

СЕМЫКИН ЮРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОБЫЧИ УГЛЯ НА ОСНОВЕ
ИНТЕНСИФИКАЦИИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ ПЛАСТОВЫХ СКВАЖИН
И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДА ПРОГНОЗА ГАЗООБИЛЬНОСТИ
ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ**

Специальность 05.26.03 – «Пожарная и промышленная безопасность»
(в горной промышленности)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва 2016

Работа выполнена в ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС») Минобрнауки России

Научный руководитель:

Каркашадзе Гиоргий Григолович – доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Бобин Вячеслав Александрович – доктор технических наук, профессор, зав. отделом «Аналитический центр изучения природного вещества при комплексном освоении недр» ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр» РАН;

Серегин Александр Сергеевич - кандидат технических наук, ассистент кафедры безопасности производств, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ), г. Кемерово

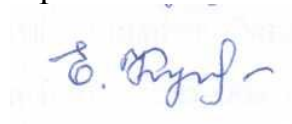
Защита диссертации состоится " 21 " сентября 2016 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д.212.132.11 при НИТУ «МИСиС»: 119049, Москва, Ленинский проспект, 6, стр.2, ауд. А-305.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке НИТУ «МИСиС».

Автореферат разослан " ____ " _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор

Е.Ю. Куликова



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В соответствии с «Энергетической стратегией России» на период до 2030 года главными ориентирами развития страны являются энергетическая и бюджетная эффективность экономики. В качестве одного из приоритетных направлений прогресса в угольной промышленности выбрана реализация передовых высокопроизводительных технологий подземной добычи, что повлекло за собой необходимость совершенствования способов подготовки угольных пластов к интенсивной отработке и обновления нормативной базы горных работ.

Промышленная безопасность при разработке газоносных угольных пластов и научно обоснованная оптимизация нагрузок на очистной забой имеют существенное значение, как при долгосрочном, так и текущем планировании работ. Интенсификация горных работ вызывает необходимость внедрения более совершенных способов прогноза газообильности очистных выработок и эффективных технологий дегазации угольных пластов, разработка которых возможна на основе шахтных экспериментальных исследований, достижений фундаментальных и прикладных наук, средств компьютерного моделирования.

В связи с изложенным весьма актуальными являются исследования по повышению безопасности добычи угля на основе интенсификации дегазации угольных пластов, совершенствованию метода прогноза газообильности очистного забоя для обоснования максимально допустимых нагрузок на очистной забой по газовому фактору.

Цель работы – повышение безопасности добычи угля на основе интенсификации газовыделения из пластовых скважин и совершенствования метода прогноза газообильности очистного забоя с учетом закономерностей массопереноса метана из угольного пласта и отбитого угля в условиях высоких нагрузок на очистной забой.

Основная идея работы заключается в том, что интенсификацию газовыделения из пластовых скважин осуществляют методом пневматического воздействия на пласт в обоснованном технологическом режиме и с учетом достигнутой степени дегазации осуществляют прогноз газообильности очистного забоя для расчета предельно допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору.

Научные положения, разработанные лично соискателем, и их новизна:

1. Механизм интенсификации газовыделения из пластовых скважин базируется на использовании эффекта сорбционных деформаций угля в процессе дегазации и существенном повышении давления метана в скважине вплоть до пластового с дальнейшим его свободным истечением.

2. Интенсификация дегазации низкопроницаемых угольных пластов обеспечивается путем нагнетания в скважину воздуха под давлением 5 – 10 бар с последующим сбросом из скважины газа, приводящим к повышению проницаемости по газу радиальных каналов фильтрации вокруг скважины и их дальнейшему расширению за счет сорбционной усадки угля в процессе дегазации.

3. Притоки метана в исходящую струю лавы определяются с учетом гранулометрического состава отбитого угля, параметров сорбции угля и распределения пластового давления метана по глубине очистного забоя во время отбойки.

4. Прогноз газообильности очистного забоя в лаву базируется на аналитических решениях задачи массопереноса метана с учетом: газоносности и сорбционных свойств угольного пласта – по результатам лабораторных измерений; пластового давления метана – по результатам шахтных измерений в дегазационных скважинах; газопроницаемости угля в очистном забое – по результатам газовоздушной съемки лавы в ремонтную смену.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются:

- использованием в теоретических моделях законов массопереноса метана в угольном пласте и современных средств расчетов методом конечных элементов, согласующихся с результатами производственной практики;

- удовлетворительным совпадением результатов прогноза газообильности очистного забоя с фактическими данными на шахте им. С.М. Кирова ОАО «СУЭК–Кузбасс» (погрешность не превышает 5-10%).

Научное значение работы:

- обоснован физический механизм повышения газопроницаемости угля в зоне изменения пластового давления метана, приводящего к развитию усадочных сорбционных деформаций;

- обоснован физический механизм интенсификации дегазации низкопроницаемых угольных пластов путем предварительного пневматического воздействия на пласт через дегазационные скважины с реализацией в пласте усадочных сорбционных деформаций в процессе последующей дегазации;

- разработан метод прогноза газообильности очистного забоя с притоками метана из угольного пласта и разрушенных фракций угля для безопасной подземной разработки угольных пластов;

- разработан способ определения газопроницаемости угольного пласта в очистном забое по результатам газовой съемки в лаве в ремонтную смену.

