

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»**

ФАН ТУАН АНЬ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНОГО
ПЛАСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОДЗЕМНОГО ГИДРОРАЗРЫВА**

Специальность: 2.8.8 – Геотехнология, горные машины
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук Коликов Константин Сергеевич

Москва – 2022

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Проблема управления газовыделением и предотвращения газодинамических явлений, несмотря на многолетние исследования в этой области горной науки, является очень актуальной для многих горнодобывающих стран. Интенсификация угледобычи привела к необходимости использования дегазации не только на высокогазообильных шахтах, но и при высоких нагрузках на очистные забои.

Следует отметить, что проблемы газовыделения и газодинамических явлений являются взаимосвязанными, при увеличении темпов ведения горных работ не только увеличивается газообильность горных выработок, но и возрастает опасность газодинамических явлений. Одним из основных направлений борьбы с этими негативными факторами является гидрообработка угольных пластов, которая не только снижает газовыделение, но и изменяет физико-механические свойства угольного пласта.

С середины прошлого века активно разрабатываются способы дегазации угольных пластов и их спутников скважинами, а также способы использования извлечённого из угольных пластов метана. В этих направлениях активно работали В.В. Ходот, И.М. Печук, А.А. Мясников, Г.Д. Лидин. И.Л. Эттингер разрабатывал методы выявления в угольных пластах зон, опасных по внезапным выбросам. Делались первые шаги в проведении гидравлического разрыва пласта как через скважины, пробуренные с поверхности, так и из подземных горных выработок. Первое направление активно развивалось специалистами Московского горного института под руководством и с участием Ножкина Н.В., Ярунина С.А., Васючкова Ю.Ф., Шарипова Н.Х., Громова В.А., Сластунова С.В. и многих других. Натурные исследования и внедрение технологии осуществлялось на шахтах Донецкого и Карагандинского бассейнов с участием специалистов

МакНИИ и КНИУИ. В определённых горно-геологических условиях способ показал высокую технико-экономическую эффективность.

Вопросы совершенствования дегазации разрабатываемых угольных пластов рассмотрены в работах А.Т. Айруни, И.В. Сергеева, В.С. Забурдяева, Е.И. Преображенской, В.А. Садчикова, С.К. Баймухаметова, Г.Н. Фейта, О.Н. Малинниковой и многих других. В 70-е – 80-е годы большой объем исследований был посвящен совершенствованию технологии подземного гидроразрыва, который достаточно широко применялся на шахтах большинства угольных бассейнов страны. Однако в процессе и после реструктуризации угольной отрасли применение способов, связанных с искусственным повышением проницаемости угольных пластов практически прекратилось и стало применяться вновь только после 2010г.

Эти проблемы характерны и для угольной отрасли Вьетнама, добыча которой в настоящее время превышает 50 млн.т в год и должна в следующем году составить около 53 млн.т. Во Вьетнаме данное направление исследований развивали Динь Хунг, Чан Суан Ха, Ле Ван Тхао, Фам Дик Тханг, однако в связи с более благоприятными горно-геологическими условиями он менее проработан и для решения задач представленной проблемы необходимо изучение опыта угольной отрасли Российской Федерации.

Степень разработанности направления. Ранее выполненными исследованиями установлено, что увлажнение угольного пласта, приводящее к изменению его коллекторских и физико-механических свойств можно применять как для предотвращения газодинамических явлений, так и для предотвращения загазований горных выработок при проведении их на пластах с высокой газоносностью. Имеется положительный опыт низконапорного увлажнения и для снижения запыленности выработок и обеспечения пылевзрывозащиты. В зависимости от режимов и параметров нагнетания изменяются свойства и состояние массива. Настоящая работа

посвящена исследованию свойств массива при различных способах воздействия на углепородный массив и совершенствованию технологии гидродинамического воздействия при подземной разработке угольных пластов.

Цель работы. Совершенствование технологии гидроразрыва разрабатываемого угольного пласта для снижения газоносности угля и изменения напряженного состояния для предотвращения газодинамических явлений и загазирования горных выработок.

Идея работы заключается в учете физико-механических особенностей процесса гидродинамического воздействия и применении вязких рабочих жидкостей для обеспечения раскрытия вторичных систем трещин при проведении подземного гидроразрыва.

