. Научно обоснована методология выбора основных параметров технологических схем интенсивной отработки выемочных участков при многоштрековой подготовке выемочных участков с учетом влияния гео- и газодинамических факторов.

2. Научно обоснована методология прогноза геодинамического состояния массива при интенсивной отработке угольных пластов, включающая геодинамическое районирование, трехмерное геолого-структурное моделирование, количественную оценку напряженно-деформированного состояния массива при отработке рассматриваемой части шахтного поля на базе компьютерного моделирования, выявление тектонически напряженных и тектонически разгруженных зон, позволяющая заблаговременно планировать мероприятия по минимизации влияния зон на технико-экономические показатели угледобычи.

3. Научно обоснована модель формирования метанообильности очистной выработки при интенсивной отработке пологих газоносных пластов длинными забоями, учитывающая поступление метана из всех источников и вклад внутреннего источника разрабатываемого пласта, позволяющая объективно оценить величину предельно допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору.

4. Научно обоснован выбор основных технологических решений по комплексной дегазационной подготовке не разгруженных от горного давления угольных пластов, подлежащих интенсивной и безопасной отработке, на основе оценки величины предельно допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору, экспериментального определения основных свойств и характеристик состояния угольного пласта.

5. Научно обоснована структурная схема и методология многоуровневого регионального и локального мониторинга геодинамического состояния массива при интенсивной отработке угольных пластов, встроенная в систему единого диспетчерско-аналитического центра.

Положения, выносимые на защиту:

1. При интенсивной отработке пологих газоносных пластов наибольшие возможности снятия ограничений нагрузки на очистные забои по газовому и геомеханическому факторам обеспечиваются при корректном определении параметров технологических схем, использовании многоштрековой подготовки выемочных участков с оставлением между выработками неизвлекаемых ленточных целиков заданной податливости.

2. При обосновании параметров технологических схем отработки высокогазоносных угольных пластов и разработке мероприятий по управлению состоя-

нием массива на глубинах до границы удароопасности наиболее значимым геомеханическим фактором являются тектонически разгруженные зоны (ТРЗ), ниже границы удароопасности – тектонически напряженные зоны (ТНЗ), наличие и геометризацию которых следует устанавливать на основе геодинамического районирования.

3. Разработка и выбор способов дегазационной подготовки углегазонасного массива к эффективной отработке угольных пластов базируются на достоверной оценке величины предельно допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору, которая определяется на основе разработанной модели формирования газообильности очистной выработки, учитывающей поступление метана из всех источников и вклад внутреннего источника разрабатываемого пласта в виде сорбированного в нем газа, основывается на использовании фундаментальных законов газовой динамики, достоверном определении основных свойств и характеристик состояния угольного пласта, современных средств компьютерного моделирования.

4. Исследование и разработка методологического подхода к выбору способа дегазационной подготовки угольного пласта базируются на учете следующих основных факторов: прогнозной скорости газоотдачи угольных пластов, оцениваемой на стадии экспериментальных работ по определению основных свойств и состояния углегазонасного массива (величины пластового давления, проницаемости, его сорбционных характеристик), резерва времени на дегазацию и величины «газового барьера» при планируемой нагрузке на очистной забой, причем технология пластовой дегазационной подготовки носит комплексный характер и включает в себя в общем случае базовую и вспомогательные технологические схемы, прошедшие апробацию в шахтных условиях.

5. Геомеханическое обеспечение технологии интенсивной подземной отработки угольных пластов базируется на региональном и локальном мониторинге геодинамического состояния массива, включающем системы сейсмического и сейсмоакустического мониторинга, обеспечивающие в режиме реального времени мониторинг состояния массива и его изменений в результате ведения горных работ, встроенные в единую структуру диспетчерско-аналитического центра угольной шахты.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются:

- применением современных методов шахтных исследований, геодинамического районирования и численного моделирования гео- и газодинамических процессов;

- хорошей сходимостью результатов предварительного геодинамического районирования со структурой, состоянием и свойствами углепородного массива, выявленными в ходе подготовки выемочных участков спаренными выработками и очистных работ;

- представительным объемом шахтных исследований по определению основных свойств и характеристик газонасного массива, анализом горно-геологических и горнотехнических условий, фактической оценкой эффективно-

сти способов пластовой дегазации, применяемых на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс»;

- экспериментально подтвержденным увеличением точности прогноза величин предельно допустимых нагрузок на очистные забои на 15-20%;
- корректным использованием методов математической статистики при обработке результатов исследований;
- успешным внедрением выбранных технологических схем подготовки и очистной выемки, сопровождающимся повышением нагрузок на забои и уровня безопасности ведения горных работ.

Научное значение работы заключается:

- в научно обоснованном выборе, разработке и реализации способов ведения комплексной дегазационной подготовки высокогазоносных, не разгруженных от горного давления угольных пластов;
- в оценке геодинамической ситуации в тектонически разгруженных и тектонически напряженных зонах и разработке методов снижения их влияния на технико-экономические показатели горных работ;
- в создании методологии обоснованного определения величин предельно допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору для разработки и выбора способов дегазационной подготовки углегазоносного массива;
- в создании научно обоснованных методов выбора параметров технологических схем подготовки и отработки выемочных участков.

Отличие от ранее выполненных работ заключается в комплексном использовании результатов исследований геодинамических и газодинамических процессов в угленосной толще для обоснования технологии интенсивной подземной разработки высокогазоносных угольных пластов, обеспечивающей эффективную и безопасную угледобычу за счет максимальной загрузки современного горного оборудования, прогноза, мониторинга и контроля газодинамических процессов и состояния массива.

Практическая ценность работы:

- обоснованы параметры и внедрены технологические схемы подготовки и отработки выемочных участков пологих пластов с длиной лавы 400 м, обеспечивающие производительность очистных забоев более 1,0 млн. т/мес.;
- разработана методика предварительного и оперативного прогноза газообильности подземных горных выработок в условиях интенсивной отработки угольных пластов;
- разработана методика определения газопроницаемости угля в очистном забое;
- разработана методика проведения шахтного эксперимента по определению пластового давления, проницаемости и параметров сорбции разрабатываемого угольного пласта;
- разработана методика определения газокинетических и фильтрационных свойств угольного пласта в условиях его гидравлической обработки;
- разработаны методы снижения газо- и геодинамических рисков при интенсивной подземной добыче угля в Кузбассе;

- разработана концепция и структурная схема «Единого диспетчерско-аналитического центра – СУЭК», включающего систему регионального и локального мониторинга геодинамического состояния массива, обеспечивающего повышение эффективности и безопасности работы угольных шахт.

Реализация работы:

- разработан альбом технологических схем подготовки и отработки выемочных участков на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», включающий модули управления газовыделением, управления состоянием массива, порядка ведения работ в опасных зонах;

- разработаны рекомендации по выбору способов и определению параметров подземной пластовой дегазации на основе исследований газоотдачи угольных пластов на шахте им. С.М. Кирова;

- разработаны и реализованы методы снижения геодинамических рисков в тектонических разгруженных зонах на шахтах «Талдинская-Западная-1», «Талдинская-Западная -2» и «Котинская»;

- разработана и реализована основная техническая документация на проведение работ по подземной пластовой дегазации на восьми лавах двух шахт АО «СУЭК-Кузбасс»;

- разработаны и реализованы «Технологические части проекта предварительной дегазации пласта «Болдыревский» из подготовительных выработок выемочных участков 24-58, 24-59, 24-60» и «Технологическая часть проекта предварительной и передовой дегазационной подготовки пласта «Поленовский» лавы 25-96 на поле шахты им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс», разработана «Технологическая часть проекта заблаговременной дегазационной подготовки угольного пласта «Болдыревский» на поле шахты им. С.М. Кирова, утвержденная в установленном порядке; разработаны и реализованы методические рекомендации по выбору технологии пластовой дегазации для ряда выемочных участков шахты им. С.М. Кирова;

- разработана и реализована на шахте им. С.М. Кирова усовершенствованная методика определения предельно допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору;

- создан и введен в эксплуатацию «Единый диспетчерско-аналитический центр – СУЭК», включающий систему регионального и локального мониторинга геодинамического состояния массива, позволивший повысить эффективность и безопасность угледобычи, ритмичность работы угольных шахт и снизить количество простоев в 5 и более раз.

Научные и практические результаты работы используются в учебном процессе при подготовке и повышении квалификации горных инженеров в Кузбасском государственном техническом университете им. Т.Ф. Горбачева и Горном институте НИТУ «МИСиС».

Личный вклад автора диссертационной работы состоит в:

постановке цели и задач, обосновании и выборе методики исследований, организации и руководстве исследованиями; участии в проведении и обобщении результатов аналитических и натурных исследований гео- и газодинамических процессов при интенсивной отработке угольных пластов;

обосновании на основе результатов исследований параметров подземной геотехнологии отработки высокогазоносных угольных пластов; участии в разработке основной технической и методической документации, шахтной реализации основных технологических решений по предварительной пластовой дегазации с использованием новых инженерных воздействий на угольный пласт; разработке технических требований, контроле за внедрением и оценке эффективности функционирования единого диспетчерско-аналитического центра ЕДАЦ-СУЭК.

Апробация работы. Основное содержание диссертационной работы докладывалось в составе научно-технических отчетов в АО «СУЭК-Кузбасс» (2009-2017 гг.), на ежегодных научных симпозиумах «Неделя горняка» (2010-2018 гг.), научно-практической конференции в г. Ленинск-Кузнецкий (2013 г.), научных семинарах кафедр «Инженерная защита окружающей среды» (2013 г.), «Горнопромышленная экология» (2014 г.) и «Безопасность и экология горного производства» Горного института НИТУ «МИСиС» (2017 г.), на научных семинарах научного центра геомеханики и проблем горного производства (г. Санкт-Петербург, 2011-2016 гг.) и заседаниях кафедр разработки месторождений полезных ископаемых и безопасности производств Санкт-Петербургского горного университета (2013-2018 гг.)

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 68 печатных работах, в том числе из них 51 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения, изложенных на 461 странице текста, содержит 48 таблиц, 144 рисунка, список литературы из 235 наименований, 7 приложений.

В первой главе проведен обзор и анализ отечественных и зарубежных литературных источников по интенсивной добыче угля в условиях высокой газоносности и сложной геодинамической обстановки, проанализирован зарубежный и российский опыт, выявлены актуальные задачи обеспечения высокой производительности очистных забоев при необходимом уровне безопасности горных работ, сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе рассмотрены геодинамические аспекты обеспечения эффективности и безопасности добычи угля в Кузбассе; рассмотрено геодинамическое строение Кузбасса. Показаны механизмы формирования тектонически напряженных и тектонически разгруженных зон в горном массиве, влияния тектонических нарушений на напряженно-деформированное состояние (НДС) свиты угольных пластов; изложена методология прогноза состояния массива при интенсивной отработке угольных пластов; проведено математическое моделирование НДС в приразломной зоне; даны численные оценки влияния тектоники на напряжения в зонах повышенного горного давления (ПГД), созданных продавливающим действием целиков. Особое внимание уделено тектонически разгруженным зонам (ТРЗ), рассматриваются методы их заблаговременного выявления и методы минимизации их влияния на очистные работы.

В третьей главе представлен анализ применяемых технологических схем подготовки и отработки выемочных участков, показана необходимость приме-

нения многоштрековых схем для обеспечения эффективности и безопасности горных работ в высокопроизводительных очистных забоях. Изложен методический подход к выбору количества выработок с каждой стороны выемочного столба, выбору длины лавы. Приведены результаты исследований несущей способности, обоснованы параметры межштрековых целиков при многоштрековой подготовке выемочных участков, показана возможность управления податливостью целиков.

В четвертой главе приведены научное обоснование и разработаны методические основы определения предельно допустимых нагрузок на очистной забой по газовому фактору для объективного выбора технологии дегазационной подготовки угольных пластов, представлено моделирование процессов массопереноса метана, на основании которого выявлены основные факторы, определяющие максимально допустимые нагрузки на очистной забой по газовому фактору. Изложены экспериментальные и расчетные методы определения пластового давления метана, дан прогноз допустимых нагрузок на очистной забой для условий ряда выемочных участков шахты им. С.М. Кирова, оценена его достоверность.

В пятой главе представлены общие принципы выбора рациональных технологических схем дегазационной подготовки угольных пластов, обоснован методический подход к выбору параметров пластовой дегазации с учетом планируемой нагрузки на очистной забой. Эти принципы реализованы на примере шахты им. С.М. Кирова, представлены схемы дегазационной подготовки на перспективных объектах шахты им. С.М. Кирова. Разработаны рекомендации по выбору способов и определению параметров дегазации угольных пластов на выемочных участках шахты им. С.М. Кирова.

В шестой главе показана существенная неравномерность работы очистных забоев на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», обоснована необходимость внедрения в рамках МФСБ систем мониторинга и контроля техники, а также геодинамического состояния массива при интенсивной отработке угольных пластов с целью минимизации простоев. Представлена концепция, структура, особенности внедрения и функционирования Единого диспетчерско-аналитического центра – СУЭК». Обоснована структурная схема и методология многоуровневого регионального и локального мониторинга геодинамического состояния массива при интенсивной отработке угольных пластов, встроенная в систему единого диспетчерско-аналитического центра. Рассмотрены результаты внедрения разработанных в диссертации предложений в практику подземной угледобычи на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс».

В заключении приведены основные выводы по работе, подведены итоги внедрения разработанных методов и методик на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс».

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Основные результаты исследований отражены в следующих защищаемых положениях:

1. При интенсивной отработке пологих газоносных пластов наибольшие возможности снятия ограничений нагрузки на очистные забои по газовому и геомеханическому факторам обеспечиваются при использовании многоштрековой подготовки выемочных участков с оставлением между выработками неизвлекаемых ленточных целиков заданной податливости.

Обеспечение конкурентоспособности шахт, добывающих энергетический уголь, возможно лишь при достижении каждым очистным забоем технико-экономических показателей мирового уровня. Основными причинами ограничения нагрузок на очистные забои при применении современного очистного оборудования являются высокая газообильность выемочных участков и геомеханические факторы (неудовлетворительное состояние выработок, вывалообразование и пр.).

Основные требования к технологическим схемам подготовки и отработки выемочных участков при применении высокопроизводительных очистных механизированных комплексов можно сформулировать следующим образом:

1. Подготовка выемочных участков должна обеспечивать возможность эффективного управления газовыделением, управления состоянием массива, полного использования технических возможностей применяемого оборудования. Критерием выбора количества подготавливающих выработок являются минимальные прямые затраты на добычу 1 т угля на выемочном участке при снятии ограничений нагрузки на очистной забой по газовому и геомеханическому факторам.

2. Применяемые средства управления газовыделением на выемочных участках (вентиляция, дегазация, изолированный отвод метановоздушной смеси) должны обеспечивать снятие ограничений нагрузок на очистные забои по газовому фактору, а также обеспечивать безопасность отработки пластов, склонных к самовозгоранию.