Практическое значение работы:

- разработан технологический проект на дегазацию угольных пластов средствами пневматического воздействия через пластовые скважины с использованием энергии сжатого воздуха и угольного метана;

- разработана методика оперативного прогноза газообильности очистного забоя в условиях интенсивной отработки угольных пластов.

Реализация выводов и рекомендаций работы. Разработанные технологические решения по параметрам предварительного пневматического воздействия на пласт через пластовые скважины с использованием энергии сжатого газа реализованы на шахте им. С.М. Кирова ОАО «СУЭК–Кузбасс».

Разработанная методика оперативного прогноза газообильности очистного забоя, учитывающая притоки метана в исходящую струю из угольного пласта и отбитого угля, принята к использованию на шахтах ОАО «СУЭК–Кузбасс».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на международных научных симпозиумах «Неделя горняка» в 2012 – 2016 гг., на технических советах ОАО «СУЭК-Кузбасс» в 2010 – 2015 гг., на международной научно-практической конференции «Подземные горные работы – XXI век» (г. Ленинск-Кузнецкий), на международной научно-практической конференции в рамках «Кузбасского международного угольного форума – 2013» (г. Кемерово), на научных семинарах кафедр «Горнопромышленная экология» и «Физика горных пород и процессов» МГГУ (2014 г.), заседании кафедры безопасности и экологии горного производства НИТУ «МИСиС» (2015 - 2016 гг.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 9 работ, из них 6 - в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованной литературы из 145 наименований, содержит 52 рисунка и 8 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Наиболее весомым фактором повышения экономической эффективности угольных шахт является увеличение нагрузок на очистной забой, что приводит к снижению текущих материальных затрат на массу добытого угля. Этот управляемый технологический фактор предмет множества прикладных научных исследований и разработок. Повышение производительности добычи угля – одна из самых актуальных задач угольной промышленности, которая при этом должна быть реализована с соблюдением высокой степени безопасности горных работ.

В изучение проблем безопасности по фактору угольного метана при подземной разработке угольных пластов большой вклад внесли ведущие

советские и российские ученые: А.А. Скочинский, А.Д. Алексеев, А.Т. Айруни, А.С. Бурчаков, В.А. Бобин, Ю.Ф. Васючков, В.С. Забурдяев, Н.О. Каледина, К.С. Коликов, Ю.Н. Малышев, Н.В. Ножкин, Л.А. Пучков, А.Д. Рубан, С.В. Сластунов, К.Н. Трубецкой, О.И. Чернов, И.Л. Эттингер, Н.И. Устинов, С.А. Ярунин и др. Достижения предшественников составляют основу теории практики безопасной разработки угольных пластов.

Методика представленных научных исследований опирается на экспериментальные исследования в натурных условиях, теоретические исследования массопереноса метана в угольных пластах, геомеханику и компьютерное моделирование процессов на базе решения дифференциальных уравнений.

В условиях усложнения горных работ по мере их углубления необходимо разрабатывать более совершенные методы управления режимом работы газообильного выемочного участка на основе рационального планирования очистных работ и освоения эффективных методов дегазации выемочного столба.

В связи с вышеизложенным в диссертационной работе решены следующие научные и практические задачи:

- выполнен анализ современного состояния проблемы высокопроизводительной и экономически эффективной подземной разработки газоносных угольных пластов;

- предложены эффективные технологические мероприятия по интенсификации дегазации отрабатываемого угольного пласта методом пневматического воздействия на угольный пласт через дегазационные скважины;

- обоснованы механизмы и разработаны основные технологические режимы и параметры пневматического воздействия на угольный пласт сжатым воздухом и метаном через дегазационные скважины;

– усовершенствована методика оперативного прогноза газообильности очистного забоя, учитывающая механизм дегазации угля в течение времени его нахождения на лавном конвейере и гранулометрический состав отбитого угля;

– разработана методика расчета проницаемости угля непосредственно в очистном забое по результатам газовой съемки в ремонтную смену, необходимая для оперативного прогноза газообильности в очередные рабочие смены;

– выполнено компьютерное моделирование и получено распределение пластового давления метана в выемочном столбе между оконтуривающими штреками;

– по результатам проведенных исследований усовершенствована методика расчета допустимой нагрузки на очистной забой на основе результатов газовой съемки в ремонтную смену, шахтных измерений пластового давления и лабораторных измерений параметров сорбции.

На выемочных полях со сложными горно-геологическими условиями высокопроизводительную работу выемочных машин можно обеспечить совместным применением эффективных средств дегазации. Технологии текущей и заблаговременной дегазации угольных пластов являются необходимым условием достижения высоких нагрузок на очистной забой. В то же время следует признать, что действующие нормативные ограничения по фактору газа сформулированы с завышенным запасом надежности, что снижает потенциал максимально возможной производительности очистных забоев, в том числе при широко применяемой столбовой системе разработки.