Задачи исследования

- анализ опыта гидродинамического воздействия и обоснование направлений совершенствования технологии гидрообработки;
- уточнение зависимостей газоносности угольных пластов шахты Мао Хе для оценки опасности динамических явлений и уточнения области применения дегазации с интенсификацией газовыделения;
- обоснование требований к рабочим жидкостям, используемых для подземного гидроразрыва;
- моделирование процесса гидроразрыва для обоснования параметров и режимов гидрообработки;
- установление зависимостей деформаций угольного пласта при гидровоздействии для обоснования параметров технологии подземного гидроразрыва с использованием эффекта набухания угольного пласта;
- разработка методических положений и параметров, определяющих область применения способа гидрообработки, направленного на снижение газоносности и опасности газодинамических явлений и загазирования.

Научная новизна состоит в научном обосновании предложений по предотвращению газодинамических явлений и загазирования горных выработок на основе применения низконапорного увлажнения угольного пласта, разработке методики определения параметров технологии гидродинамического воздействия с использованием вязких рабочих жидкостей для раскрытия вторичной трещиноватости угольного пласта.

Теоретическая и практическая значимость

Обоснованы параметры и режимы гидродинамического воздействия на разрабатываемый угольный пласт для повышения эффективности его дегазации и снижения концентрации напряжений в массиве. Разработана методика определения параметров технологии гидродинамического воздействия с использованием вязких рабочих жидкостей для обеспечения раскрытия вторичных систем трещин при проведении подземного гидроразрыва.

Методология и методы исследования

В основу исследований положен комплекс следующих методов: изучение состояния вопроса по теме работы, анализ научных публикаций, теоретические исследования способов изменения газифильтрационных и газокинетических свойств угольных пластов, экспериментальные исследования и научное обобщение их результатов.

Научные положения, выносимые на защиту

- повышение эффективности гидродинамического воздействия обеспечивается использованием технологии поэтапной гидрообработки, при которой используется эффект набухания угольного пласта или обеспечиваются условия для раскрытия вторичной системы трещин за счет применения вязких рабочих жидкостей, что приводит к снижению потерь на фильтрацию в стенки раскрываемых трещин;

- основными критериями, определяющими необходимость применения дегазации с использованием интенсификации газовыделения, являются:

газоносность угольного пласта; уровень планируемой нагрузки на очистной забой, а также эффективность естественной дегазации участка подготовительными выработками;

- параметры гидрообработки определяются на основе моделирования процесса гидровоздействия с учетом необходимости раскрытия вторичной системы трещин в угольном пласте при условии закачки минимального количества рабочей жидкости.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

- большим объемом экспериментальных исследований при оценке газовыделения в скважины;
- применением в экспериментах хорошо зарекомендовавших методов и методик оценки газообильности горных выработок, позволяющих получать достоверные результаты;
- корректным применением уравнений математической физики, геомеханики и аэрогазодинамики для определения основных параметров гидродинамического воздействия на угольный пласт.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались и обсуждались на международных, всероссийских и региональных научных конференциях, в том числе: на Международном научном симпозиуме «Неделя горняка», НИТУ «МИСиС», 2018; заседаниях кафедры «Безопасность и экология горного производства» НИТУ «МИСиС», 2019, 2021.

Публикации по теме диссертации. По теме диссертации опубликованы 7 печатных работ, в том числе 4 научных статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ и 1 тезисы доклада в сборнике научной конференции.

Структура и объем работы. Диссертация содержит перечень сокращений, введение, 4 главы, заключение и список литературы. Работа

изложена на 136 страницах машинописного текста, содержит 40 рисунков, 11 таблиц. Список литературы включает 140 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** работы обосновывается актуальность проведенных исследований, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, рассмотрены использованные методы исследований, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В **первой главе** проанализированы факторы, влияющие на эффективность отработки газоносных угольных пластов, выполнен анализ мирового опыта высокопроизводительной разработки газоносных угольных пластов. В соответствии с направлением диссертационного исследования выполнен анализ опыта воздействия на угольные пласты для повышения безопасности ведения горных работ. Рассмотрена нормативная база РФ и Вьетнама, регулирующая отработку газоносных угольных пластов и порядок категорирования угольных шахт, определены цель и основные задачи исследований.