3. Средства управления состоянием массива должны обеспечивать геодинамическую безопасность ведения работ, устойчивое состояние выработок, исключить формирование вывалов на сопряжениях и в лавах. При проектировании порядка отработки выемочных участков в пределах шахтного поля необходимо учитывать расположение тектонически напряженных и разгруженных зон и направления главных напряжений в массиве. В случае необходимости проведения профилактических работ по управлению состоянием массива должны быть разработаны меры, исключаяющие их влияние на эффективную работу очистного забоя.

Одновременное выполнение всех требований возможно лишь при применении многоштрековых схем подготовки и отработки выемочных участков. При этом существенно расширяются возможности управления газовыделением на выемочных участках средствами вентиляции, дегазации и изолированного отвода метановоздушной смеси (МВС), что позволяет снять ограничения нагруз-

ки на забой по газовому фактору, более полно использовать возможности современной выемочной техники.

При многострековой подготовке выемочных участков штреки (два, три или четыре с каждой стороны выемочного столба) проводятся одновременно, как правило, без присечки породы, т.е. процесс проходки можно рассматривать как добычу угля с использованием короткозабойного оборудования. Для обеспечения устойчивости штреков их рекомендуется ориентировать параллельно направлению действия главных горизонтальных напряжений. К основным параметрам технологических схем при многострековой подготовке выемочных участков относятся: количество штреков с каждой стороны выемочного столба; длина лавы; длина столба; параметры целиков. Размеры выемочных участков принимают исходя из возможностей очистных механизированных комплексов, подготовки к выемке максимального объема запасов.

Длина лавы является параметром, оптимизируемым по критерию минимальных удельных затрат на подготовку и отработку выемочных участков. На рис. 1 показана зависимость удельных затрат от длины лавы при интенсивной отработке пластов средней мощности для условий шахт АО «СУЭК-Кузбасс».

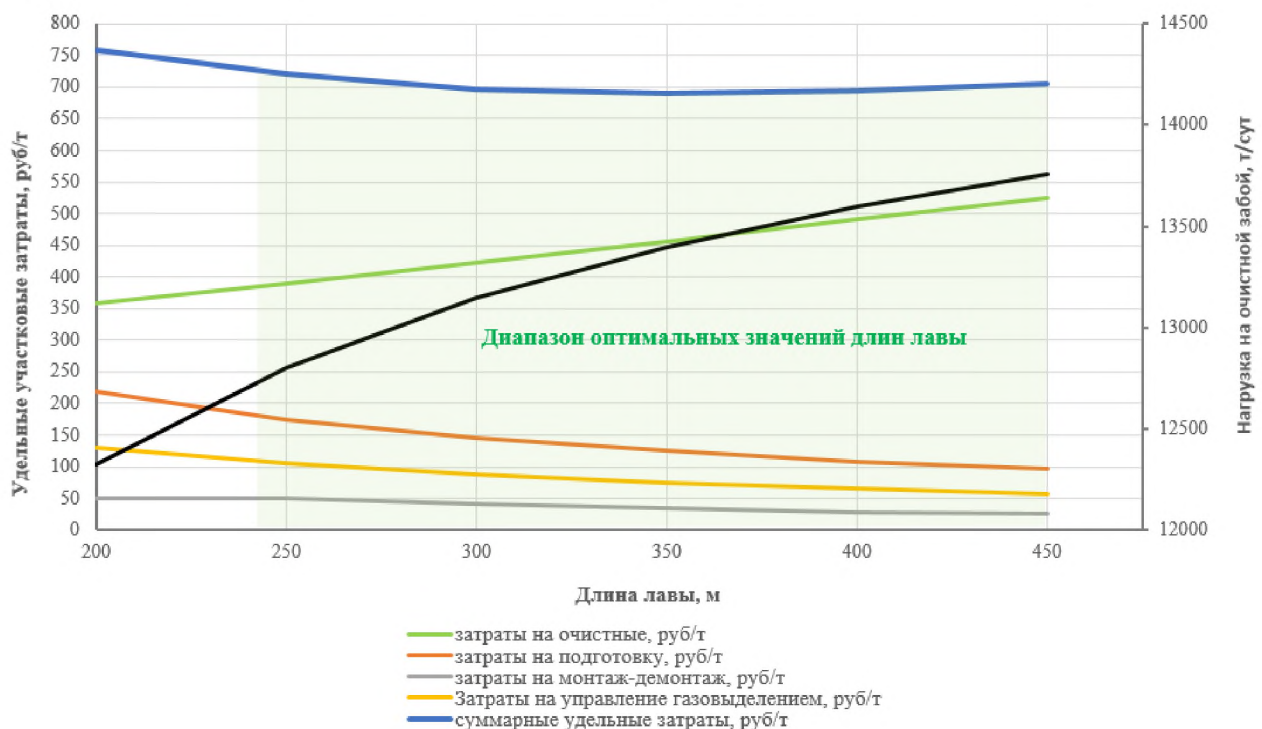


Рис. 1. Изменение удельных затрат при интенсивной отработке угольного пласта средней мощности

Для условий интенсивной разработки мощных пологих пластов в качестве оптимальной может быть рекомендована длина лавы 300-400 м, а для пластов средней мощности 350-450 м.

В табл. 1 приведены данные по параметрам систем разработки и технологических схем подготовки и отработки выемочных участков шахт АО «СУЭК-Кузбасс» в сопоставлении с лучшим мировым опытом.

Табл. 1. Параметры систем разработки и технологических схем подготовки и отработки выемочных участков шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

Показатели	Ед. изм.	Диапазон изменения		Лучший мировой опыт (США)
		Факт 2017 г.	Перспектива	
Длина лавы	м	180÷400	250÷400	300÷480 (до 540)
Длина столба	м	1000÷3720	2500÷7000	2500÷6900
Подготовка выемочных участков		спаренными выработками	спаренными выработками, тремя выработками	тремя выработками, четырьмя выработками, спаренными выработками
Размеры целиков между выемочными выработками:	м	9÷35	10÷40	7÷9 податливые целики, 30÷40 жесткие целики
у монтажной камеры	м	15÷80	15÷80	60÷150 м
у демонтажной камеры	м	15÷80	15÷80	60÷150 м
между основными выработками	м	15÷30	15÷30	12÷25
Расстояние между сбойками	м	60÷200	50÷200	30÷35
Средства механизации очистных работ	комбайн	Joy 7LS-20; 7LS6; 4LS-20; Elektra-3000; Eickhoff SL-500; SL-900	Joy 7LS-20; 7LS6; 4LS-20; Elektra-3000; Eickhoff SL-500; SL-900; SL-1000	Joy 7LS(1÷6); CAT EL(600÷3000)
	конвейер	A30(34); AFC; PF; SH PF 6/1142	A38(34); AFC; PF; SH PF 6/1142	Joy; JWR; CAT
	крепь	Joy; CAT (DBT); Tagor 24/50; Глиник 15/32	Joy; CAT (DBT)	Joy; CAT (DBT)
Нагрузка на очистной забой	т/сут	8000÷55000	до 65000	57000
	тыс.т/мес	100÷1560	до 2000	1500
	тыс. т/год	2000÷5000	до 8000	7000÷12000
Характеристика выемочных выработок	форма	прямоугольная	прямоугольная	Прямоугольная
	S _{св} , м ²	8,6÷20	9÷20	14÷18
	тип крепи	АСП и канатные анкера	АСП и канатные анкера	АСП и канатные анкера
Средства механизации проходки	комбайн	ГПКС; КП-21; Joy; Dosco; Bucyrus	КП-21; Урал-800, Joy; Dosco; Bucyrus, Sandvik	Joy 12 CM; 14CM ABM14(20; 25)
	транспорт горной массы	CP-70; BC-15; Joy SC	CP-70; BC-15; Joy SC	Joy SC
	вспомогательный транспорт	МПД; напочвенная дорога	МПД	
Скорость проходки	м/сут	4÷25	20÷40	45÷76
	м/мес	120÷650	500÷1000	≥1000

Оставление целиков может осложнить горные работы при отработке сближенных пластов. Поэтому при многострековых схемах подготовки корректный выбор параметров межштрековых целиков, которые обеспечивали бы устойчивость участковых выработок и не представляли опасности по горным ударам в условиях высоких скоростей подвигания очистных забоев, представляет собой важную научную задачу. Целики, применяемые для охраны и поддержания горных выработок, следует рассматривать как специфическую крепь, которая для выполнения своих функций должна иметь силовые и деформационные характеристики, соответствующие условиям применения. В зависимости от сочетания собственной жесткости целиков, условий формирования внешних нагрузок на них и контактного взаимодействия с почвой и кровлей обеспечивается или, наоборот, не обеспечивается поддержание выработок. В отличие от других видов крепи целики способны концентрировать потенциальную энергию упругого сжатия и поэтому при проектировании их размеры в плане, поперечном и продольном сечении должны приниматься с учетом не только проблемы охраны выработок, но и предотвращения горных ударов. В необходимых случаях должно обеспечиваться планомерное разрушение целиков. Основным критерием при ведении мероприятий по обеспечению податливости целиков является их экономическая целесообразность. В результате увеличения допустимых деформаций целика могут быть решены следующие задачи:

- перераспределение нагрузок (увеличение нагрузок на барьерные целики, на выработанное пространство);
- уменьшение потерь полезного ископаемого;
- сокращение пучения почвы за счет перераспределения нагрузок;
- уменьшение воздействия на выше- или нижележащие пласты в результате образования зон повышенного горного давления (ПГД);
- обеспечение эксплуатационного состояния выработок при их поддержании с целью повышения нагрузок на очистной забой.

При подготовке выемочных участков тремя штреками между ними оставляются два ряда ленточных целиков. При этом возможны различные варианты соотношения геометрических параметров целиков и выработок (рис. 2).

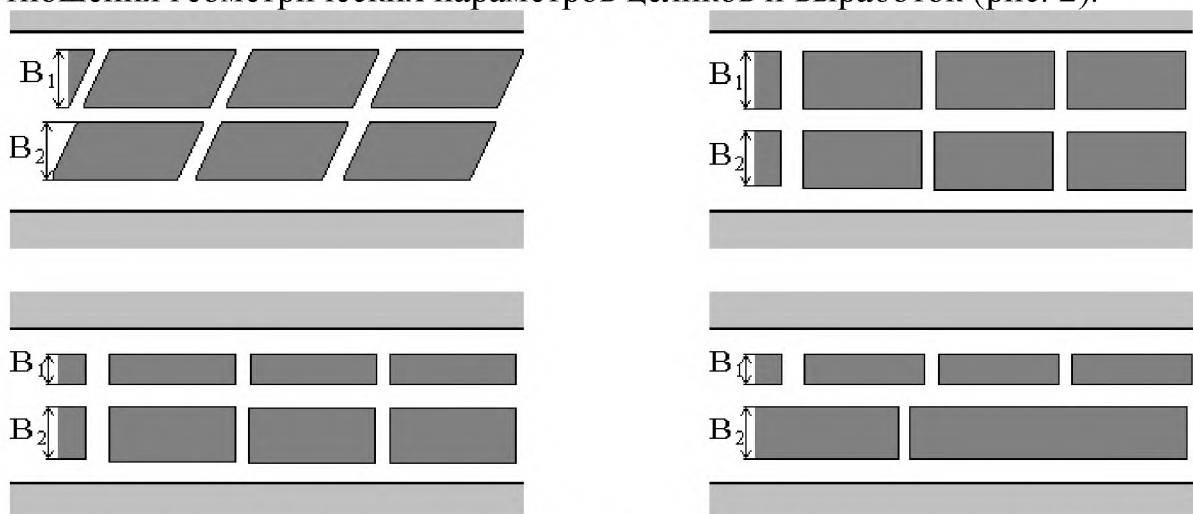


Рис. 2 – Варианты расположения выработок и целиков при трехштрековой подготовке выемочных участков

Для численной оценки влияния ширины межштрековых целиков и их податливости на устойчивость системы «целик-выработка-массив» при трехштрековой подготовке выемочных участков были разработаны горно-геомеханические модели и расчетные схемы, соответствующие горно-геологическим условиям и горнотехническим ситуациям при подготовке выемочных участков на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс». Исследования, выполненные методом граничных элементов, позволили получить картины распределения напряжений и деформаций вокруг выработок и целиков при различных значениях ширины целиков, их податливости, характера приложения нагрузки (рис. 3).

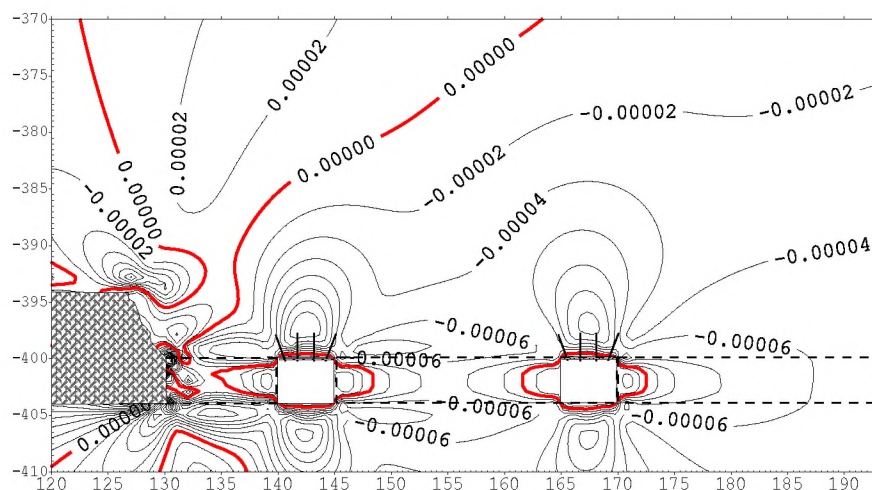


Рис. 3. Поле относительных деформаций ε_x при ширине целиков первого и второго рядов 10 и 20 м соответственно

Как показали исследования, принятые параметры междуштрековых целиков (первого и второго от выработанного пространства) $B_1 = 10$ м и $B_2 = 25$ м на глубинах отработки запасов до 400 м обеспечивают их достаточную устойчивость. Для широкого целика коэффициент запаса несущей способности соответствует 2,5, для целика, примыкающего к выработанному пространству, несущая способность целика соответствует приходящимся на него нагрузкам. Варьирование параметрами (ширина 20; 15; 10 м) целика, примыкающего к массиву, показало возможность его устойчивого состояния как применительно к обычным характеристикам пласта, так и при искусственном задании податливости. Последнее достижимо за счет обработки целиков (бурение скважин и др.).

К активным способам задания податливости целиков относятся способы, базирующиеся на уменьшении их несущей способности различными механическими воздействиями: бурение разгрузочных скважин большого диаметра; устройство щелей; гидрообработка и др. Наиболее приемлемым способом задания податливости является бурение разгрузочных скважин. Степень податливости целиков зависит от расположения скважин относительно пласта, плотности и количества скважин в ряду, диаметра скважин. Согласно действующим отраслевым нормативным документам максимальное расстояние, при котором обес-

печивается деформация пласта за счет смятия (раздавливания) разбуренной пачки и исключается опасность возникновения горного удара, составляет:

$$C = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \text{ м}, \quad (1)$$

где K_1, K_2, K_3 – эмпирические коэффициенты.