Оптимальные параметры столбовых систем разработки различаются в зависимости от геологии месторождения, глубины разработки, качества и ценности угля. В частности, специалистами сформулированы следующие концептуальные выводы о перспективах развития технологии столбовой системы разработки пластов на шахтах Кузбасса: длина лавы 150 – 350 м, длина выемочного столба 1000 – 4500 м, подготовка выемочных участков – спаренными или тремя выработками. Накопленный опыт свидетельствует о

реальности достижения в перспективе нагрузок до 40 тыс. т/сут. Однако реализация данной концепции развития угольной отрасли России требует применения современных эффективных технологий дегазации газоносных угольных пластов, научно обоснованных рекомендаций по области их применения, а также по допустимым нагрузкам на очистной забой по газовому фактору.

На практике при отработке выемочного столба аэродинамическая ситуация в очистном забое меняется в зависимости от горно–геологических условий разработки. При повышенных притоках метана из угольного пласта для поддержания плановых нагрузок на очистной забой технический отдел шахты должен располагать надежными результатами прогноза газообильности на текущий и последующий периоды горных работ. При этом в условиях роста газообильности необходимо своевременно принимать решения по интенсификации дегазации выемочного участка. Базовая технология извлечения метана из угольного пласта с помощью пластовых скважин без дополнительных физических воздействий на пласт не обеспечивает достаточной степени дегазации на участках пониженной газопроницаемости. В этих случаях весьма важно использовать эффективный метод интенсификации дегазации, практическая реализация которого не связана с высокими материальными затратами.

В диссертации разработаны технические решения, позволяющие интенсифицировать дегазацию на основе использования метода пневматического воздействия сжатым метаном или воздухом через дегазационную скважину. При этом при отработке проницаемых угольных пластов рекомендуется использовать энергетический потенциал угольного пласта в виде пластового давления метана, а в случае низкопроницаемых пластов – энергию сжатого газа из шахтного воздуховода.

Практическая реализация способа использования энергии угольного метана основана на технологическом приеме закрытия продуктивной скважины на время, в течение которого повышается давление метана в полости скважины.

Физической основой предложенного способа является эффект усадки и набухания угля в процессах сорбции метана. Хорошо известно, что усадка угля при дегазации приводит к расширению каналов фильтрации в поровом пространстве и повышению газопроницаемости. С другой стороны, при сорбции метана в процессе повышения давления имеет место обратный эффект – понижение проницаемости вследствие набухания угля и уменьшения сечения каналов фильтрации. Однако при определенных условиях процесс набухания угля в суперпозиции с напряжениями горного давления может привести к концентрации напряжений в пространстве между закрытыми порами, достаточных для роста микротрещин и формирования дополнительных каналов фильтрации.

Таким образом, в соответствии с предложенным механизмом в технологической операции закрытия устья скважины происходит повышение пластового давления метана вокруг скважины, что сопровождается сорбционным набуханием угля. При достижении сорбционных деформаций предельных прочностных значений происходит распространение дополнительных систем трещин, что, в свою очередь, приводит к увеличению газопроницаемости угольного пласта в пространстве вокруг дегазационной скважины. Чем больше перепад давлений и длительность дегазации, тем больший объем угольного пласта подвергается сорбционным деформациям.

Объемная деформация (θ_c) угля в процессе сорбционной усадки при замещении молекул метана углеродом составляет

$$\theta_c = \frac{\left(\frac{a \cdot b \cdot P_0}{1 + b \cdot P_0} - \frac{a \cdot b \cdot P}{1 + b \cdot P} \right) \cdot \frac{1}{\rho_c} \cdot \mu_{CH_4}}{\mu_c}, \quad (1)$$

где a – максимальная сорбционная емкость в уравнении Ленгмюра, кг/м³; b – коэффициент Ленгмюра, Па⁻¹; P_0 – пластовое давление метана, Па; P – текущее давление метана, Па; μ_{CH_4} и μ_c – молярные массы метана и угля, соответственно, кг/моль; ρ_c – объемная масса угля, кг/м³.

Среднее механическое напряжение (σ , Па) в угле, возникающее при сорбционных деформациях в зажатой среде, составляет

$$\sigma = \frac{E_0 \cdot \theta_c}{3(1 - 2\gamma)}, \quad (2)$$

где E_0 – модуль деформации угля, Па; γ – коэффициент Пуассона.

Как свидетельствуют расчеты, изменение давления метана в поровом пространстве вызывает в структуре угля сорбционные механические напряжения, почти на порядок более высокие по сравнению с изменением давления газа. На этом основании обоснован рациональный режим вариации пластового давления более 5 бар, что приводит к появлению напряжений, сравнимых с предельными прочностными значениями для угля. Данный теоретический результат в виде увеличения дебита метана из пластовой скважины за счет сорбционных деформаций имеет экспериментальное подтверждение в шахтных условиях.