С увеличением глубины залегания угольных пластов в результате повышения горного давления снижается их проницаемость, и, как следствие, эффективность предварительной дегазации, это приводит к росту доли текущей дегазации и снижению уровня безопасности труда. Это связано с тем, что применяемые способы текущей дегазации не обеспечивают стабильных показателей эффективности. Широкое использование системы отработки «шахта-лава» приводит к повышению требований безопасности.

В случае разработки газоносных и тем более опасных по газодинамическим явлениям угольных пластов общепризнанным мероприятием является снижение газоносности и газовыделения угольных пластов до начала ведения горных работ. Однако, несмотря на большой объем выполненных исследований в этом направлении уровень решения проблемы обеспечения метанобезопасности остается недостаточным. Одной

из основных причин этого является недостаточная научно-методическая составляющая данного вопроса.

Рассматривая международный опыт обеспечения безопасности при отработке угольных месторождений необходимо проанализировать основные мероприятия как технического, так и организационного характера. Так, в Новом Южном Уэльсе (Австралия) традиционные способы добычи угля используются при метаноносности менее $9 \text{ м}^3/\text{т}$, при метаноносности от 9 до $12 \text{ м}^3/\text{т}$ необходимо применение мероприятий по предотвращению внезапных выбросов, а при метаноносности более $12 \text{ м}^3/\text{т}$ допускается только дистанционная добыча, при этом предусматривается корректировка этой величины с учетом содержания углекислого газа. Целесообразно отметить, что ограничения газоносности разрабатываемых угольных пластов может быть обосновано с физической точки зрения только по фактору внезапных выбросов.

Как известно, возникновение выбросоопасной ситуации является результатом реакции горного массива на проведение выработки, абсолютно преобладающее количество газодинамических явлений происходят при подвигании забоя. Основными факторами, определяющими процесс формирования выбросоопасной ситуации являются: горное давление, свойства и нарушенность угольного пласта, что подтверждается приуроченностью большинства (90 - 95%) динамических явлений к горно-геологическим аномалиям. Однако в последние годы ГДЯ зарегистрированы не только в подготовительных, но и очистных забоях, что говорит о повышении роли фактора связанного с темпами ведения горных работ.

Выполненная оценка показала, преобладающее значение имеет потенциал энергии десорбированного газа на долю которого приходится более 60% общей энергии. Это позволяет сделать вывод о том, что дегазация угольного пласта является одним из наиболее эффективных способов

обеспечения безопасности отработки выбросопасных угольных пластов, уступающего по эффективности только подработке защитным пластом.

Вторая составляющая рассматриваемой проблемы заключается в использовании гидродинамического воздействия для повышения проницаемости угольных пластов и интенсификации газоотдачи в скважины предварительной дегазации.

В современных горно-геологических условиях и темпах ведения горных работ даже на шахтах 2 категории для обеспечения метанобезопасности при высоких нагрузках необходимо применять дегазацию выработанного пространства. Следует отметить и изменение в структуре газового баланса добычного участка, в которой значительно увеличилась роль газовыделения из транспортируемого угля. Дальнейшее увеличение нагрузок приводит к необходимости дегазации разрабатываемого пласта с эффективностью до 25-40%, в зависимости от газоносности и нагрузки на очистной забой. В настоящее время способы предварительной дегазации не обеспечивают такой эффективности, что требует совершенствования известных и/или разработки новых, несмотря на незначительную долю разрабатываемого пласта (менее 10% газового баланса) в структуре газового баланса выемочного участка.

Повышение метанобезопасности горных работ может быть достигнуто за счет снижения газовыделения из угольных пластов, в результате снижения их газоносности или снижения проницаемости угольного пласта при его увлажнении. Второе направление при этом изменяет физико-механические характеристики массива, что необходимо учитывать при оценке выбросоопасности.

Во **второй главе** представлены результаты исследований по моделированию процесса гидроразрыва из подземных выработок, оценке эффективности дегазации оконтуренного участка подготовительными выработками, моделированию пластовой дегазации с учетом сорбции, а

также оценке факторов определяющих допустимую нагрузку на очистной забой.

Моделирование процесса гидровоздействия на угольные пласты выполнено в программном комплексе FRACPRO, который в настоящее время является наиболее широко используемым в мире ПО для проектирования гидроразрыва и может эффективно моделировать разные дизайны по ГРП, включая интервалы с несколькими перфорациями и многостадийный гидроразрыв пласта. Моделирование выполнено для условий ш. им. С.М. Кирова. Основные ограничения: максимальный расход жидкости $0.6 \text{ м}^3/\text{мин}$, максимальное поверхностное давление $30,0 \text{ МПа}$, максимальный объем жидкости 50 м^3 .