При максимальных значениях эмпирических коэффициентов C_{max} составит от 1,0 до 4,3 м в зависимости от диаметра скважин и мощности пласта (в пределах изменения мощности пласта от 0,5 м и более и диаметра скважин от 100 до 600 мм). Эти параметры гарантированно позволят деформироваться массиву и исключить опасность возникновения горного удара, хотя обеспечение заданной податливости по условиям работоспособности податливых целиков в заданном режиме будет несколько иным.

На моделях из эквивалентных материалов исследовалось влияние плотности установки скрепляющих элементов на несущую способность целика. Использовались значения параметров ленточного целика в модели: среднее значение коэффициента структурного ослабления 0,3; прочность при сжатии с учетом коэффициента структурного ослабления 15 МПа; высота целика 3 м; ширина целика 15 м. Испытывались четыре модели целика: без стяжек, с плотностью установки стяжек $S_{ст}/S_{бок}=0,11$; $S_{ст}/S_{бок}=0,15$; $S_{ст}/S_{бок}=0,22$ при одно- и двухрядном расположении стяжек с расстоянием между стяжками 20 и 30 мм. Испытания проводились на прессе, обеспечивающем максимальную нагрузку 20 т, соответствующие максимальному среднему напряжению в целиках 5,555 МПа. При этом производилось фотографирование целиков. По результатам обработки фоток кадров определялись параметры деформирования целиков в зависимости от нагрузки (рис. 4).

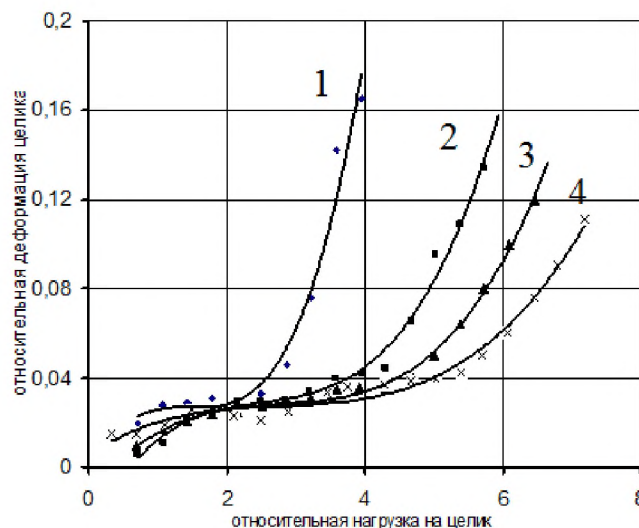


Рис. 4. Зависимость деформирования целика от действующей нагрузки при различной плотности установки скрепляющих элементов: 1 – без укрепления; 2 – укрепление 11% $S_{бок}$; 3 – 15%; 4 – 22%

Проведенные исследования показали возможность изменения несущей способности и податливости целиков в зависимости от производственной необходимости.

2. При обосновании параметров технологических схем отработки положенных газоносных пластов и разработке мероприятий по управлению состоянием массива на глубинах до границы удароопасности, наиболее значимым геомеханическим фактором являются тектонически разгруженные зоны (ТРЗ), ниже границы удароопасности – тектонически напряженные зоны наличие и геометризацию которых следует устанавливать на основе геодинамического районирования.

Сложное тектоническое строение Кузнецкого угольного бассейна, наличие сейсмогенных разломов, дизъюнктивных и пликативных нарушений различного ранга является важным фактором, влияющим на эффективность и безопасность горных работ. Анализ нагрузок на очистные забои шахт АО «СУЭК-Кузбасс» показал наличие зон в пределах обрабатываемых выемочных участков, в которых наблюдается резкое снижение нагрузок вследствие изменения геомеханической обстановки (рис.5).

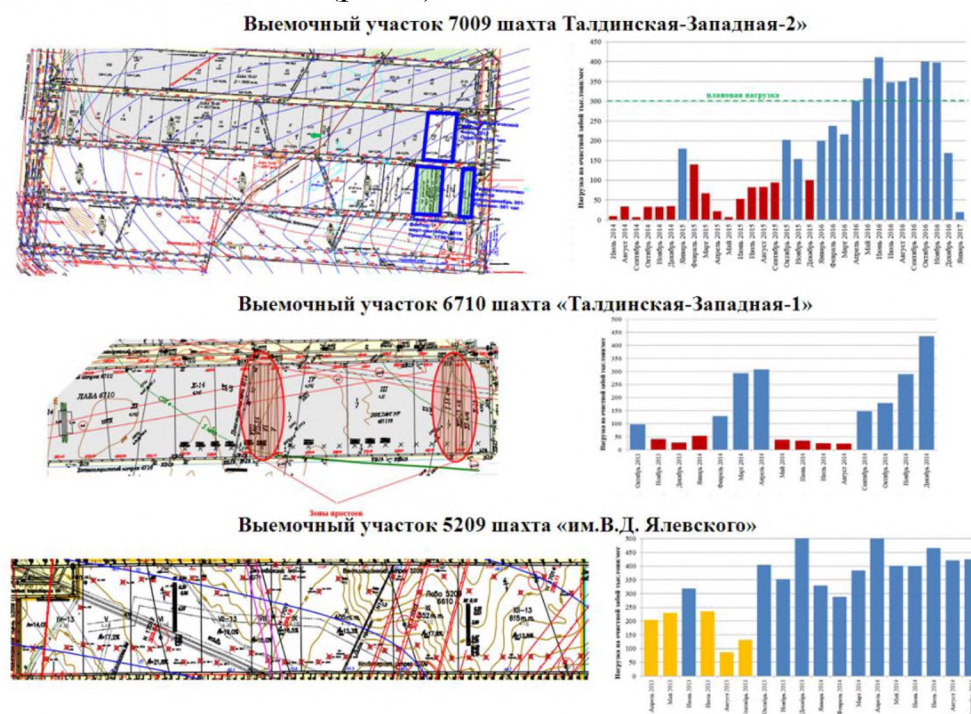


Рис. 5. Отработка запасов в неблагоприятных геомеханических условиях

Для эффективного применения высокоинтенсивных технологий и минимизации геодинамических рисков необходима раскройка шахтных полей на выемочные участки больших размеров с минимальным количеством тектонических нарушений, зон изменения морфологии угольного пласта и строения кровли, свойств и структуры углепородного массива. При этом необходимо как можно более раннее выявление всех особенностей свойств, структуры и состояния угольного пласта и вмещающих пород выемочных столбов, направлений главных напряжений в данной зоне. Выполнение этого требования необходимо для рациональной раскройки шахтных полей, выбора схем вскрытия и планирования подготовительных и очистных горных работ, а также для планирования проведения заблаговременной и предварительной дегазации.

Основная технология раннего выявления источников геодинамических рисков и предупреждения аварий, связанных с геодинамическими рисками, включает следующие этапы:

- Геодинамическое районирование, выделение потенциально опасных зон;
- Раскройка шахтных полей и планирование горных работ с учетом результатов геодинамического районирования;
- Геодинамический мониторинг и текущий анализ геодинамических рисков;
- Проведение мероприятий по предотвращению опасности (включая, локальные и региональные мероприятия, изменение порядка и/или темпов отработки и списания части запасов).

В диссертационной работе проанализированы методы геодинамического районирования и выбрана методика, в наибольшей степени отвечающая условиям шахт АО СУЭК-Кузбасс. Для выявления разломов и тектонически-напряжённых зон на локальном участке был выполнен морфоструктурный анализ территории горного отвода шахты «Котинская» (пласт 52) по топографической карте масштаба 1:25000 (рис. 6). На рис. 7 показаны проблемные места ведения горных работ – остановки и замедления подвигания очистных работ на пласте 52 шахты «Котинская». В большинстве случаев простои и замедления подвигания очистного забоя приблизительно совпадают с выделенными морфоструктурным методом потенциально опасными зонами.

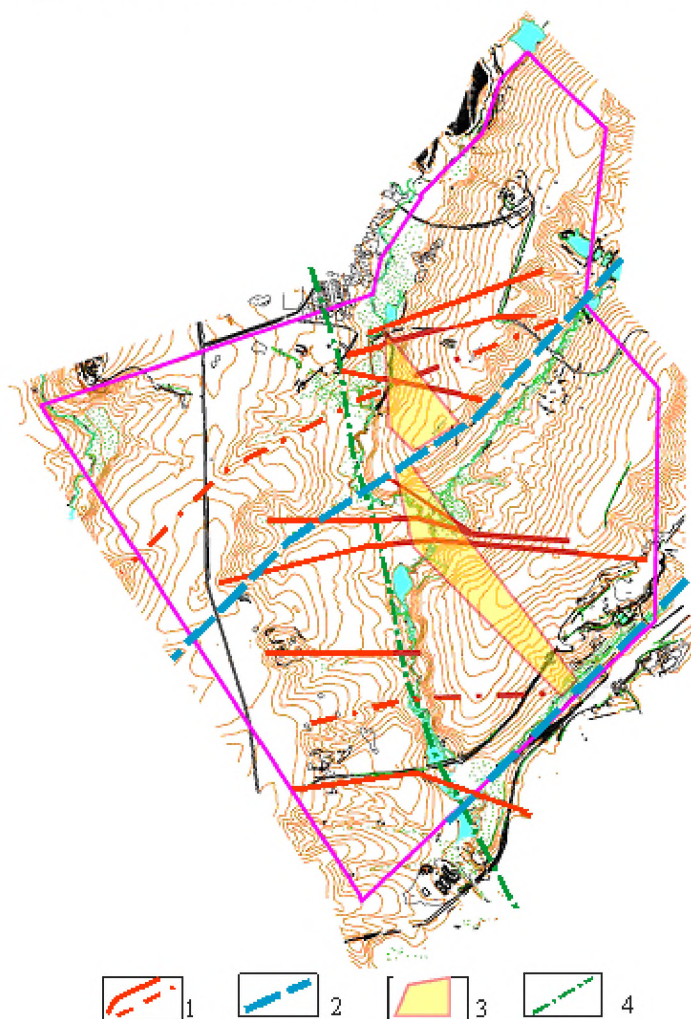


Рис. 6. Схема активных разломов V ранга ш. Котинская: 1 – разломы и предполагаемые нарушения, полученные по результатам морфоструктурного анализа; 2 – предполагаемые сдвиговые деформации (без нарушения сплошности пластов); 3 – участки несогласного залегания пород; 4 – граница синклиналь – антиклиналь.

Геодинамическое районирование широко используется для раскройки шахтных полей и планирования очистных работ.

Также на основании геодинамического районирования и анализа геодинамической обстановки на шахте «Талдинская-Западная-2» было принято решение остановить отработку пласта 70 лавой 70-06 перед геодинамически опасной зоной, связанной с пересечением палеорусла реки Тагарыш.

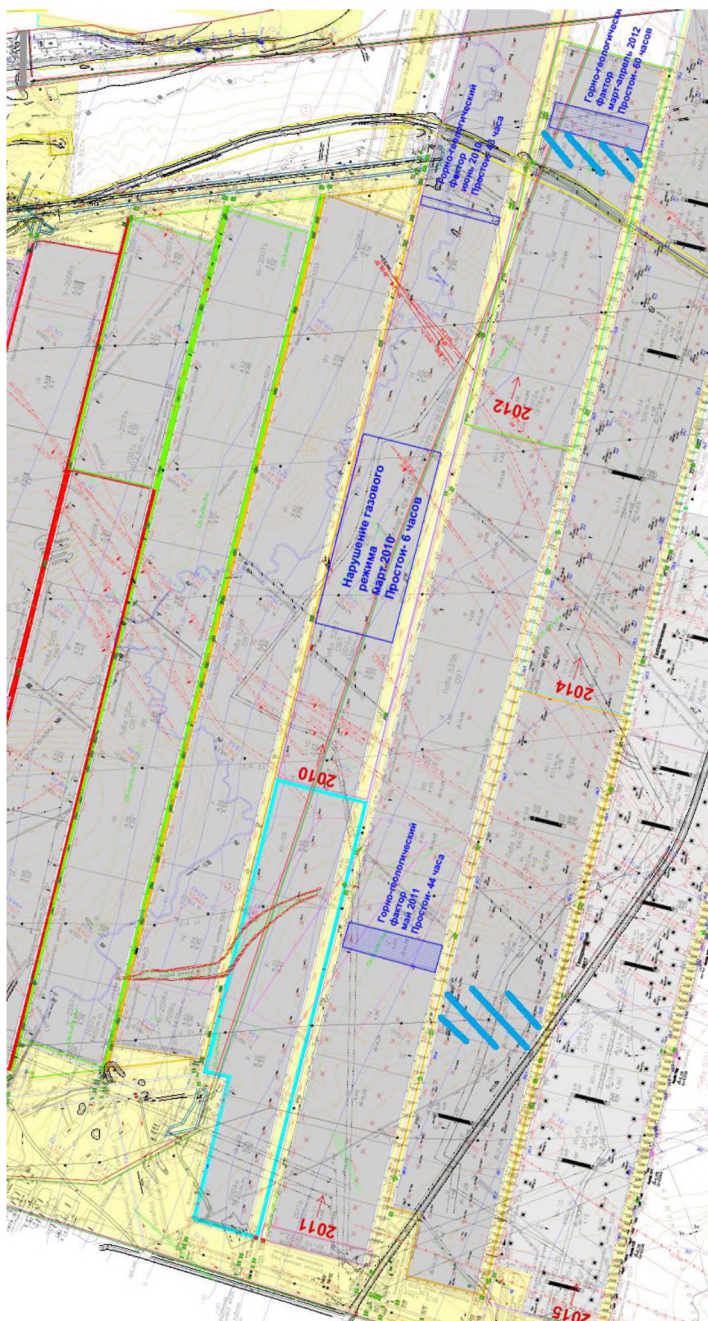


Рис. 7. Остановки и замедления подвигания очистных работ (синяя штриховка) на пласте 52 шахты Котинская

Однако, далеко не во всех случаях удастся выделить потенциально опасные зоны и принять оптимальные технологические решения на основании только геодинамического районирования, гидрогеологических данных и инженерных рассуждений. Во многих случаях требуются более сложные подходы, использующие сложные математические и статистические методы, а также приборный

мониторинг напряженно-деформированного состояния и геодинамической активности участков шахтных полей.

На глубинах более 400-500 м основным геодинамическим риском, как правило, являются тектонически напряженные зоны (ТНЗ), в которых за счет сложения тектонических и техногенных напряжений на удароопасных пластах возникает угроза горных ударов. Отработка мощных пластов на малых глубинах существенно изменила характер геодинамических опасностей.