В ходе выполнения экспериментальных работ испытан разработанный метод предварительного пневматического воздействия на полость дегазационной скважины сжатым воздухом с давлением 5 – 10 бар. Этот способ рекомендуется к реализации при наличии малопродуктивных скважин. Как показывают замеры дебита метана из пластовых скважин вдоль выемочного столба, примерно 30% из них малопродуктивны с дебитами метана менее 1 л/мин. Интенсификация притоков метана из малодебитных скважин методом перекрытия устья и нарастания давления угольного метана практически невозможна. Разработан и испытан метод воздействия на малодебитную скважину с использованием энергии сжатого воздуха под давлением до 10 бар из шахтного воздуховода, используемого для технологических нужд шахты. Эксперименты показали, что даже кратковременное пневматическое воздействие на полость скважины в течение одного часа приводит к тому, что из «нулевой» скважины начинает поступать метан. Рекомендуемый режим выдержки скважины под давлением газа составляет до 1 – 3 суток. Физический механизм воздействия воздухом на угольный пласт вокруг дегазационной

скважины отличается от механизма сорбционных деформаций под действием метана. Нагнетание и сброс воздуха приводят, в основном, к очистке каналов проницаемости от влаги и мелкого штыба на полости скважины, что, в свою очередь, приводит к увеличению проницаемости угля и росту дебита метана. По результатам шахтных испытаний установлено, что объем очищенных каналов проницаемости превышает объем скважины в 1,5 – 2 раза. В последующем, по мере стабилизации дебита метана, открывается возможность увеличения дебитов за счет более технологичной операции использования собственной энергии угольного метана в результате закрытия и открытия устья дегазационной скважины.

Для решения задачи оперативного прогноза газообильности очистного забоя выполнены теоретические исследования процесса фильтрации газа в угольном пласте. Для аналитического описания процесса использовано дифференциальное уравнение массопереноса, учитывающее линейный закон фильтрации Дарси, изотерму сорбции Ленгмюра, закон сохранения массы и уравнение состояния газа. Рассмотрен процесс фильтрации метана из угольного пласта в лаву в течение рабочей и ремонтной смен.

Теоретическая модель и результаты шахтных замеров на основе решения обратной задачи позволили определить фильтрационные свойства пласта, включая проницаемость угля в зоне опорного горного давления. Значение фактической проницаемости угля в очистном забое представляет практический интерес, так как учитывает влияние сложноподвижного состояния породного массива в зоне опорного давления.

Для решения задачи использованы краевые условия, при которых начальное давление метана в пласте перед обнажением свободной поверхности равно пластовому давлению P_0 ; на большом удалении от свободной поверхности давление принимается постоянным; на свободной поверхности в течение всего последующего процесса фильтрации давление равно атмосферному.

На рисунке 1 представлен результат расчета притока метана с поверхности забоя в течение времени от начала до конца ремонтной смены. Отмечается монотонное уменьшение удельного притока метана в лаву, что соответствует шахтным замерам. На основе аналитической модели массопереноса метана реализована методика решения обратной задачи для определения фактической проницаемости угольного пласта в зоне опорного давления. В частности, проницаемость составляет $\sim 0,25$ мД (рисунок 1), что правомерно предположить при известном значении газоносности (q_r) и коэффициентах изотермы сорбции Ленгмюра. В расчете приняты длина зоны притоков метана в лаве $L = 220$ м; мощность пласта $m = 2,23$ м