По результатам моделирования показано, что при проведении гидровоздействия с использованием высоковязких рабочих жидкостей происходит раскрытие трещин как в кровле, так и почве пласта, при использовании в качестве рабочей жидкости воды с темпом закачки до 10 л/с повышение проницаемости локализовано в угольном пласте.

При оптимизации размеров фильтрующей части скважины гидрообработки (через которую осуществляется непосредственная обработка угольного пласта) параметры моделей были заданы в соответствии с данными выемочного участка 24-58. Для оценки фильтрационно-емкостных свойств моделируемого выемочного участка угольного пласта решалась обратная задача по определению параметров пласта (пористости и проницаемости трещин и матрицы) и параметров зоны ГРП (размеров зоны влияния, степень улучшения фильтрационно-емкостных свойств этой зоны) таким образом, чтобы оптимизировать невязку получаемой на модели объемов извлечения газа с фактическими объемами извлечения (рис. 1).

Были рассмотрены варианты с длиной герметизации скважин 35, 70, 100 и 150 метров, а также варианты с длинами рабочей части скважины составляющими 1, 10, 25 и 50 метров. В условиях рассмотренного участка

лучший результат показала конфигурация скважины с величиной герметизации 50м и необсаженным - 35 м.

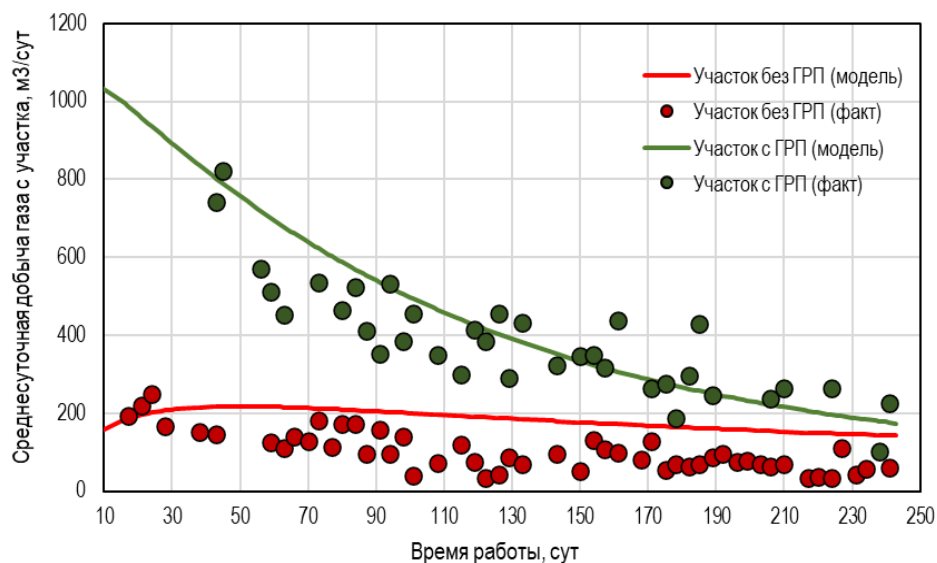
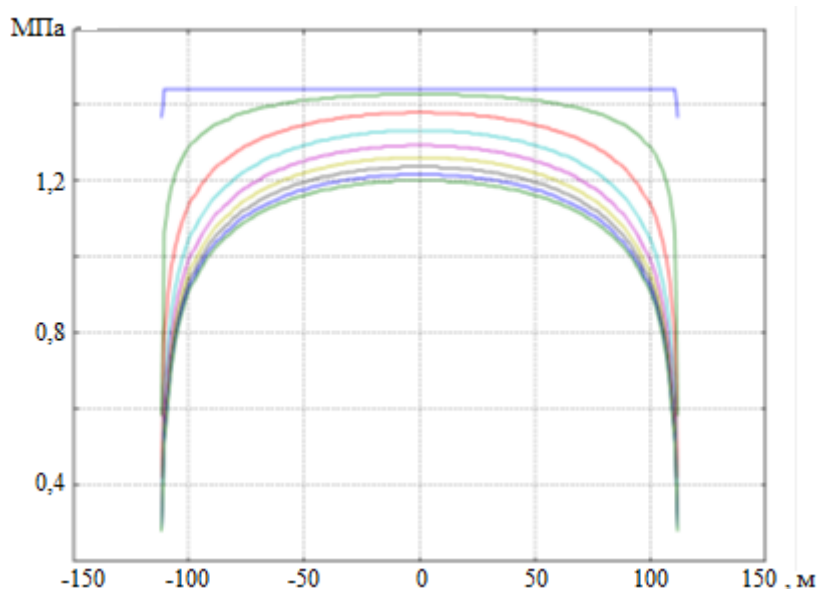