Практика отработки этих пластов показала, что особую опасность стали представлять тектонически разгруженные зоны (ТРЗ). Составленный перечень 77 опасных зон на шахте «Котинская» в 2011-15 гг. показал, что все они так или иначе характеризуются рисками, характерными для ТРЗ – вывалы, обрушения, повышенные водопритоки, склонность к сползанию и пучению.

Проведенные исследования показали, что наиболее интенсивные ТРЗ образуются у разрывных нарушений типа зон дробления (рис. 8), малых пликативных нарушений (в первую очередь – синклиналей, представленных обводненными логам на поверхности) и связанных с ними зонах размывов пород кровли пластов.

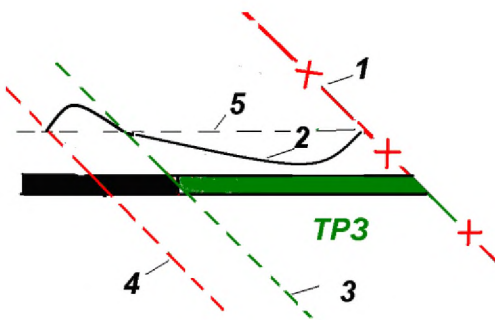


Рис. 8. Схема формирования тектонически разгруженной зоны (ТРЗ) у разрывного нарушения: 1 – разрывное нарушение; 2 – распределение напряжений на уровне пласта; 3 – граница ТРЗ; 4 – граница пригрузки на периферийных участках ТРЗ; 5 – эпюра напряжений γ_H или $\sigma/\gamma_H = 1$

Пониженные напряжения открывают путь процессам выветривания и различным движениям флюидов – естественной дегазации и, наоборот, массопереносу газов из более напряженных областей, движениям подземных вод, перетеканию поверхностных (прежде всего паводковых) вод. Кроме того, при наличии сдвиговых напряжений (определяющих движения по разломам) пониженные нормальные напряжения облегчают смещения берегов разрывных нарушений. Особенно важно, что в этих областях возрастают амплитуды колебаний при прохождении сейсмических волн от массовых взрывов и естественных сейсмических событий. В сумме все эти процессы ведут к дальнейшему развитию трещиноватости и снижению прочности в массиве (хотя прочность в образце при этом может мало меняться).

Пониженная прочность и высокая трещиноватость ведут к прорастанию трещин. Важно отметить, что даже без снижения напряжений повышенная трещиноватость и, соответственно, высокие коэффициенты газовой и жидкостной фильтрации облегчают как дегазацию, так и заполнение пустот газами. Поэтому зоны при заблаговременном выявлении и дегазации оказываются наименее опасными по газовому фактору, и, наоборот, без проведения дегазации представляют повышенную опасность.

Зоны, в которых проявились оба фактора (например, зоны дробления, перетертого угля и т.д.), достаточно уверенно выявляются при геодинамическом районировании горного отвода действующей или проектируемой шахты. Однако не во всех случаях оба фактора проявляются в значительной степени, действуют совместно длительное время, взаимно усиливают друг друга и т.д.). Существуют зоны, где либо напряжения понижены, но свойства вмещающих пород и угля мало изменены, или, наоборот, где уголь и вмещающие породы имеют несколько пониженные прочностные свойства и повышенную трещиноватость, но напряжения достаточно близки к средним величинам.

Такие участки в меньшей степени проявлены в рельефе, меньше сказываются на движении флюидов и могут быть малозаметны при испытаниях свойств углей. Тем не менее, при больших участках обнажений (в первую очередь - при очистной выемке) как различия напряжений, так и особенно, различия в трещиноватости начинают сказываться; прежде всего меняется величина допустимой площади обнажений, как из-за снижения распора, так и из-за снижения пределов прочности на растяжение и сдвиг. В шахте «Талдинская-Западная» (2009) наблюдались ситуации, когда при проходке выработок со сводчатой кровлей и анкерным креплением допустимая площадь обнажений не превышает (некоторую роль могут играть повышенные напряжения в краевой части выемочного столба, а в лаве с плоской кровлей и большим размером обнажения предельная величина превышена, что приводит к масштабным вывалам из непосредственной кровли в очистном забое.

Положительным фактором ТРЗ является уменьшение размеров зон ПГД (прежде всего зон влияния продавливающего действия целиков). Проведенные измерения показали, что сокращение их размеров достигает 15-20% и более, что облегчает отработку свит пластов с маломощными междупластьями. Однако в целом риск нарушения ритма горных работ и ущерба для добычного и транспортного оборудования превосходит, как правило, превосходит плюсы от снижения размеров и интенсивности зон ПГД.

В породах ТРЗ, в которых уже намечена мелкоблочная структура разрушения в процессе ползучести при определенной величине растягивающих или сдвиговых деформаций убывают пределы прочности (по отношению к сдвигу – резко убывает сцепление), и углепородный массив рассыпается с образованием вывалов из кровли, вывалов из забоя («квазиотжима») и дальнейшего куполения.

Для планирования очистной выемки, обеспечивающей заблаговременное выявление скрытых ТРЗ, разработаны следующие методы:

1. Наблюдения за водопритоками в местах расположения логов в сочетании с детальной реконструкцией кривизны пласта (обнаружение пологих складок и малоамплитудных разрывных нарушений).

2. Измерения влажности угля, сейсмическое зондирование и измерения амплитуды наведенного электромагнитного поля в подготовительных выработках, сейсмографические исследования выемочного столба, проведение сейсмического и сейсмоакустического мониторинга.

3. Математическое моделирование поля напряжений (рис. 9).

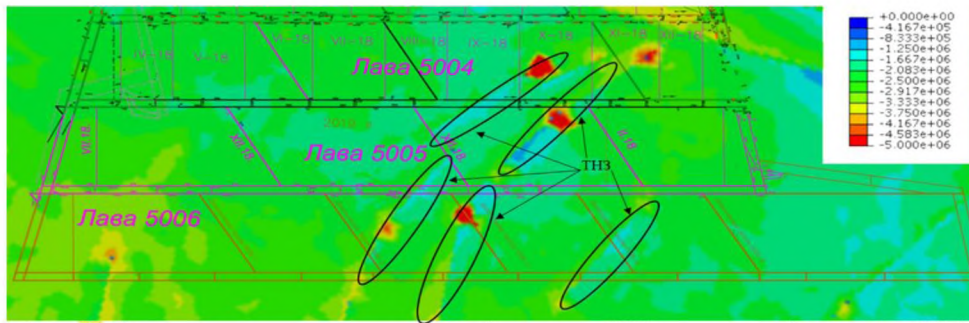


Рис. 9. Изохроны распределения максимальных главных напряжений по пласту 50 шахты им. В.Д. Ялевского (участки, планируемые к отработке)

Совокупность этих приемов обеспечивает заблаговременное выявление опасных зон, планомерную очистную выемку потенциально опасных участков с применением, в случае необходимости, профилактических мероприятий с целью минимизации влияния зон на эффективность и безопасность горных работ.

3. Разработка и выбор способов дегазационной подготовки углегазонасного массива к эффективной отработке угольных пластов базируются на достоверной оценке величины предельно допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору, которая определяется на основе разработанной модели формирования газообильности очистной выработки, учитывающей поступление метана из всех источников и вклад внутреннего источника разрабатываемого пласта в виде сорбированного в нем газа, основывается на использовании фундаментальных законов газовой динамики, а также достоверном определении основных свойств и характеристик состояния угольного пласта, современных средств компьютерного моделирования.

Методические основы достоверной оценки величины предельно допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору (здесь и далее – величины ПДНОЗГФ) базируются на необходимости оценивать притоки метана в пространство очистного забоя из всех возможных источников его поступления и оценку эту целесообразно проводить на основе корректного применения фундаментальных законов газопереноса с установленными экспериментальным путем в натурных условиях конкретного выемочного участка или шахтного поля основными свойствами и характеристиками состояния углегазонасного массива.

На рисунке 10 схематически показаны все притоки метана в очистной забой, включая формирование свежей обнаженной поверхности угольного забоя и отбитый уголь, а также вмещающие породы.

Угольный пласт 1 оконтурен вентиляционной 2 и откаточной 3 подготовительными выработками. Комбайн 4 в процессе отбойки передвигается по направлению к откаточной выработке, отбитый уголь 5 транспортируется в том же направлении по лавному конвейеру. Очистное пространство лавы поддерживается крепью 6, отделяющим лаву от выработанного пространства 7.

Метан в лаву поступает из следующих источников: 8 – из свежего обнажения угольного забоя; 9 – из угольного забоя перед комбайном, сформированно-

го в предыдущем цикле отбойки угля; 10 – в месте свежего обнажения из пород кровли 12 и почвы 13; 11 – в месте расположения крепи из пород кровли 12 и почвы 13; 14 – из отбитого угля 5, находящегося на лавном конвейере 15.

Предполагается, что при глубинах разработки угольных пластов до 500-600 м правомерно для практических расчетов с допустимой погрешностью описывать процесс сорбции метана уравнением Лэнгмюра, учитывающим переход метана из связанного состояния в газообразное состояние по всему объему в фильтрующих каналах угольного пласта.

Для конкретных расчетов в работе используется дифференциальное уравнение в частных производных для однофазного движения метана в пористой среде, отражающей свойства газоносного угольного пласта.

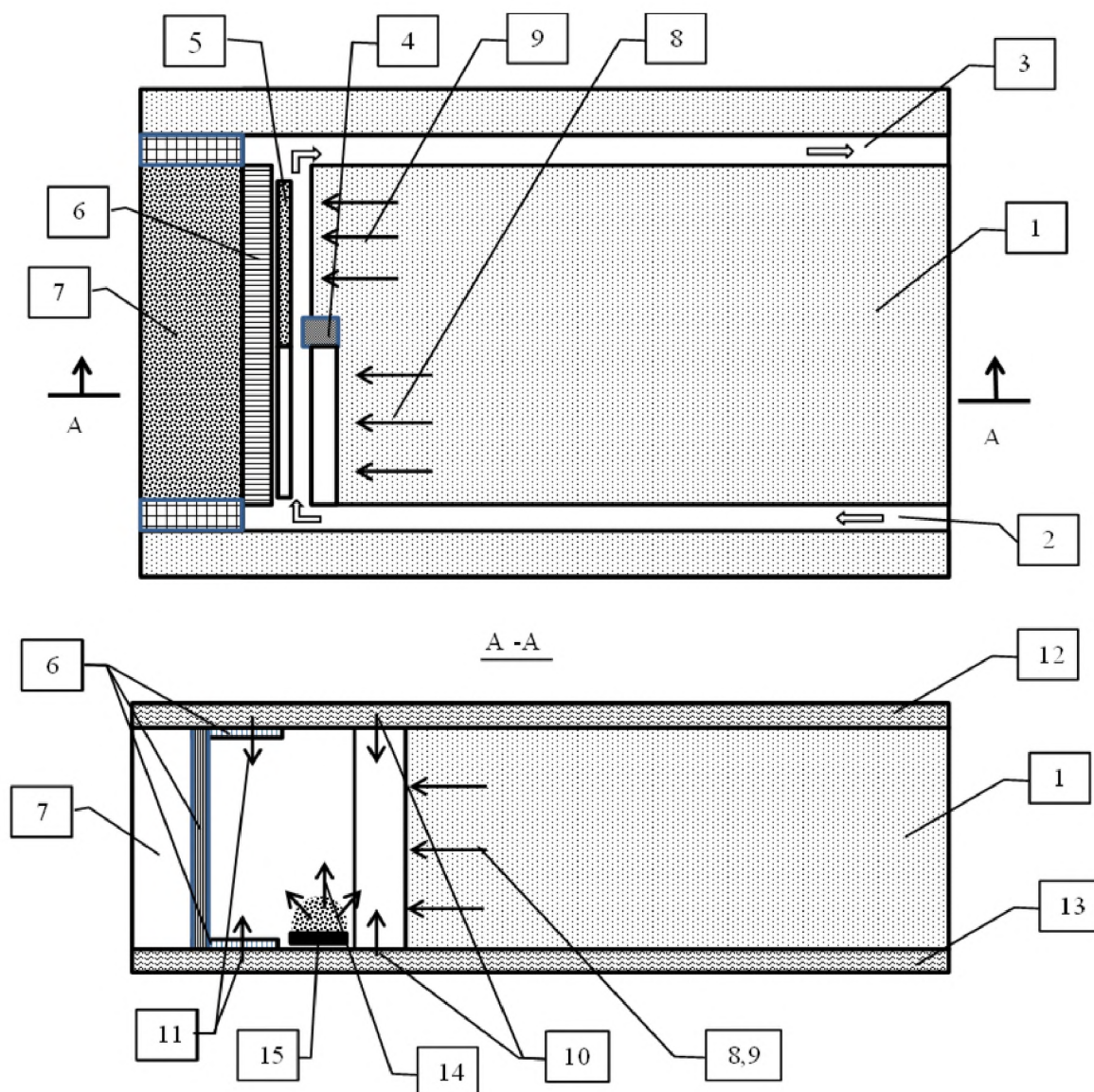


Рис. 10. Источники метана в очистном забое

При одномерной фильтрации метана в изотермическом процессе вдоль оси x в угольном пласте уравнение метанопереноса имеет вид:

$$\frac{C}{\mu\Pi} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(p \frac{\partial p}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial t} \left[p + \frac{1}{\Pi} \frac{RT}{\mu_{CH_4}} \frac{abp}{(1+ap)} \right], \quad (2)$$

где C – газопроницаемость пласта, м^2 ; Π – пористость пласта; p – давление метана в угольном пласте, Па; R – универсальная газовая постоянная, $R = 8.31$ Дж/(моль·К); T – температура, К; μ_{CH_4} – молярная масса метана, $16 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Компьютерное моделирование с использованием современных программ позволяет проводить анализ основных факторов, определяющих величину ПДНОЗГФ. Оценен в заданных условиях удельный приток метана непосредственно из угольного пласта без учета метановыделения из отбитого угля в течение ремонтной смены, притоки метана в зависимости от скорости движения очистного комбайна, длины лавы, газопроницаемости угольного пласта.

На рисунке 11 представлены результаты расчета дебита метана в очистную выработку из перечисленных источников применительно к лаве 24-55 на пласте «Болдыревский» шахты им. С.М. Кирова АО «СУЭК – Кузбасс. Горизонтальной линией показан допустимый по требованиям правил безопасности (ПБ) приток метана в очистной забой, составляющий $13,1 \text{ м}^3/\text{мин}$. Предельно допустимое выделения метана в призабойное пространство достигается в случае отсутствия эффективной пластовой дегазации при нагрузке на очистной забой более 8093 т в сутки.