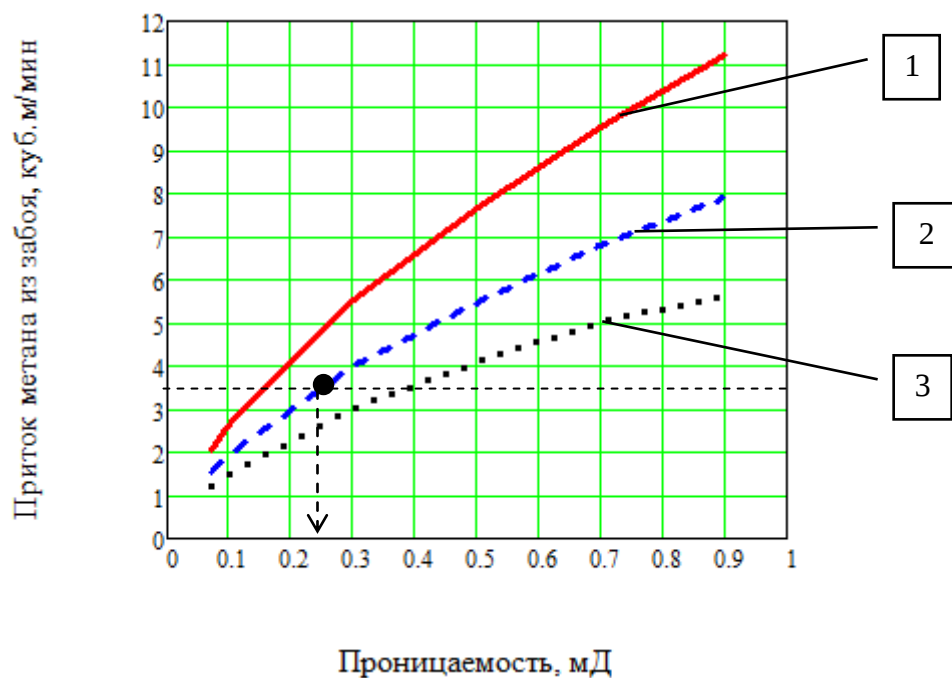


Рисунок 1 – Приток метана в зависимости от проницаемости угля
 $q_r = 12 \text{ м}^3/\text{т}$ ($P_0 = 1,654 \text{ МПа}$); 2) $q_r = 9 \text{ м}^3/\text{т}$ ($P_0 = 1,179 \text{ МПа}$); 3) $q_r = 7 \text{ м}^3/\text{т}$ ($P_0 = 0,899 \text{ МПа}$).

Выполнено также моделирование процесса притоков метана в вентиляционную струю из очистного забоя при различных скоростях перемещения очистного комбайна, результаты которого представлены на рисунке 2. Данные результаты моделирования являются составной частью общей методики определения газообильности очистного забоя.

Значительное влияние на притоки метана в вентиляционную струю оказывает гранулометрический состав отбитого угля. Наибольший вклад в притоки метана дают мелкие фракции (менее 5 мм), имеющие большую свободную поверхность, через которую за время транспортирования выходит практически весь свободный и сорбированный газ. Фракции размером более 50 мм в лаве дегазируются менее интенсивно и уносят практически весь сорбированный метан за пределы лавы.

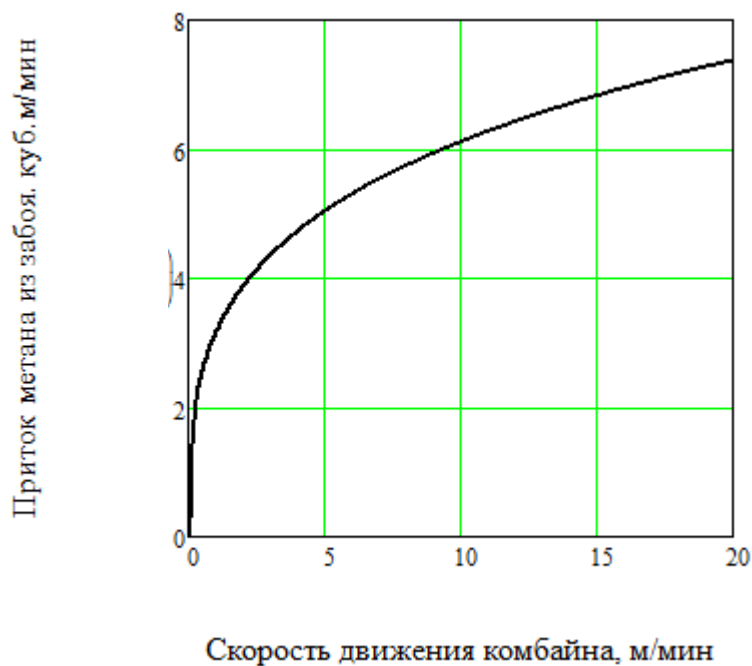


Рисунок 2 – Приток метана в зависимости от скорости движения комбайна в процессе отбойки

$$q_r = 12 \text{ м}^3/\text{т}; P_0 = 1,65 \text{ МПа}; \Pi = 0,02; a = 0,207 \cdot 10^{-6} \text{ Па}^{-1}; b = 49,3 \text{ м}^3/\text{т}; \\ k = 0,01 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2; T = 300 \text{ }^\circ\text{K}; \mu = 1,08 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Для описания притоков метана в лаве из разрушенного угля воспользуемся дифференциальным уравнением массопереноса в центрально-симметричной постановке задачи

$$p \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \left(\frac{\partial p}{\partial r} \right)^2 + \frac{2}{r} p \frac{\partial p}{\partial r} = \frac{\mu \cdot \Pi}{k} \left[1 + A \frac{ab}{(1 + ap)^2} \right] \frac{\partial p}{\partial t}, \quad (3)$$

где – $p = p(r, t)$ давление газа, Па; r – радиальная координата, м; t – время, с;

$$A = \frac{RT}{\mu_{CH_4}} \cdot \frac{1}{P} ; R - \text{универсальная газовая постоянная}; T - \text{температура газа, } ^\circ K;$$

P – пористость угля.

Рассмотрена задача о выделении метана из отбитого комбайном угля в течение времени его транспортирования на лавном конвейере, начиная от места отбойки до выхода в откаточный штрек. На рисунке 3 представлено решение поставленной задачи на основе уравнения (3) методом конечных элементов для различных фракций угля. в расчете принята скорость перемещения комбайна 5 м/мин. Результаты расчетов удовлетворительно вписываются в полученные результаты газовых съемок концентрации метана в лаве в рабочие смены.