Рисунок 1 – Результаты адаптации объемов извлечения газа

Важное значение при определении необходимости интенсификации дегазации имеет не только газоносность угольных пластов, но и эффективность дегазации подготовленных запасов подготовительными выработками. Рассматривая данную задачу с учетом изотермы Лэнгмюра получено распределение давления метана в пласте между штреками (рис. 2).



Через каждые три месяца, в течение двух лет

Рисунок 2 – Распределение давления метана в пласте между штреками

Для условий шахты Мао Хе, где длина лав в настоящее время составляет от 60 до 230 м процесс естественной дегазации подготовительными выработками имеет важное значение для определения целесообразности проведения предварительной дегазации, т.к. может обеспечить до 20% съема метана. Кроме этого на шахте достаточно широко используется полевая подготовка, в этом случае применение гидродинамического воздействия из полевых выработок обеспечивает возможность достаточно простой и эффективной схемы герметизации скважин гидроразрыва, при последующей дегазации пластовыми скважинами.

Оценка факторов, определяющих метановыделение разрабатываемого пласта и допустимую нагрузку на очистной забой позволяет сделать следующие выводы:

- если газоносность уменьшаются от 14 до 9 куб м /т то в этом случае нагрузка возрастает почти в 2,5 раза;
- влияние пластового давления аналогично фактору газоносности, при снижении пластового давления с 2,6 МПа до 1,5 МПа нагрузка на забой возрастает в 2,5 раза;
- при увеличении пористости угля с 2% до 6%, нагрузка уменьшается в 1,75 раза;
- при снижении проницаемости угля с $0,5 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ до $0,05 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ нагрузка возрастает с 6811 т/сут. до 19500 т/сут, т.е. в 2,9 раза.

В **третьей главе** выполнен анализ опасности шахт Куангниньского угольного бассейна СРВ.

Для уточнения оценки опасности ГДЯ установлены зависимости (1 - 4), отражающие связь метаноносности с глубиной залегания угольных пластов. Характерные зависимости представлены на рисунках 3, 4.

$$\text{Пласт 9D: } y_1 = -4E - 06x_1^3 - 0,0008x_1^2 - 0,0686x_1 + 3,89 \quad (1)$$

$$\text{Пласт 9Т: } y_1 = 2E - 07x_2^3 + 0,0002x_2^2 - 0,0297x_2 + 3,0434 \quad (2)$$

$$\text{Пласт 7D: } y_1 = -1E-06x_3^3 - 0,0003x_3^2 - 0,0375x_3 + 1,2558 \quad (3)$$

$$\text{Пласт 9ТВII: } y_1 = 1E-06x_4^3 + 0,0003x_4^2 + 0,0035x_4 - 0,0391 \quad (4)$$

где: y – метаноносность угля, $\text{м}^3/\text{т}_{\text{с.б}}$; x – глубина залегания угольных пластов, м

Установленные зависимости (1) – (4) могут быть использованы для прогноза метанообильности подготовительных и очистных забоев, прогноза параметров и оценки эффективности дегазации, а также определения необходимости проведения мероприятий по предотвращению ГДЯ.