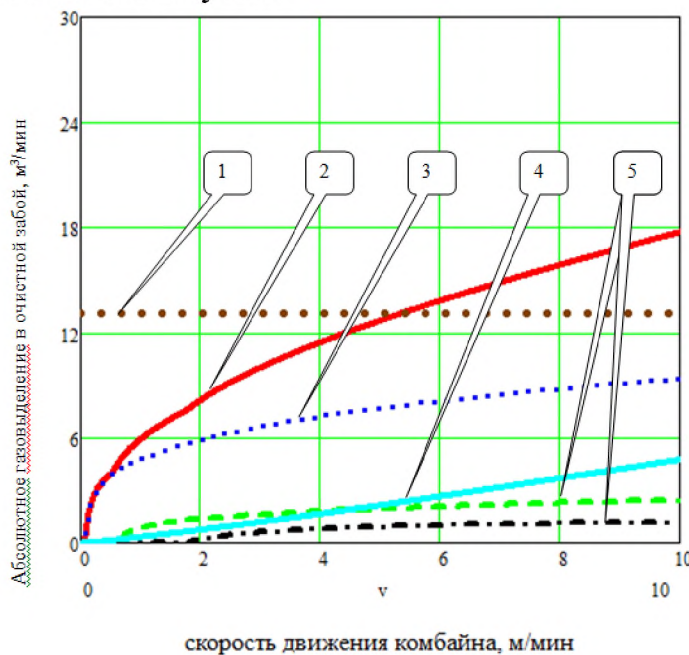


Рис. 11. Притоки газа в лаву в зависимости от скорости движения комбайна: 1 – допустимое по нормам ПБ выделение газа в лаву; 2 – суммарное выделение газа; 3 – приток газа из очистного забоя; 4 – приток газа из отбитого угля; 5 – притоки газа из пород кровли и почвы на свежем и предыдущем обнажениях

Для обеспечения планового показателя в 10 000 т/сут на выемочном участке 24-55 была осуществлена типовая предварительная пластовая дегазация из подготовительных выработок (ППД).

Разработан методический подход к определению ПДНОЗГФ, предназначенный для реализации в условиях действующих угольных шахт соответствующими структурами, имеющими технические возможности определения основных свойств и характеристик состояния угольного пласта (давление метана в угольном пласте, газопроницаемость, константы уравнения сорбции Ленгмюра и др.) а также владеющими компьютерными средствами расчетов, позволяющими

оперативно получать результат о допустимых нагрузках на очистной забой. Разработаны рекомендации по практической реализации метода контроля состояния газоносного угольного пласта с целью уточнения и корректировки величины ПДНОЗГФ.

Обоснована и разработана методика расчета ПДНОЗГФ, позволяющая на основе технологических параметров системы разработки, базовых физических и некоторых других свойств угольного пласта и вмещающих пород, фундаментальных уравнений математической физики и современных средств компьютерного моделирования объективно производить вычисления допустимого по газовому фактору уровня производительности добычного оборудования. Методикой предусмотрены лабораторные определения констант сорбции в уравнении Лэнгмюра, натурные эксперименты по определению пластового давления метана в скважинах выемочного участка и вычисление газопроницаемости угля по результатам газовой съемки лавы в ремонтную смену.

Методологический подход к расчету ПДНОЗГФ представлен на рисунке 12.

Для перспективных участков шахты им. С.М. Кирова был определен по разработанной аналитической методике интервал возможных значений ПДНОЗГФ. Результаты прогноза приведены в таблице 2. В последних двух колонках представлены данные разработанного аналитического прогноза по минимальным и максимальным значениям величин ПДНОЗГФ. Этот коридор обусловлен диапазоном разброса ожидаемых (полученных из различных источников опосредованным путем) пластовых давлений метана на проектируемых или подготавливаемых к разработке выемочных участках. Невозможность на данном этапе исследований получения более точной оценки величины ПДНОЗГФ также связана с существенной потенциальной ошибкой в определении природной газоносности угольного пласта на стадии геологоразведочных работ. Экспериментальное уточнение величины пластового давления метана может позволить конкретизировать величины ПДНОЗГФ.

В настоящее время можно предположительно сделать следующий технологический вывод по приведенным данным. Для указанных в таблице 2 выемочных участков, за исключением участка 24-60, применение ППД с эффективностью 10÷15% позволяет с большой вероятностью решить проблему газовых ограничений на нагрузки на очистной забой.

Для выемочного участка 24-60 может оказаться недостаточным применение технологии ППД в типовом исполнении, как это имело место на предыдущих выемочных участках по пластам «Болдыревскому» и «Поленовскому». Целесообразно было в этом случае рекомендовать вспомогательное активное воздействие на дегазируемый угольный пласт, интенсифицирующее метановыделение из дегазационных скважин и повышающее эффективность пластовой дегазации, например, гидродинамическое воздействие (в частности, подземный гидроразрыв) или автопневмовоздействие (АПВ), сущность которых изложено в работе. В этом и, особенно, более сложных случаях могла бы быть также рекомендована заблаговременная дегазация угольного пласта скважинами с поверхности (ЗДП) с гидрорасчленением (ГРП) последнего.

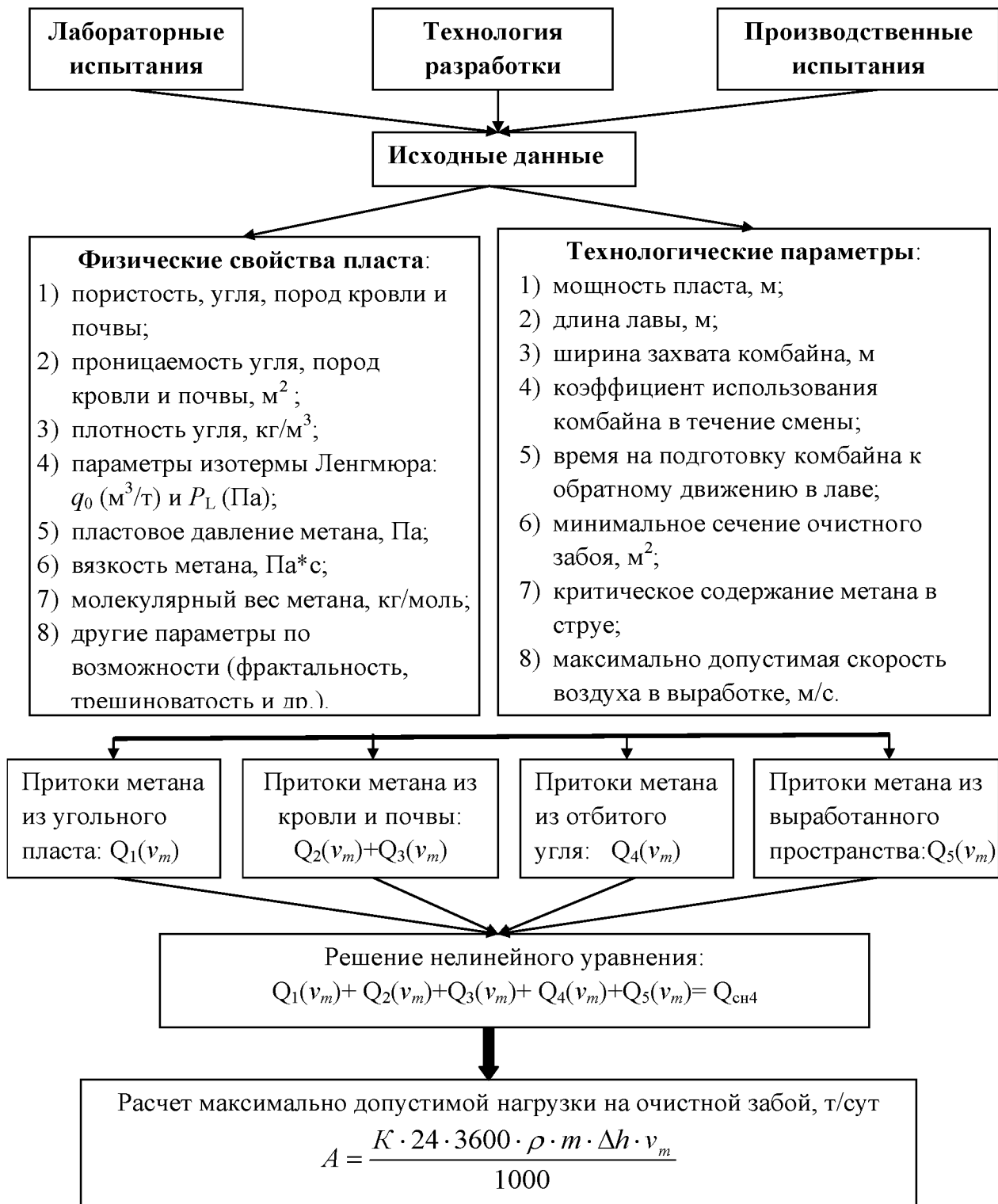


Рис. 12. Методология расчета величины ПДНОЗГФ

Для анализа достоверности разработанного аналитического метода прогноза в работе были проанализированы плановые и фактические нагрузки на очистные забои пластов «Болдыревский» и «Поленовский» шахты им.С.М. Кирова. Исходные данные для выполненной оценки представлены в таблице 3.

Табл. 2. Результаты расчета ПДНОЗГФ для шахты им. С.М. Кирова

Выемочный участок, пласт	Метаносность (природная), м ³ /т	Интервал давления метана до дегазации, МПа	План СУЭК по нагрузке на очистной забой, т/сут	Min нагрузка по методике, т/сут	Max нагрузка по методике, т/сут
24-58, Болдыревский	17,65	1,77...2,95	13 500	12 900	15 300
24-59, Болдыревский	18,93	1,93...2,91	13 500	10 800	15 600
24-60, Болдыревский	19,87	2,00...3,50	13 500	10 200	12 100
25-95, Поленовский	17,99	1,81...3,03	10 000	9 800	12 400
25-96, Поленовский	18,71	1,90...3,21	10 000	8 900	12 100

Данные таблицы 3 позволяют видеть существенно большую точность прогноза, выполненного по разработанному аналитическому методу. Объективный критерий – средневзвешенное по объему отклонение от факта. Очевидно, чем меньше значение критерия, тем более достоверный прогноз.

Табл. 3. Данные для оценки достоверности прогноза нагрузки на очистной забой на выемочных участках шахты им. С.М. Кирова

Выемочный участок	Принятый в СУЭК прогноз (базовый)	ПДНОЗГФ по аналитической методике, т/сут	Максимальная достигнутая нагрузка (фактическая), т/сут	Объем добытого угля, тыс.т
24-57	7 840	8 665	8 667	560
25-92	3 310	7 063	5 700	1 547
25-93	3 480	6 731	7 452	2 386
25-94	6 890	7 409	7 200	3 184

Погрешность базового прогноза, выполненного по применяемой в АО «СУЭК-Кузбасс» методике, составила 0,275; оцененная достоверность прогноза: $(1-0,275) \cdot 100=72,5\%$

Погрешность прогноза ПДНОЗГФ по разработанной аналитической методике составила 0,09; оцененная достоверность прогноза: $(1-0,09) \cdot 100=91,0\%$.

Выполненный анализ позволяет сделать вывод, что достоверность разработанной аналитической методики прогноза существенно выше базовой методики, применяемой в АО «СУЭК-Кузбасс» ($91\% > 72,5\%$).

Представлена технико-экономическая оценка реализации способа аналитического прогноза метанообильности горных выработок для повышения эффективности дегазации в условиях интенсивной отработки угольных пластов.

4. Исследование и разработка методологического подхода к выбору способа дегазационной подготовки угольного пласта базируются на учете следующих основных факторов: прогнозной скорости газоотдачи угольных пластов, оцениваемой на стадии экспериментальных работ по определению основных свойств и состояния углегазонасного массива (величины пластового давления, проницаемости, его сорбционных характеристик), резерва времени на дегазацию и величины «газового барьера» при планируемой нагрузке на очистной забой, причем технология пластовой дегазационной подготовки носит комплексный характер и включает в себя в общем случае базовую и вспомогательные технологические схемы, прошедшие апробацию в шахтных условиях.

В мировой практике используются более 30 способов и технологических схем дегазации. Наиболее широко и эффективно применяются способы текущей дегазации, обеспечивающие извлечение метана из разгруженного углегазонасного массива. Их эффективность объективно составляет 70-80% и более. Высокая эффективность обусловлена тем, что из массива в основном извлекается свободный газ. Имеющиеся в этой области проблемы не носят принципиального научного характера и эффективность этих способов в существенной степени обеспечивается профессиональным инженерным обеспечением.

Одной из ключевых задач в области обеспечения метанобезопасности при значительном росте нагрузок на очистные забои является разработка эффективной технологии пластовой дегазации, так как ее эффективность на уровне 10÷15%, подтвержденная практикой применения на современном этапе развития угольной отрасли и на настоящих глубинах разработки, не может снять значительных ограничений по нагрузке на очистные забои по газовому фактору при высокопроизводительной разработке газонасных угольных пластов.

Методические рекомендации по выбору рациональных технологических схем дегазационной подготовки запасов угля в общем случае должны предусматривать выполнение двух основных этапов, обозначенных в табл. 4, где для примера изложены методические рекомендации по выбору способа пластовой дегазации на выемочных участках 24-58, 24-59 и 24-60 шахты им. С.М. Кирова.

Реализация первого этапа позволяет определить требуемую эффективность пластовой дегазации, которую должна обеспечить выбираемая (или разрабатываемая) комплексная дегазация. Для условий указанных выемочных участков рекомендации состоят в следующем: в качестве основной схемы применяется типовая подземная пластовая дегазация угольного пласта (ППД), осуществляемая из подготовительных выработок аналогично тому, что было реализовано на предыдущих участках данного шахтного поля. Параметры реализации изложены в действующей Инструкции по дегазации (2012 г.).

Для обоснования рекомендации автопневмовоздействия (АПВ) в качестве рекомендуемого способа интенсификации пластовой дегазации на выемочном участке 24-55 были проведены поисковые работы по испытаниям данной технологии, сущность которой заключалась в периодическом перекрытии скважины ППД при ее качественной герметизации. При закрытии скважины давление

в ней поднималась на величину от 5 атмосфер до пластового (20÷25 атмосфер), что приводило к повышению газопроницаемости угольного пласта в прискважинной зоне. В работе изложены некоторые результаты по обоснованию механизма данного технологического воздействия и оценке его эффективности. В частности, на 12 опытных пластовых скважинах дебит газа из последних увеличился с 3÷8 л/мин до 22÷27 л/мин, что положительно сказалось на эффективности пластовой дегазации.

Таблица 4. Методические рекомендации по выбору способа дегазации угольного пласта 24 на выемочных участках 24-58, 24-59 и 24-60

Этап 1	Величина «газового барьера»		Аналитический прогноз динамики газоотдачи угольного пласта 24 с учетом оценки давления метана		Резерв времени на пластовую дегазацию
Этап 2	Обоснование общей технологической схемы				
	ЗДП (ППД, передовая, текущая) дегазация угольного пласта				
	Основные параметры общей технологической схемы - определяются проектом с учетом наличия зон ТНЗ и ТРЗ				
	Газоносность, пластовое давление, проницаемость, постоянные уравнения Лэнгмюра	Вскрытие угольного пласта	Основная схема	Вспомогательная схема	Способ интенсификации пластовой дегазации
Скважинами, пробуренными из подготовительных выработок (ППД)		Пластовая дегазация из подземных выработок в зонах ПодзГРП	Гидро-разрыв пласта из подземных выработок (ПодзГРП)	Автопневмовоздействие (АПВ)	

Технология гидродинамического воздействия с реализацией гидроразрыва дегазируемого угольного пласта (технология ПодзГРП) в качестве вспомогательной технологической схемы дегазации защищена патентом и прошла представительную апробацию на выемочном участке 24-58 (12 скважин ПодзГРП). Технология ПодзГРП обеспечила рост дебитов метана из скважин ППД, пробуренных в зонах гидроразрыва в 3÷4 раза, что привело к существенному улучшению газовой обстановки в лаве и закономерному повышению нагрузки на очистной забой.