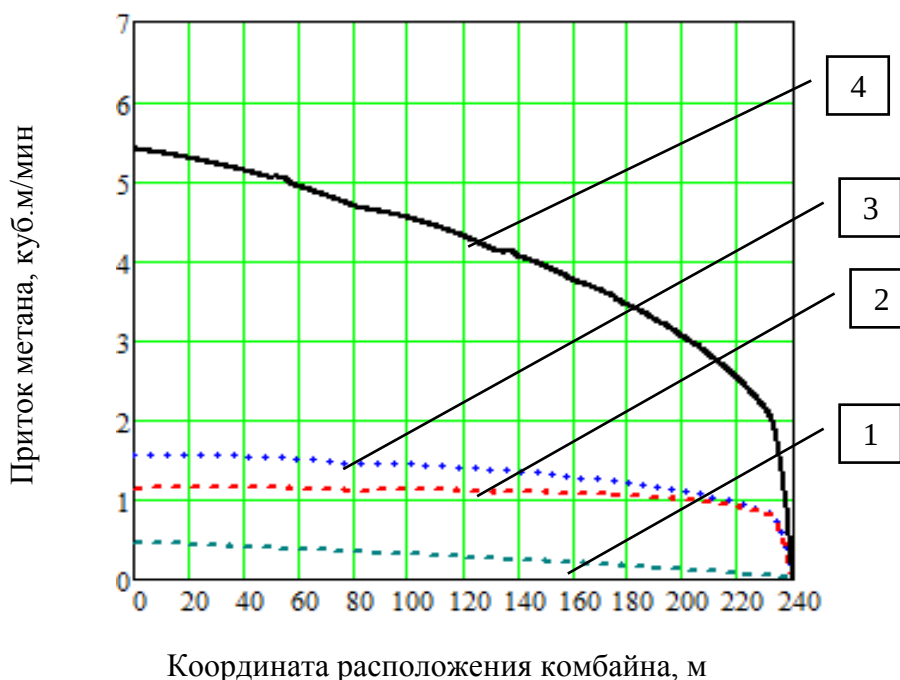


Рисунок 3 – Приток метана в лаву из фракций различных размеров
 Размеры фракций: 1) 50 мм (40%); 2) 2 мм (2%); 3) 1 мм (1%) ; 4) все фракции.

На рисунке 4 показана корреляционная зависимость концентрации метана в исходящей струе в зависимости от координаты расположения комбайна в процессе производительной заходки. Фактические результаты учитывают два фактора: с одной стороны - нарастание притоков метана по мере увеличения свежей, отбитой поверхности очистного забоя, и с другой стороны –

уменьшение притоков вследствие сокращения длительности нахождения отбитого угля в лаве по мере перемещения комбайна. Максимальная концентрация метана – 0,92% в исходящей струе – имеет место при расположении комбайна вблизи выхода из лавы в координате 180 м. Выемочный столб угольного пласта непрерывно дегазируется сразу после оконтуривания вентиляционным и откаточным штреками. Этот фактор требует учета, поскольку в центральной части выемочного столба между выработками газоносность максимальная, а на границе понижается.

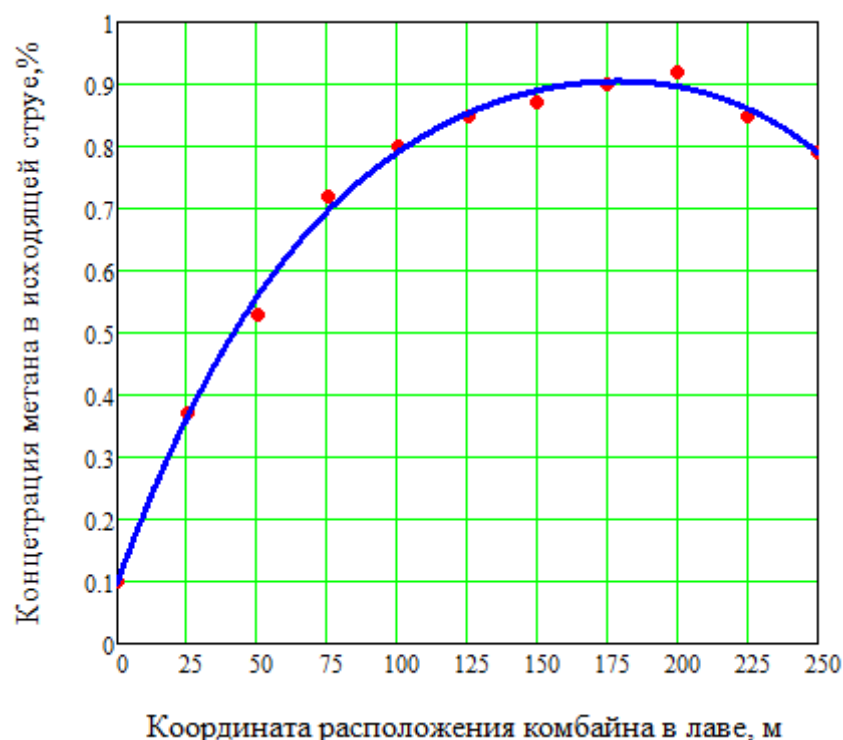


Рисунок 4 – Концентрация метана в исходящей струе в зависимости от расположения комбайна в лаве на стадии заходки