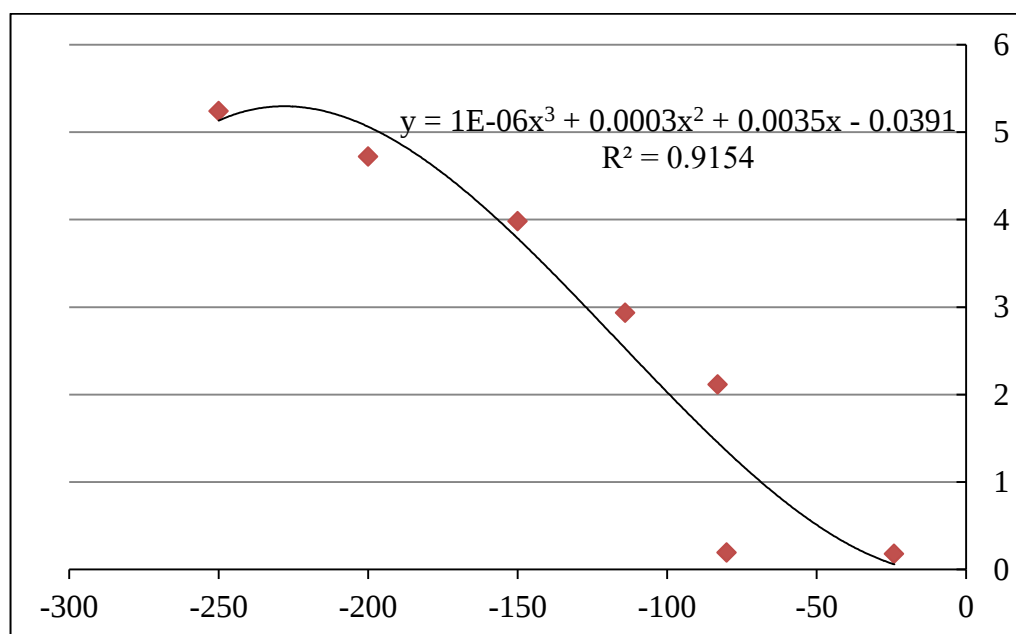


Рис.3. Изменение метаноносности угольного пласта «9ТВII» с глубиной залегания

Если в качестве критерия опасности ГДЯ принять величину газоносности в $9 \text{ м}^3/\text{т}$, то пласты 7D, 9ТВП являются не опасными до горизонтов соответственно «-220м» и «-300м», пласты 9D и 9Т опасны по внезапным выбросам с горизонтов соответственно «-160м» и «-140м».

Для обеспечения метанобезопасности при отработке угольных пластов с высокой метаноносностью на шахте Мао Хе необходимо использование

дегазационной подготовки, которая в конечном итоге позволяет перейти к комплексному освоению углегазовых месторождений.