Отметим, что основная оценка эффективности технологии подземного гидроразрыва осуществлялась в процессе ведения очистных работ лавой 24-58. Сравнение параметров работы очистного забоя в зоне ГРП и зоне сравнения приведено в таблице 5.

В ходе сопоставления установлено, что среднее значение относительной метанообильности очистного забоя снижено на 30%, суточная добыча в среднем увеличена на 21 %, технологические остановки, связанные с газовым фактором, снизились на 42%, что позволило положительно оценить перспективы дальнейшего практического применения разработанного способа.

Табл. 5. Сопоставление результатов работы очистного забоя в зоне ПодзГРП и зоне сравнения

Показатели	Ед. изм.	Значения	Зона сравнения	Зона ПодзГРП	Эффективность, %
Относительная метанообильность	м ³ /т	Мах	1,37	0,84	39
		Среднее	1,14	0,80	30
Технологические остановки, связанные с газовым фактором	мин/сут	Мах	129,9	71,52	45
		Среднее	122,39	71,45	42
Абсолютная метанообильность	м ³ /мин	Мах	8,88	7,81	12
		Среднее	8,29	7,29	12
Добыча	т/сут	Мах	13 007,14	13 350	3
		Среднее	10 747,16	13 037,1	21

Наиболее важным моментом в выборе технологии пластовой дегазации является величина «газового барьера» и, как следствие, определение требуемой эффективности пластовой дегазации.

В качестве примера определения этих параметров в работе приводится рассчитанная в соответствие с разработанной методикой зависимость максимально допустимой нагрузки на очистной забой 24-55 в зависимости от газоносности пласта «Болдыревский» (рис. 13).

Номограмма для определения необходимого съема метана в процессе пластовой дегазации приведена на рис. 14 и позволяет делать достоверный выбор вида и способа пластовой дегазации в зависимости от требуемой нагрузки на очистной забой.

Например, если будет достоверно определено, что фактическая метаносность пласта 24 на выемочном участке составляет 14 м³/т и нагрузка планируется на уровне 11 000 т/сут, то необходимая глубина дегазации (необходимый удельный съем метана из разрабатываемого пласта в процессе пластовой дегазации) составит 1 м³/т и эта задача может быть решена применением типовой технологии ППД одиночными скважинами, пробуренными их подготовительных выработок. Если же фактическая метаносность пласта 24 на выемочном участке составит 16 м³/т и нагрузка планируется на уровне 14 000 т/сут, то необходимая глубина дегазации составит 5 м³/т. Из приведенных в диссертации данных о фактической и достоверной эффективности способов пластовой дегазации

зации необходимо рекомендовать в этом случае технологию заблаговременной дегазации угольных пластов скважинами с поверхности (ЗДП) с гидрорасчленением пластов, эффективность которой составляет $0,3 \div 0,5$ и может обеспечить съем метана на уровне $5 \text{ м}^3/\text{т}$. В качестве дополнительно воздействия может быть в этом случае рекомендована технология ППД из подготовительных выработок в зонах ГРП с расчетными параметрами сетки пластовых скважин в случае не достижения требуемой эффективности дегазации на первой основной стадии дегазационных работ.

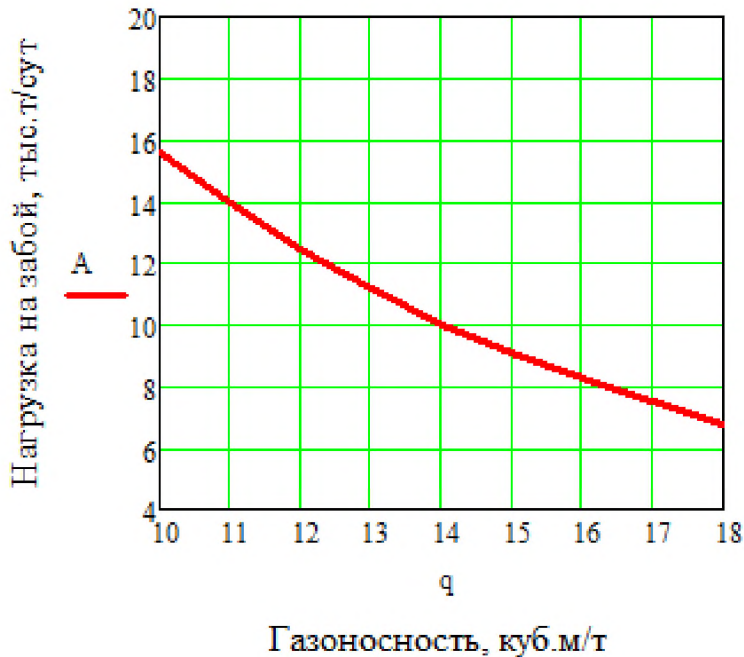


Рис. 13. Нагрузка на очистной забой в зависимости от газоносности пласта 24, лава 24-55

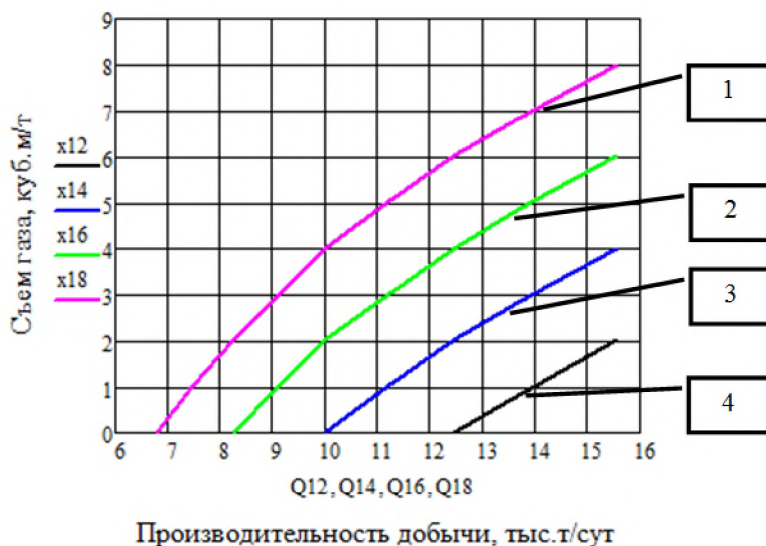


Рис. 14. Необходимый съем метана для повышения нагрузок на очистной забой.

Начальная газоносность угольного пласта:
 1) $18 \text{ м}^3/\text{т}$; 2) $16 \text{ м}^3/\text{т}$;
 3) $14 \text{ м}^3/\text{т}$; 4) $12 \text{ м}^3/\text{т}$

Анализируя в целом ситуацию по шахтам АО «СУЭК – Кузбасс», можно отметить следующее. Наибольший уровень нагрузок на очистные забои имеют шахты «Котинская», «Талдинская – Западная» и им. С.М. Кирова. По газовому фактору интерес представляют две из них – «Котинская» и им. С.М. Кирова. Рассмотрение ограничений на нагрузки на очистной забой по газовому фактору

по ряду выемочных участков шахты им. С.М. Кирова (см. таблицу 2) и «Котинская» показывает, что для большинства (до 80%) очистных забоев требуется применение пластовой дегазации с проектной эффективностью в диапазоне $0,1 \div 0,3$. Эту эффективность могут при благоприятных условиях обеспечить усовершенствованные способы ППД (в частности, технологический вариант комплексной дегазации, приведенный в таблице 4), что подтверждено его успешной практической реализацией на выемочных участках 24-58 и 24-59 шахты им. С.М. Кирова.

Руководящим документом на проведение работ по дегазации в настоящее время является «Инструкция по дегазации угольных шахт», 2012. В соответствии с этим документом определяются основные параметры технологий пластовой дегазации. При наличии достоверной информации о наличии на участках дегазации тектонически разгруженных и тектонически напряженных зон (ТРЗ и ТНЗ) эти параметры могут корректироваться.

Некоторым аналогом дегазации зоны ТРЗ является дегазация разгруженных от горного давления угольных пластов вследствие их подработки или надработки. В зонах ТРЗ параметры ППД могут изменяться в сторону увеличения размеров сетки заложения скважин, в частности, ее основного параметра – расстояния между скважинами. На шахте имени С.М. Кирова расстояние между скважинами ППД может быть увеличена, например, с 12 до 18 метров, особенно в зонах применения технологии ПодзГРП, однако этот вопрос требует дополнительных натурных испытаний, что предусматривается программой дальнейших исследований.

Аналогом дегазации зон ТНЗ является дегазация не разгруженных от горного давления угольных пластов (одиночных или первых в свите). Эти пласты обладают существенно более низкой проницаемостью и потенциально могут быть выбросоопасными. Эти участки пластов требуют обязательного применения комплексной пластовой дегазации, включающей базовые (основные) силовые технологии и вспомогательные активные воздействия, направленные на повышение газопроницаемости, например, гидроразрыв пластов. В этих случаях целесообразно увеличивать объемы закачки воды, так как увлажнение угольных пластов повышает их квазипластичность и, тем самым, снижает выбросоопасность. Кроме этого, закачка воды позитивно сказывается на повышении остаточной газоносности угольных пластов и обеспечивает снижение газовыделения при их разработке. При применении технологии гидроразрыва или, особенно, гидрорасчленения целесообразно применение пропанта для закрепления газоотводящих трещин, которые могут более интенсивно смыкаться в зонах ТНЗ. Конкретные рекомендации должны опираться на количественные характеристики зон ТНЗ и ТРЗ, конкретные свойства (в первую очередь газопроницаемость) и характеристики газового состояния угольного пласта в этих зонах.

5. Геомеханическое обеспечение технологии интенсивной подземной отработки угольных пластов базируется на региональном и локальном мониторинге геодинамического состояния массива, включающем системы сейсмического и сейсмоакустического мониторинга, обеспечивающие в режиме реального времени мониторинг состояния массива и его изменений в результате ведения горных работ, встроенные в единую структуру диспетчерско-аналитического центра угольной шахты.

Как показывает опыт работы очистных забоев на шахтах России, применение технологических схем подготовки выемочных участков спаренными выработками с неизвлекаемым целиком между ними позволяет решать вопросы управления газовыделением и состоянием массива при достигнутом уровне нагрузок на очистные забои. При качественном прогнозе на стадии проектирования газовыделения на выемочных участках при их интенсивной отработке, а также геометризации ТНЗ и (или) ТРЗ возможен учет указанных факторов для обеспечения эффективной и безопасной отработки запасов. В тоже время, в период ведения горных работ фактические горно-геологические условия отработки, как и параметры ТРЗ и ТНЗ, могут существенно отличаться от прогнозных, что обуславливает необходимость мониторинга в режиме реального времени геодинамического состояния массива. Для исследования эффективности использования оборудования и роли геологических (геодинамических) факторов в общих простоях оборудования был выполнен анализ технико-экономических показателей работы всех длинных очистных забоев шахт АО «СУЭК-Кузбасс» за период с 2009 по 2017 гг. В рассматриваемый период в работе находилось от 17 (2009 г.) до 11 (2017 г.) длинных очистных забоев.

Анализ простоев оборудования лав АО «СУЭК-Кузбасс» в первом полугодии 2016 года показал, что длительность простоев связанных с энергомеханическими причинами достигает 2247 часов, что составляет 31% от длительности всех простоев; простои по горно-геологическим вместе с прочими причинами составили суммарно 3231 час (45% от общей длительности простоев). Поэтому для обеспечения надежности и безопасности работы очистных и подготовительных забоев и повышения эффективности использования оборудования требуется ведение комплексного контроля за всей совокупностью технологических природно-техногенных процессов на шахтах.

С целью оперативного сбора информации о работе технологического оборудования и параметрах ведения технологических процессов на угольных шахтах, была разработана концепция и структура многоуровневого контроля посредством единого диспетчерско-аналитического центра – ЕДАЦ-СУЭК, реализованная в АО «СУЭК-Кузбасс». Структурная схема диспетчерско-аналитической системы (ДАС) показана на рисунке 15.

ЕДАЦ-СУЭК объединяет все имеющиеся и внедряемые системы контроля и диспетчеризации, а также другие программные средства, выполняет функции различных SCADA и MES - систем, установленных на шахтах. Заложена техническая возможность с центрального пульта произвести принудительную остановку любого технологического процесса, на котором прогнозируется опасная ситуация.