Результаты компьютерного моделирования давления метана в угольном пласте между вентиляционным и откаточным штреками показаны на рисунке 5. Причиной неравномерного распределения пластового давления метана является естественная дегазация пласта между штреками в процессе подготовки выемочного столба к выемке. Этот же фактор проявляется в виде неравномерного распределения остаточной газоносности пласта между оконтуривающими штреками. Зона влияния, в которой природное пластовое

давление понижается на 20-30% находится в пределах до 30 м. Фактор неравномерного распределения пластового давления и остаточной газоносности учитывается в компьютерной модели при прогнозе газообильности очистного забоя.

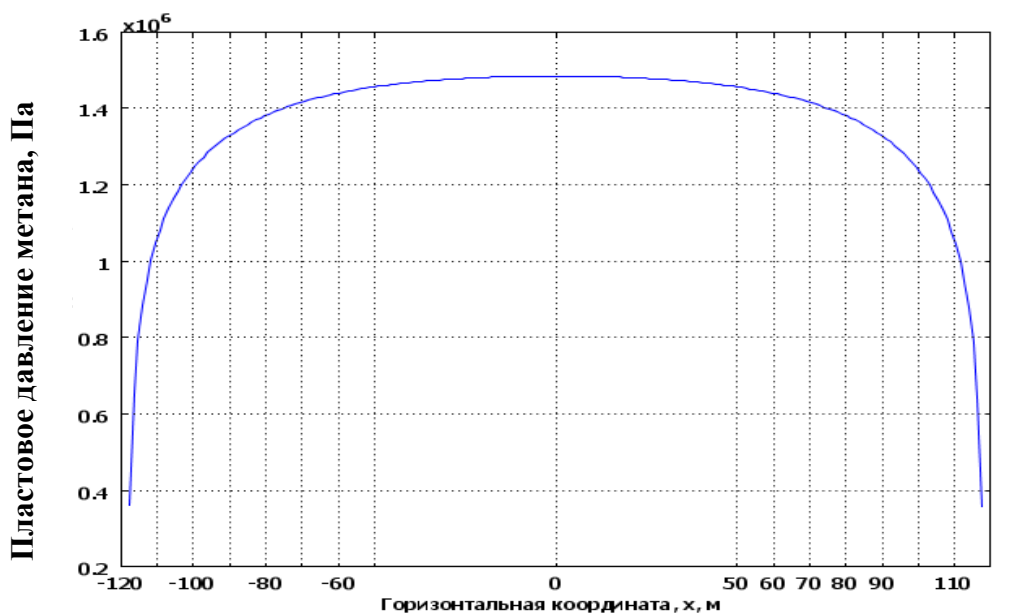


Рисунок 5 – Распределение давления метана между вентиляционным и откаточным штреками

Разработанные рекомендации по прогнозу притоков метана из очистного забоя и отбитого комбайном угля являются составной частью методики прогноза газообильности и расчета нагрузки на очистной забой, представленной на рисунке 6. Исходные данные имеют однозначное толкование и состоят из горно-геологических, физических параметров угольного пласта, технологических параметров системы разработки и применяемого очистного оборудования. Исходные данные получают в лабораторных и шахтных условиях. Лабораторные исследования включают определение объёмной массы угля, пористости и констант сорбции Ленгмюра, проводят ситовый анализ и определяют гранулометрический состав отбиваемого комбайном угля.

Шахтные исследования включают определение пластового давления метана в дегазационных скважинах выемочного столба. Регулярно проводят шахтную газовоздушную съемку вдоль очистного забоя в ремонтную смену, что является весьма информативной операцией, обеспечивающей высокую достоверность текущего прогноза. По результатам газовоздушной съемки в очистном забое определяют проницаемость угля в забое и притоки метана из выработанного пространства. Параметры системы разработки отражены в проектно-технической документации, в том числе: мощность разрабатываемого пласта, длина и сечение лавы, ширина захвата комбайна, скорость движения комбайна, скорость лавного конвейера, коэффициент надежности комбайна, длительность концевой операции комбайна (после производительной заходки), скорость движения комбайна на зачистке, длительность концевой операции комбайна (после зачистки) и другие.

Оперативный прогноз газообильности выполняют силами технического отдела шахты, где по компьютерной программе производят расчет нагрузки на очистной забой по газовому фактору на последующие рабочие смены. Результаты прогноза имеют практическое значение при планировании очистных работ по фактору предельно допустимой производительности добычи угля. В случае нормального прогноза газообильности, которые согласуются с плановыми показателями шахты, очистные работы осуществляют в установленном производственном режиме. Однако в условиях повышенной газообильности технический отдел принимает решение об интенсификации дегазации угольного пласта или ограничении нагрузки на очистной забой.