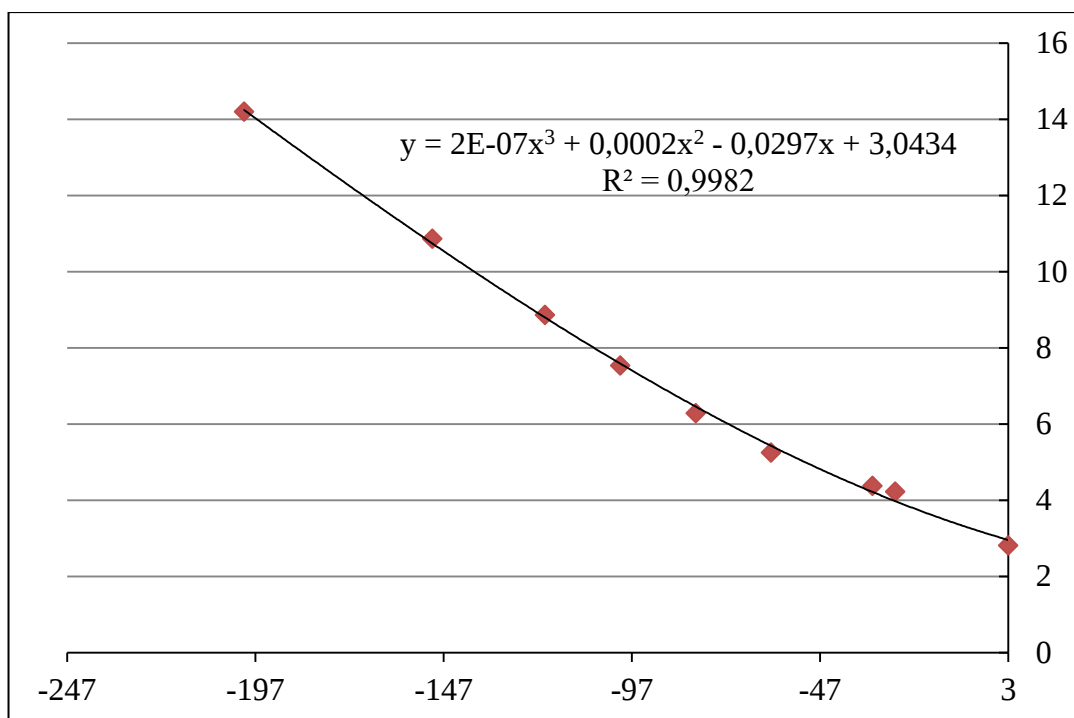


Рисунок 4 – Изменение метаноносности угольного пласта «9Т»
с глубиной залегания

Четвертая глава посвящена вопросам совершенствования технологии гидровоздействия на угольный пласт для его предварительной дегазации. Рассмотрено две схемы воздействия: с использованием вязко-пластичных наполнителей и эффекта набухания угля в результате взаимодействия с рабочей жидкостью. Теоретическая оценка гидровоздействия показывает, величина радиуса зоны гидрообработки практически линейно зависит от темпа закачки рабочей жидкости, что достаточно часто является ограничивающим фактором для применения технологии гидрообработки с целью повышения газоотдачи угольного пласта.

В этом случае возможно применение технологии гидрообработки угольного пласта с использованием эффекта набухания угля в результате его взаимодействия с водой.

Для подземных условий предлагается следующая последовательность воздействия:

- закачка 20-30 м³ рабочей жидкости с темпом 5-10 л/с;
- затем осуществляется обработка следующей скважины, а в зоне первой происходит набухание пласта;
- повторная гидрообработка первой скважины с закачкой 15-20 м³ воды с темпом 10 л/с;
- бурение пластовых скважин для освоения обработанной зоны и снижения газоносности угля в зоне гидрообработки.

Предлагаемая технология позволяет увеличить радиус воздействия, т.к. на втором этапе воздействия снижаются потери рабочей жидкости на фильтрацию в стенки ранее образованных трещин. В качестве критерия возможности использования данной технологии предлагается использовать показатель устойчивости трещин, которые могут быть определены лабораторным путем.

В случае если отсутствует техническая возможность проведения подземного гидроразрыва или опасность ГДЯ вызвана в основном не газоносностью, а концентрацией напряжений необходимо осуществить низконапорное нагнетание рабочей жидкости в пласт.

Считается, что предотвращение ГДЯ происходит при повышении влажности угля до 6%. Следует отметить, что данный способ может быть использован и для снижения газовыделения из угольного пласта за счет блокирования метана водой.

Для повышения эффективности увлажнения применяются добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Вторая технологическая схема базируется на создании условий для раскрытия вторичных трещин, которые обеспечиваются тем, что после проведения гидроразрыва угольного пласта за счет закачки стопорного геля обеспечивается повышение давления из-за различия упругих свойств и вязкости в среде при последующей гидрообработке. В качестве основного

критерия может быть приняты минимальные объемы рабочей жидкости и геля. Последовательность операций в этом случае следующая:

- на первом этапе при закачке рабочей жидкости с максимальным темпом (10 л/с) и минимальным объемом (5-10 м³) раскрывается основная система трещин;
- на втором минимальным темпом закачивается минимальный объем геля, который должен обеспечивать увеличение давления закачки на 15-20%;
- на третьем этапе осуществляется закачка рабочей жидкости с максимальным темпом (10 л/с), обеспечивающая раскрытие вторичной системы трещин.

Определение характеристик и объемов закачки геля базируется на использовании метода моделирования физических процессов, основанного на методе подобия. Используя число подобия Архимеда оценить относительный рост давления можно по соотношению (5):

$$\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} = \frac{l_1^3}{l_2^3} \cdot \frac{v_2^2}{v_1^2} \cdot \frac{E_2}{E_1} \quad (5)$$

Параметры с индексом «2» относятся к вязкой среде (гель).

Параметры с индексом «1» относятся к воде.

Для воды модуль упругости $E \approx 2,11$ ГПа при нормальных условиях.

Для $t = 15$ °С, кинематическая вязкость воды $\nu = 1,14$ сСт или $1,14 \cdot 10^{-6}$ м²/с

Используя данное соотношение при известных характеристиках рабочей жидкости и размерах зоны обработки определяются требуемые характеристики геля, который закачивается на втором этапе.