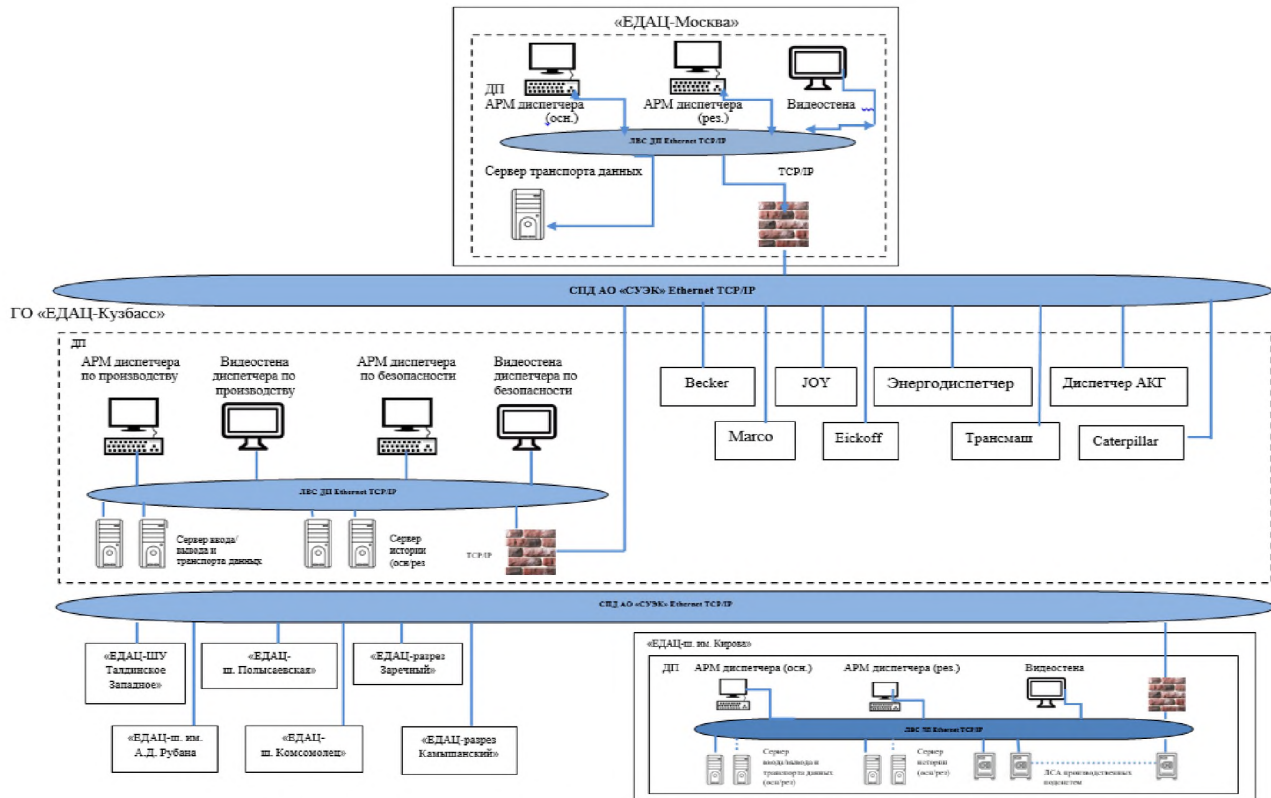


Рис. 15. Структурная схема ДАС ЕДАЦ-СУЭК

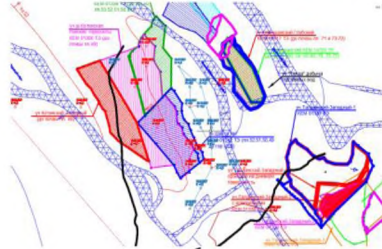
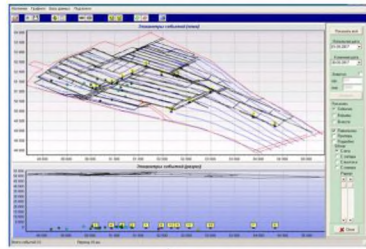
ЕДАЦ-СУЭК построен как иерархически организованная совокупность территориально распределенных программно-аппаратных комплексов, объединенных каналами передачи данных. Программно-аппаратные комплексы представляют собой набор технических и программных средств, работающих совместно для выполнения сходных задач. В целях реализации постоянного оперативного контроля за всеми факторами, оказывающими влияние на геодинамическое и геомеханическое состояние массива угольных месторождений, на базе Единого диспетчерско-аналитического центра СУЭК реализована работа комплексного мониторинга за состоянием массива пород, включающего системы сейсмического мониторинга (система ГИТС; наземные сейсмические станции ГИ СО РАН; сейсмостанции Байкал), системы сейсмо-акустического мониторинга (система САКСМ; многофункциональная система контроля геодинамического и газодинамического состояния массива горных пород). Схема взаимодействия систем мониторинга в составе ЕДАЦ СУЭК показана на рис. 16 на примере сейсмического мониторинга.

Схема взаимодействия систем оперативного мониторинга за геодинамическим и геомеханическим состоянием массива, входящих в состав ЕДАЦ СУЭК-Кузбасс, показана на рис. 17.

**Схема взаимодействия систем сейсмического мониторинга
в составе ЕДАЦ СУЭК**

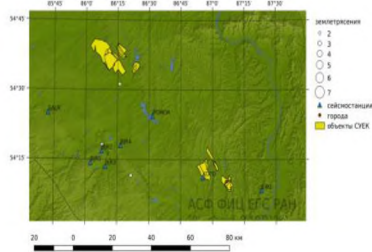
Система шахтных сейсмостанций и геофонов,
входящих в состав средств мониторинга ГИТС

Данные, поступающие с ЕДАЦ СУЭК с
наземной сейсмостанции "Байкал"



Единый диспетчерско-аналитический центр АО "СУЭК-Кузбасс"

Ежесуточная сводка данных о сейсмической
активности регионе по данным сейсмических
станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН



Сведения получаемые с объектов ведения
работ и аккумулируемые в ЕДАЦ СУЭК:
- Звонки и жалобы населения, поступающие
в диспетчерскую службу;
- Сведения о режимах и времени работы
очистных забоев, скорости и режимы
работы оборудования

Рис. 16. Схема взаимодействия систем сейсмического мониторинга в составе ЕДАЦ-СУЭК



Рис.17. Схема взаимодействия систем оперативного мониторинга за геодинамическим и геомеханическим состоянием массива в составе ЕДАЦ-СУЭК

Выбранный комплекс систем мониторинга позволяет в полной мере осуществлять оперативный контроль состояния горного массива. Полученные в ходе мониторинга данные ложатся в основу ежемесячных корректировок текущего положения опасных зон на шахтах. Применяемый комплекс мер позволяет оперативно реагировать на динамические изменения, протекающие в массиве под действием техногенных факторов.

Создание и развитие ЕДАЦ, включая внедрение МФСБ и систем автоматизации на различных шахтах, осуществлялось начиная с 2010 г. Несмотря на то, что за период с 2010 г. добыча угля в АО «СУЭК-Кузбасс» выросла более чем на 34 %, а среднесуточная нагрузка на очистной забой увеличилась на 43 % и более, количество несчастных случаев на производстве сократилось в 3 раза.

Внедрение разработанного комплекса технических, технологических и методологических решений позволило достичь лучших в мире показателей производительности очистных забоев, включая рекорд, установленный в августе 2018 года на шахте имени В.Д. Ялевского – 1 627 тыс. тонн в месяц.

Заключение

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основе проведенного комплекса исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения по интенсивной подземной отработке высокогазоносных угольных пластов, включающие выбор параметров технологических схем при многострековой подготовке выемочных участков с учетом влияния гео- и газодинамических факторов, прогноз геодинамического состояния массива, определение предельно допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору, технологические решения по комплексной дегазационной подготовке не разгруженных от горного давления угольных пластов, многоуровневый региональный и локальный мониторинг геодинамического состояния массива, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие угольной отрасли страны.

Основные научные результаты и выводы по выполненным в диссертации исследованиям заключаются в следующем:

1. Обоснована технология интенсивной отработки пологих газоносных угольных пластов длинными забоями при многострековой подготовке выемочных участков. Для полного использования потенциала современного оборудования КМЗ, обеспечения эффективности и безопасности горных работ проектные решения, параметры технологических схем должны приниматься на основе качественного прогноза горно-геологических условий разработки (включая выявление и геометризацию тектонически напряженных и тектонически разгруженных зон (ТНЗ и ТРЗ)) с учетом результатов исследований гео- и газодинамических процессов в угленосной толще с целью минимизации геодинамических рисков и эффективного управления газовыделением.

2. Установлено, что при глубинах отработки пластов до границы удароопасности наибольшее влияние на показатели работы очистных забоев работ оказывают ТРЗ, связанные, главным образом, с дизъюнктивными или пликативными нарушениями, а при глубинах, превышающих границу удароопасности – тектонически напряженные зоны. С одной стороны, в ТРЗ уменьшается глубина зон повышенного горного давления на 15-20% и более, с другой стороны наблюдаются вывалы из забоя и кровли, обрушения, повышенные водопри токи и др. Для обеспечения безопасной очистной выемки в ТРЗ необходимо их предварительное выявление с помощью геоморфологических, сейсмических,

электромагнитных и расчетных методов и внесение соответствующих корректив в паспорт очистных и проходческих работ.

3. Обоснована методология и разработана методика расчета допустимых нагрузок на очистной забой, предназначенная для объективного выбора технологии дегазационной подготовки угольных пластов и позволяющая на основе свойств и характеристик состояния угольного пласта, фундаментальных уравнений математической физики и современных средств компьютерного моделирования производить вычисления допустимого по газовому фактору уровня производительности добычного оборудования. Методикой предусмотрены лабораторные определения параметров Лэнгмюра, шахтные эксперименты по определению пластового давления метана в скважинах выемочного столба и вычисление проницаемости угля по результатам газовой съемки лавы в ремонтную смену.

4. На базе выполненных шахтных экспериментальных работ по разработанной методике выполнен прогноз допустимых нагрузок на очистной забой для условий шахты им. С.М. Кирова. Прогноз показал, что для ряда выемочных участков запланированные нагрузки не выполнимы без применения комплексной дегазационной подготовки, предусматривающей применение базовых, вспомогательных и дополнительных технологий активного воздействия на дегазируемый пласт.

5. Разработаны общие принципы и методологический подход к выбору рациональных технологических схем дегазационной подготовки угольных пластов к эффективной отработке. При выборе основных технологических решений необходимо учитывать следующие основные факторы: прогнозную скорость газоотдачи угольных пластов, оцениваемую на стадии экспериментальных (шахтных и лабораторных) работ по величине пластового давления, проницаемости пласта и его сорбционным характеристикам (фактор свойств), резерв времени на дегазацию (фактор времени) и величину требуемой глубины дегазации (фактор «газового барьера»). Обоснован выбор параметров пластовой дегазации с учетом планируемой нагрузки на очистной забой. Даны рекомендации по применению пластовой дегазации в зонах ТРЗ и ТНЗ.

6. Разработаны и исследованы в шахтных условиях технологии пластовой дегазации с использованием гидроразрыва и автопневмовоздействия на выемочных участках поля шахты им. С.М. Кирова. Оценены их эффективность и перспективы дальнейшего использования в составе комплексной пластовой дегазации в качестве вспомогательного и дополнительного способов активного воздействий на дегазируемый угольный пласт.

7. Разработана и реализована основная технологическая документация на проведение работ по подземной пластовой дегазации на 8 выемочных участках двух шахт АО «СУЭК-Кузбасс». Разработаны и реализованы методические рекомендации по выбору технологии пластовой дегазации для ряда выемочных участков шахты им. С.М. Кирова.

8. Дана оценка технико-экономической эффективности усовершенствованной технологии предварительной комплексной дегазации разрабатываемого угольного пласта с использованием гидродинамического воздействия.

9. Проведена модернизация технологических схем подготовки и отработки выемочных участков для применения в сложных газо- и геодинамических условиях внутри свиты пластов за счет введения новых модулей: управление геодинамическим состоянием массива на основе результатов геодинамического районирования; управление геомеханическим состоянием в горных выработках (выбор крепи, активные методы управления горным давлением); управление газовыделением (вентиляция и дегазация); порядок и контроль горных работ в опасных зонах.

10. Обоснована методология создания системы регионального и локального мониторинга геодинамического состояния массива в рамках единого диспетчерско-аналитического центра при интенсивной отработке угольных пластов. Разработаны и реализованы концепция и структурная схема «Единого диспетчерско-аналитического центра СУЭК», объединившего функции различных существовавших ранее и вновь созданных систем контроля и диспетчеризации. Использование ЕДАЦ-СУЭК позволяет производить автоматический контроль параметров, показателей и характеристик производственных объектов, включая состояние атмосферы в горных выработках и характера ее изменения, получать информацию об аварийных и предварийных ситуациях, сократить время простоев, снизить риски возникновения инцидентов и аварий.

11. Внедрение в 2017 году технологических схем отработки выемочных участков на шахтах «Талдинская-Западная» и «Шахта им. В.Д. Ялевского» с длиной лав 400 м и длиной выемочных участков – более 3,5 км и достигнутые рекордные показатели производительности очистных забоев подтверждают корректность принятых пространственно-планировочных решений, качество прогноза метановыделения на участках, адекватность принятых схем управления газовыделением и состоянием массива горно-геологическим и горнотехническим условиям, эффективность внедрения ЕДАЦ-СУЭК.

Полученные выводы и рекомендации могут быть использованы для эффективной и безопасной интенсивной отработки свит высокогазоносных угольных пластов на шахтах Кузнецкого, а также других угольных бассейнов.

Основные научные публикации по теме диссертации

Научные публикации, входящие в перечень ВАК Минобрнауки России:

1. Надежное обеспечение безопасности труда на предприятиях СУЭК / Ютяев Е.П. [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № S20. – С. 5-39.
2. Казанин, О.И. Технологии подземной разработки угольных пластов: современные вызовы и перспективы / О.И. Казанин, Е.П. Ютяев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № S48. – С. 41-51.
3. Разработка и совершенствование технологий пластовой дегазации для эффективной и безопасной отработки угольных пластов / С.В. Сластунов, Е.П.

Ютяев, Е.В. Мазаник, А.П. Садов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № S49. – С. 13-22.

4. Оценка фильтрационных свойств угля в гидродинамических испытаниях дегазационных пластовых скважин / Ютяев Е.П. [и др.] // Уголь. – 2017. – № 11 (1100). – С. 24-29.

5. Ютяев, Е.П. Современные вызовы и перспективы развития технологии подземной отработки пологих газоносных угольных пластов / Е.П. Ютяев // Уголь. – 2017. – № 5 (1094). – С. 30-37.

6. Особенности формирования и функционирования систем обеспечения безопасности горнодобывающих предприятий в сложных условиях разработки месторождений / Ютяев Е.П. [и др.] // Уголь. – 2017. – № 5 (1094). – С. 60-68.

7. Ютяев, Е.П. Управление рисками на опасном производственном объекте «Шахта-лава» / Е.П. Ютяев, Ю.М. Иванов // Уголь. – 2017. – № 6 (1095). – С. 20-27.

8. Достижение наивысших показателей по добыче угля в месяц в условиях АО «СУЭК-Кузбасс» / Ютяев Е.П. [и др.] // Уголь. – 2017. – № 8 (1097). – С. 82-88.

9. Ютяев, Е.П. Совершенствование методики прогноза допустимой нагрузки на очистной забой на базе измерения пластового давления метана при дегазации угольного пласта / Е.П. Ютяев, С.В. Сластунов, Г.Г. Каркашадзе // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № S5-1. – С. 236-244.

10. Перспективы использования современных информационных технологий для создания системы информационной поддержки принятия решений при локализации и ликвидации последствий аварий на объектах угольной промышленности / Ютяев Е.П. [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № S5-1. – С. 507-522.

11. Сластунов, С.В. Обоснованный выбор технологии пластовой дегазации для обеспечения безопасности подземных горных работ при интенсивной добыче угля / С.В. Сластунов, Е.П. Ютяев // Записки Горного института. – 2017. – Т. 223. – С. 125-130.

12. Шахтные испытания усовершенствованной технологии подземной пластовой дегазации с использованием гидроразрыва / Ютяев Е.П. [и др.] // Уголь. – 2016. – № 11 (1088). – С. 32-37.

13. Освоение контроля опасных производственных ситуаций – новый этап в повышении безопасности и эффективности производства в АО «СУЭК» / Артемьев В.Б. [и др.] // Уголь. – 2016. – № 12 (1089). – С. 46-51.

14. Подготовка газоносного угольного пласта к безопасной отработке / Сластунов С.В., Каркашадзе Г.Г., Ютяев Е.П., Мазаник Е.В. // Горный журнал. – 2016. – № 10. – С. 88-91.