Разработанные технические решения по интенсификации газовыделения из пластовых скважин и методика прогноза газообильности для расчета предельно допустимой нагрузки на очистной забой апробированы в ОАО «СУЭК-Кузбасс». Использование полученных результатов в других горно-геологических условиях позволит оптимизировать планирование производственных процессов высокопроизводительной добычи в безопасных по газовому фактору условиях.



Рисунок 6 –Методика прогноза газообильности и нагрузки на очистной забой

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержатся научно-обоснованные технические и технологические решения в области повышения безопасности разработки угольных пластов на основе разработанного метода интенсификации газовыделения из пластовых скважин и совершенствования метода прогноза газообильности очистного забоя для обоснования допустимых нагрузок на очистной забой по газовому фактору с учетом гранулометрического состава отбитого угля, параметров сорбции, газопроницаемости угля в очистном забое и распределения пластового давления метана по глубине очистного забоя во время отбойки, внедрение которых вносит существенный вклад в развитие угледобывающей отрасли Российской Федерации.

Основные научные и практические результаты работы, полученные лично автором, заключаются в следующем:

1. Разработан метод интенсификации дегазации угольного пласта через скважины, обеспечивающий повышение газопроницаемости пласта за счет сорбционных деформаций угля в результате существенного повышения давления метана в скважине вплоть до пластового при перекрытии устья с дальнейшим свободным истечением.
2. Разработан метод интенсификации дегазации низкопроницаемых угольных пластов, последовательно предусматривающий: нагнетание в скважину воздуха под давлением 5 – 10 бар в течение 20 – 30 мин, сброс газа, закрытие устья скважины на время 1 – 3 суток и съем метана в шахтный газопровод.
3. Обоснован метод расчета притоков метана в исходящую струю лавы, учитывающий гранулометрический состав отбитого угля, параметры сорбции Ленгмюра и распределение пластового давления угольного метана по глубине очистного забоя в момент отбойки.
4. Разработана методика расчёта притоков метана из очистного забоя, включающая аналитические решения следующих задач: массопереноса

метана с учетом сорбционных свойства угля, определяемых в лабораторных условиях; пластового давления метана – по результатам шахтных измерений в дегазационных скважинах; газопроницаемости угля в очистном забое – по результатам газовоздушной съемки в лаве в ремонтную смену.

5. Разработана методика определения распределения пластового давления метана между откаточным и вентиляционным штреками, учитывающая дегазацию угольного пласта этими выработками в течение всего срока отработки выемочного столба.

6. Усовершенствована методика расчета допустимой нагрузки на очистной забой, дополнительно учитывающая газопроницаемость угля, определяемую по результатам газовоздушной съемки лавы в ремонтную смену, гранулометрический состав отбитого угля, распределение пластового давления между откаточной и вентиляционной выработками. Методика имеет компьютерную реализацию и предназначена для оперативного планирования безопасных и высокопроизводительных очистных работ.

Основные положения диссертации изложены в следующих опубликованных работах:

1. Забурдяев В.С., Новикова И.А., Семыкин Ю.А. Эффективность дегазации сближенных угольных пластов вертикальными скважинами при высоких скоростях подвигания лав // Безопасность труда в промышленности. – 2011. – №12 - С. 52 – 53.
2. Забурдяев В.С., Новикова И.А., Семыкин Ю.А. и др. Структура газового баланса метанообильных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск: Экология, безопасность. – 2011. – № 8. – С. 369 – 375.
3. Забурдяев В.С., Новикова И.А., Семыкин Ю.А. Метановыделение и дегазация пласта 52 на шахте «Котинская» (ОАО «СУЭК-Кузбасс») // Безопасность труда в промышленности. – 2012. – №2. – С. 6 – 7.
4. Семыкин Ю.А. Опыт ведения работы высокопроизводительной лавы

№808 шахты. // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск: Сборник научно-технических работ горных инженеров СУЭК. – 2013. – № 2. – С. 296 – 299.

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

6. Каркашадзе Г.Г., Мазаник Е.В., Семькин Ю.А. Притоки метана в исходящую из лавы струю с учетом гранулометрического состава отбитого угля/ Сб. тр. XV международной науч. – практ. конф. «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности». – Кемерово: – 2013. – С. 298 – 302.

7. Каркашадзе Г. Г., Мазаник Е. В., Семькин Ю. А. Совершенствование расчета нагрузки на очистной забой по газовому фактору на основе производственных испытаний и средств компьютерного моделирования // Сб. науч. тр. Вып. 2: Пути повышения эффективного и безопасного освоения пластовых месторождений подземным способом. Изд. Горное дело ООО «Киммерийский центр» (Библиотека горного инженера). –2014. – С. 308 – 314.

8. Каркашадзе Г.Г., Мазаник Е.В., Семькин Ю.А. Методика расчёта притоков метана из отбитого угля в лаве в процессе очистных работ //Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – №6 – С. 18 – 22.

9. Каркашадзе Г.Г., Семькин Ю.А., Лупий М.Г. Методика расчета притоков метана из очистного забоя по результатам газовой съемки в ремонтную смену //Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014 – №7. – С. 206 – 211.