Для условий шахты Мао Хе предлагается следующая последовательность принятия решения о необходимости и способе дегазации:

- оценивается газоносность и прогнозная газообильность горных выработок по двум критериям: опасность ГДЯ и возможность ограничения нагрузки на очистной забой;
- с учетом горнотехнических условий определяется эффективность естественной дегазации угольных пластов подготовительными выработками;
- при необходимости дегазации с учетом программы развития горных работ и возможного срока дегазации определяется необходимость интенсификации газовыделения в пластовые скважины;
- по результатам анализа физико-механических свойств угля и с учетом горно-геологических определяется применяемый способ интенсификации и его параметры.

Обязательным элементом при проведении подготовительных выработок является уточнение газоносности угольных пластов для корректировки зависимостей газоносности от глубины залегания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно - квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития угольной отрасли в части решения актуальной задачи развития технологий дегазации угольных пластов на основе применения вязких рабочих жидкостей для обеспечения раскрытия вторичных систем трещин.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

усовершенствована технология гидроразрыва разрабатываемый угольный пласт с использованием эффекта набухания угля, обеспечивающая снижение газоносности угля и напряженного состояния для предотвращения газодинамических явлений и загазирования горных выработок;

применение традиционных параметров гидрообработки приводит к раскрытию трещин в кровле и почве пласта, что снижает эффективность дегазационной подготовки.

моделирование процесса дегазации показывает, что в условиях шахты им. Кирова максимальный результат показала конфигурация скважины с обсаженным участком 50м и необсаженным 35 м, для эффективного моделирования процесса необходимым условием является определение фильтрационно-емкостных показателей угля и вмещающих пород, которые могут уточнены на основе решения обратной задачи о газовыделении в подготовительных выработках.

для условий шахты Мао Хе, где длина лав в настоящее время составляет от 60 до 230 м процесс естественной дегазации подготовительными выработками имеет важное значение для определения целесообразности проведения предварительной дегазации, т.к. может обеспечить до 20% съема метана.

Для условий шахты Мао Хе установлены зависимости отражающие связь метаноносности с глубиной залегания угольных пластов, которые могут быть использованы для оценки опасности ГДЯ.

Если в качестве критерия опасности ГДЯ принять величину газоносности в 9 мЗ/т, то пласты 7D, 9ТВП являются не опасными до горизонтов соответственно «-220м» и «-300м», пласты 9D и 9Т опасны по внезапным выбросам с горизонтов соответственно «-160м» и «-140м».

Разработаны предложения по совершенствованию технологии дегазации на основе использования вязко-пластичных наполнителей для обеспечения раскрытия дополнительных систем трещин.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. **Фан Туан Ань**, Фам Д.Т., Коликов К.С. Оценка метаноопасности и необходимости дегазации на шахтах Куангниньского угольного бассейна

СРВ // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 5 (специальный выпуск 10). С. 20-25. (ВАК)

2. Фам Д.Т., **Фан Туан Ань**, Коликов К.С. Зависимость метаноносности и относительной метанообильности угольных пластов на шахте Мао Хе от глубины их залегания // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 6-1. С. 26-37. (Scopus, ВАК)

3. Мазина И.Э., Маневич П.П., **Фан Туан Ань**. Снижение негативного воздействия на окружающую среду с использованием технологии закладки выработанного пространства при подземной разработке угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 2. С. 28-35. (Scopus, ВАК)

4. Фам Д.Т., **Фан Туан Ань**, Ле К.Ф., Виткалов В.Г. Определение рациональной ширины предохранительной пачки угля при отработке наклонных угольных пластов средней мощности с использованием камерно-столбовой системы // Уголь. 2018. № 9. С. 36-39. (Scopus, ВАК)

5. Pham D.T., **Phan Tuan Anh**, et al. Justification of Spatially-Planned Solutions and Determination of the Dimension Block in the Working of the Medium Thick Inclined Coal Seams with the Room and Pillar System // 3rd International Innovative Mining Symposium. E3S Web of Conferences 41, 01024 (2018). (Scopus)

6. **Фан Туан Ань**. Шахты Куангниньского угольного бассейна (Вьетнам) – оценка метаноопасности и дегазации // 9-я Международная молодежная научная конференция «Поколение будущего: Взгляд молодых ученых – 2020». Россия. 2020. Т. 5. С. 94.

7. Коликов К.С., Фан Туан Ань, Матниязова Г.И. Моделирование гидродинамического воздействия на угольные пласты. Депонир. рукопись. Справка № 1257/08-22 от 15.06.2022 г. Изд-во «Горная книга».