15. Прогноз возникновения негативных явлений в угольных шахтах на основе метода геодинимического районирования и искусственных нейронных сетей / Гусева Н.В., Киселев В.А., Шабаров А.Н., Ютяев Е.П. // Маркшейдерский вестник. – 2016. – № 6 (115). – С. 34-38.

16. Предварительный и оперативный прогноз допустимых нагрузок на очистной забой при интенсивной отработке газоносных угольных пластов / Сластунов С.В., Каркашадзе Г.Г., Ермак Г.П., Ютяев Е.П. // Уголь. – 2015. – № 3 (1068). – С. 30-35.
17. Решение проблемы безопасности угледобычи в долгосрочной программе развития отрасли / Сластунов С.В., Коликов К.С., Ермак Г.П., Ютяев Е.П. // Горный журнал. – 2015. – № 4. – С. 46-49.
18. Ютяев, Е.П. Обеспечение безопасности при интенсивной разработке пластов на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» / Е.П. Ютяев // Горная промышленность. – 2015. – № 1 (119). – С. 18.
19. Влияние фракционного состава отбитого угля на притоки метана и возможность повышения нагрузок на очистной забой по газовому фактору / Сластунов С.В., Каркашадзе Г.Г., Ютяев Е.П., Мазаник Е.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S7. – С. 245-252.
20. Ютяев, Е.П. Проблема совершенствования технологии пластовой дегазации в условиях интенсивной разработки / Е.П. Ютяев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S7. – С. 253-262.
21. Ютяев, Е.П. И в кризис можно развиваться! / Е.П. Ютяев // Уголь. – 2014. – № 8 (1061). – С. 10-12.
22. Грызунов, В.В. Копинг-стратегии при стресс-индуцируемых состояниях как прогностические модели поведения в условиях риска / В.В. Грызунов, Е.П. Ютяев, И.В. Грызунова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 3. – С. 140-149.
23. Обоснование технологических решений по управлению газовыделением на выемочном участке при дегазационной подготовке угольных пластов к интенсивной и безопасной разработке / Сластунов С.В., Ютяев Е.П., Мазаник Е.В., Лупий М.Г. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 3. – С. 20-28.
24. Влияние направления горизонтальных напряжений на устойчивость подготовительных выработок / Ютяев Е.П., Коршунов Г.И., Шик В.М., Курта И.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 3. – С. 36-41.
25. Анализ причин объемных каскадных взрывов на шахтах Кузбасса / Ютяев Е.П., Коршунов Г.И., Шик В.М., Серегин А.С. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 3. – С. 42-48.
26. Управление термодинамическими процессами средствами горной технологии / Ютяев Е.П., Коршунов Г.И., Шик В.М., Серегин А.С. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 3. – С. 49-54.
27. Смирняков, В.В. Оценка методов расчета утечек воздуха в выработанных пространствах / В.В. Смирняков, Е.П. Ютяев // Горный информационно-

аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 3. – С. 62-68.

28. Сластунов, С.В. Некоторые решения по повышению эффективности дегазации углегазонасного массива в свете системного обеспечения метанобезопасности угольных шахт / С.В. Сластунов, Е.П. Ютяев, Е.Б. Мазаник // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 3. – С. 7-19.

29. Каркашадзе, Г.Г. Безопасная отработка газонасных угольных пластов по газовому фактору на основе учета свойств углепородного массива и параметров системы разработки / Г.Г. Каркашадзе, Г.П. Ермак, Е.П. Ютяев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 5. – С. 152-156.

30. Сластунов, С.В. Дегазационная подготовка угольных пластов к интенсивной отработке как основа системного решения проблемы метанобезопасности угольных шахт / С.В. Сластунов, Е.П. Ермак, Е.П. Ютяев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № S1. – С. 107-119.

31. Путь шахты «Талдинская-Западная-1» к всероссийскому рекорду - один миллион тонн из лавы за месяц / Артемьев В.Б. [и др.] // Уголь. – 2013. – № 8 (1049). – С. 92-93.

32. Казанин, О.И. Организация непрерывного контроля за состоянием анкерной крепи горных выработок на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» / О.И. Казанин, Е.П. Ютяев, А.Ю. Ермаков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 4. – С. 253-256.

33. Заблаговременная дегазация угольных пластов с использованием импульсного гидродинамического воздействия в режиме гидрорасчленения / Коршунов Г.И. [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S2. – С. 225-231.

34. Аналитическая модель роста трещин при импульсном гидродинамическом воздействии на угольный пласт / Коршунов Г.И. [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S2. – С. 232-236.

35. Афанасьев, П.И. Обоснование технологических параметров циклического гидродинамического воздействия в режиме гидроудара при заблаговременной дегазации угольных пластов / П.И. Афанасьев, Е.П. Ютяев, А.С. Серегин, А.Х. Ерзин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S2. – С. 237-246.

36. Ютяев, Е.П. Прогноз угленосности на основе структурно-генетического анализа сероцветных терригенных формаций на примере Сейдинского месторождения // Е.П. Ютяев, И.Н. Гизатулина, А.С. Серегин, И.В. Курта // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S2. – С. 256-263.

37. Ютяев, Е.П. Анализ методов выделения зон скопления метана на угольных месторождениях с целью заблаговременной дегазации / Е.П. Ютяев, И.Н. Гизатулина, А.С. Серегин, И.В. Курта // Горный информационно-

аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S2. – С. 264-272.

38. Технология применения карбида кальция как компонента пылеподавляющего слоя / Ковшов С.В. [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S2. – С. 289-295.

39. Шабаров, А.Н. Пути обеспечения безопасности при проектировании интенсивной угледобычи в Кузбассе / А.Н. Шабаров, С.В. Цирель, Е.П. Ютяев, А.И. Пальцев // Записки Горного института. – 2013. – Т. 205. – С. 103-107.

40. Ютяев, Е.П. Безопасность прежде всего / Е.П. Ютяев // Уголь. – 2012. – № 8 (1037). – С. 16-17.

41. Курта, И.В. Зависимость метанообильности высокопроизводительных лав от скорости подвигания очистного забоя (на примере шахт ОАО «СУЭК-Кузбасс») / И.В. Курта, Г.И. Коршунов, И.А. Павлов, Е.П. Ютяев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № 4. – С. 200-203.

42. Курта, И.В. К вопросу об оценке эффективности использования комбинированных схем проветривания выемочных участков угольных шахт / И.В. Курта, Г.И. Коршунов, Е.П. Ютяев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № 5. – С. 156-157.

43. Курта, И.В. Математическое обоснование целесообразности многострековой подготовки угольных пластов / И.В. Курта, Г.И. Коршунов, Е.П. Ютяев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № 6. – С. 187-193.

44. Ютяев, Е.П. Повышение эффективности систем управления промышленной безопасностью и охраной труда на угольных разрезах России / Е.П. Ютяев, З.Н. Черкай, Е.Б. Гридина, А.В. Пасынков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S2-5. – С. 16-20.

45. Информационные измерительные системы как основополагающий элемент производственной безопасности на шахте / Ютяев Е.П. [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S2-5. – С. 31-36.

46. Ютяев, Е.П. Оценка влияния термодинамических процессов на взрыв метана при внезапных обрушениях кровли / Е.П. Ютяев, Г.М. Коршунов, В.М. Шик, И.В. Курта // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S2-5. – С. 54-60.

47. Механизм снижения рисков травмирования в рамках работы системы производственного контроля шахты / Добровольский А.И. [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S5. – С. 283-297.

48. Курта, И.В. Применение изолированного отвода метановоздушной смеси при управлении газовыделением на угольных шахтах / И.В. Курта, Г.И. Коршунов, О.И. Казанин, Е.П. Ютяев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 5. – С. 21-23.

49. Курта, И.В. Проветривание высокопроизводительных газообильных выемочных участков при многоштрековой подготовке / И.В. Курта, Г.И. Коршунов, Е.П. Ютяев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 6. – С. 21-24.

50. Геомеханические и газодинамические процессы в угленосном массиве при высоких скоростях подвигания очистных забоев / Шувалов Ю.В. [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 6. – С. 80-88.

51. Промышленный регламент технологии извлечения и утилизации шахтного метана в процессе разработки высокогазоносных угольных пластов подземным способом / В.Б. Артемьев, А.Д. Рубан, В.С. Забурдяев, Е.П. Ютяев // Уголь. – 2010. – № 2 (1006). – С. 18-21.

Другие научные публикации:

1. Опыт извлечения и перспективы использования метана угольных пластов / С.В. Сластунов, К.С. Коликов, Е.П. Ютяев, Е.В. Мазаник // Тез. докл. на Международной конференции «Коммерческое использование нетрадиционных ресурсов метана и отходов сельскохозяйственного и лесного производства», 26-27 мая 2009 г., Москва.

2. Сластунов, С.В. Повышение эффективности пластовой дегазации угольных пластов в условиях их интенсивной разработки / С.В. Сластунов, Е.П. Ютяев, В.Н. Шмат // Материали за IX международна научна практична конференция, «Achievement of high school – 2013», 17-25 November 2013. Т. 47, Технологии София «Бял ГРАД-БГ» ООД. – 2013. – С.13-15.

3. Сластунов, С.В. Дегазация угольных пластов к их интенсивной отработке – основа системного решения проблемы метанобезопасности угольных шахт / С.В. Сластунов, Г.П. Ермак, Е.П. Ютяев // Материали за IX международна научна практична конференция, «Achievement of high school – 2013», 17-25 November 2013. Т. 47, Технологии София «Бял ГРАД-БГ» ООД. 2013. –С. 16-25.

4. Сластунов, С.В. Технологические решения по управлению газовыделением на выемочном участке при дегазационной подготовке угольных пластов к интенсивной и безопасной разработке / С.В. Сластунов, Е.П. Ютяев, Е.В. Мазаник // Materiály ixmezinárodní vědecko-praktická konference «Vědecký průmyslevropského kontinentu-2013» 27 listopadu - 05 prosinců 2013 roku Díl 34 Technické vědy Praha Publishing House «Education and Science» s.r.o 2013. – С. 40-42.

5. Сластунов, С.В. Основа системного решения проблемы метанобезопасности угольных шахт – эффективная дегазация углегазоносного массива / С.В. Сластунов, Г.П. Ермак, Е.П. Ютяев // Материалы IX международной научно-практической конференции, 2013, volume 39. – С. 82-90.

6. Сластунов, С.В. Выбор технологии управления газовыделением на выемочном участке при дегазационной подготовке угольных пластов к безопасной и эффективной разработке / С.В. Сластунов, Е.П. Ютяев, Е.В. Мазаник // Сбор-

ник трудов XV международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности». – Кемерово. – 2013. – С. 316-318.

7. Методика расчета допустимой нагрузки на очистной забой по результатам газовой съемки в ремонтную смену с учетом физических свойств пласта и технологических параметров системы разработки / Сластунов С.В., Каркашадзе Г.Г., Ютяев Е.П., Семькин Ю.А. // Сборник трудов XV международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности». – Кемерово. – 2013. – С. 318-321.

8. Сластунов, С.В. Совершенствование технологических схем пластовой дегазации угольных пластов в условиях их интенсивной разработки / С.В. Сластунов, Е.П. Ютяев, В.Н. Шмат // Сборник трудов XV международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности». Кемерово. – 2013. – С. 327-329.

9. Сластунов, С.В. Обоснованный выбор технологических схем управления газовыделением на выемочном участке при заблаговременной дегазационной подготовке угольных пластов к безопасной и эффективной разработке / С.В. Сластунов, Е.П. Ютяев, Е.В. Мазаник // Сборник научных трудов «Современные проблемы шахтного метана» (к 85-летию проф. Н.В.Ножкина). – М.: ИД ООО Роликс. – 2014. – С. 38-48.

10. Проблемы и перспективы угольной отрасли в рамках долгосрочной программы ее развития / Ермак Г.П. [и др.] // Сборник трудов конференции ScienceandEducation, Belgorod-Sheffield. – 2014. – С. 68-75.

11. Ютяев, Е.П. Совершенствование технологии дегазации разрабатываемых пластов в условиях их интенсивной отработки / Е.П. Ютяев, М.Г. Лупий, С.В. Сластунов // Материали за XI международна научна практична конференция «Настоящи изследвания и развитие – 2015», 17-25 януари 2015. – Т. 16. – София «Бял ГРАД-БГ» ООД 2015. – С. 28-33.

12. Повышение эффективности пластовой дегазации на основе гидроразрыва угольных пластов / Сластунов С.В., Ютяев Е.П., Мазаник Е.В., Садов А.П. // Международная научно-практическая конференция, посвященная 110-летию горного факультета «Горное дело в XXI веке: Технология, наука, образование». Тез. докл. 28-29 октября 2015. – С.-П., НМСУ «Горный». – 2015. – С. 104.

13. Сластунов, С.В. Интенсификация извлечения метана из угольных пластов на основе повышения их проницаемости в процессе циклических сорбционных деформаций / С.В. Сластунов, Г.Г. Каркашадзе, Е.П. Ютяев // Тезисы I Международной научно-технической конференции «Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья». 26-27 мая 2015 г. НМСУ «Горный», г. Санкт-Петербург. – 2015. – С. 41-42.

14. Разработка технологии дегазации угольного пласта с использованием его гидроразрыва для обеспечения метанобезопасности горных работ / С.В. Сластунов [и др.] // Сборник статей по материалам XVI международной заочной научно-практической конференции: «Развитие науки в XXI веке» (13 августа 2016 г.), 1 часть. Харьков: научно-информационный центр «Знание». – 2016. – С. 42-47.

Монографии:

15. Рубан, А.Д. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов / Рубан А.Д., Артемьев В.Б., Забурдяев В.С., Захаров В.Н., Логинов А.К., Ютяев Е.П. // Справочное пособие. Под общей редакцией А.Д. Рубана, М.И. Щадова ; Сибирская угольная энергетическая компания. – Москва, 2010. – Сер. «Библиотека горного инженера».

16. Казанин О.И., Коршунов Г.И., Розенбаум М.А., Шабаров А.Н. Демура В.Н., Артемьев В.Б., Ясюченя С.В., Копылов К.Н., Ютяев Е.П., Мешков А.А., Лупий М.Г., Феофанов Г.Л. Технологические схемы подготовки и отработки выемочных участков на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс». Том 3. Подземные горные работы. Книга двенадцатая. Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр». – 2014.

17. Ютяев, Е.П. Подземная разработка пологих газоносных угольных пластов длинными забоями. – М.: Горная книга. – 2017. – 288 с.

Патент на изобретение:

1. Сластунов С. В., Каркашадзе Г.Г., Коликов К.С., Ютяев Е.П. и др. Способ подготовки газоносного угольного пласта к отработке. Патент РФ № 2659298 (Заявка: 2017133145 от 22.09.2017). Бюл. № 19 (73), 29.06.2018.

Подписано в печать 05.02.2019. Формат 60х84 1/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.

Печ. л. 1,2. Тираж 150 экз. Заказ № 354

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский Центр УИП КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а