

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт угля Сибирского отделения Российской академии наук

На правах рукописи



КОРМИН АЛЕКСЕЙ НИКОЛАЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ГАЗОНОСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ
ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРАЦИИ И ДИФФУЗИИ МЕТАНА**

Специальность: 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискания ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
О.В. Тайлаков

Кемерово 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ ГАЗОНОСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ И ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ	12
1.1. Методы определения газоносности угольных пластов	12
1.2. Применение прямых методов определения газоносности угольных пластов в шахтных условиях.....	16
1.3. Физико-химические свойства, определяющие газоносность угля	23
1.4. Состояние и свойства газоносного угольного пласта.....	26
Цель и задачи исследования.....	32
2. РАССМОТРЕНИЕ МАКРОКИНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЕСОРБЦИИ МЕТАНА ИЗ УГЛЯ НА ОСНОВАНИИ ТЕОРИИ ФИЛЬТРАЦИИ И ДИФФУЗИИ	34
2.1. Разработка и испытание в шахтных условиях конструкции кернаборника для отбора угольных проб	34
2.2. Кинетика десорбции метана из угля	41
2.3. Оценка достоверности определения газоносности угольных пластов ..	50
2.4. Применение кластерного анализа для структурированной обработки информации данных по газоносности угля	55
Выводы	59
3. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОНОСНОСТИ УГЛЯ В ШАХТНЫХ УСЛОВИЯХ.....	61
3.1. Обоснование параметров и технологических решений отбора угольных проб	61
3.2. Проведение шахтных и лабораторных исследований процесса десорбции метана из угля.....	63
3.3. Обработка результатов шахтных и лабораторных исследований газоносности угольных проб, отобранных в шахтных условиях.....	67
Выводы	71

4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОНОСНОСТИ НА ПЛАНИРУЕМЫХ К РАЗРАБОТКЕ И РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ УЧАСТКАХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В УСЛОВИЯХ КУЗБАССА.....	72
4.1. Опробование метода определения газоносности угольных пластов на угольных месторождениях Кузбасса.....	72
4.2. Оценка эффективности дегазации угольных пластов на основе уточненных значений газоносности угля	80
4.3. Оценка объема выделившегося газа из отбитого угля для уточнения схем и параметров проветривания горных выработок.....	85
Выводы	89
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	91
Список использованных источников литературы	96
Приложение 1. Акт исследовательских испытаний «Временной методики определения фактической природной газоносности угольных пластов при ведении горных работ».....	109
Приложение 2. Акт практического использования результатов «Оценки газоносности угольных пластов в пределах выемочного столба 48-2 шахты «Ерунаковская-VIII»	112

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Современная добыча угля подземным способом характеризуется отработкой газоносных угольных пластов с применением высокопроизводительного горно-шахтного оборудования, эффективность функционирования которого зависит от горно-геологических условий и зачастую ограничивается газовым фактором. Существенное значение для повышения объемов и безопасности добычи угля имеет совершенствование систем и средств дегазации угольных пластов, при проектировании которых необходимо использовать информацию о газоносности угольных пластов, обуславливающую интенсивность поступления метана в горные выработки при разгрузке углепородного массива.

Для определения метаноносности угля применяют прямые и косвенные методы. Прямые методы основаны на отборе угольных кернов при бурении с поверхности вертикальных геологоразведочных скважин и определении объема газа, выделяющегося из угольных проб в лабораторных условиях. При этом плотность сетки скважин не всегда достаточна для корректной оценки газоносности угля, которая на разрабатываемых участках угольных пластов может существенно отличаться от метаноносности, определенной на этапе геологической разведки, вследствие их разупрочнения, сопровождающегося выделением метана.

Определение газоносности угля косвенными методами основывается на анализе фактической метанообильности действующих выработок и установлении газового баланса выемочных участков по источникам газовыделения. Однако в процессе измерения метан поступает в горные выработки не только из рабочего угольного пласта, но также из выработанного пространства, вмещающих пород и пластов спутников. Таким образом, определяется общее выделение газа без его разграничения по отдельным источникам в углепородном массиве, что снижает достоверность оценивания пространственного распределения плотности ресурсов метана.

Поэтому для формирования массивов данных, которые дополняют и/или уточняют информацию о метаноносности, полученную с помощью известных методов, необходимо разработать, обосновать и практически внедрить подход, основанный на применении фундаментальных закономерностей фильтрации и диффузии метана для обработки и интерпретации результатов регистрации макрокинетических процессов его десорбции из угольных проб, которые извлекаются с помощью скважин, пробуренных из горных выработок в угольный пласт с применением керноборника.

Работа выполнена в соответствии с планами научных исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института угля Сибирского отделения Российской академии наук по проектам 25.2.4 «Экспериментально-аналитические основы механики газоводонесущих геоматериалов» на 2004-2006 гг.; 123 «Геомеханические и физико-химические процессы интенсификации десорбции и миграции метана из угольных пластов» на 2009-2011 гг.; VII.60.3.1 «Обеспечение освоения углегазовых месторождений на основе мониторинга физических процессов в углепородном массиве» на 2011-2012 гг., «Теоретическое обоснование и разработка метода оценки эффективности дегазации угольных пластов на основе прямых измерений газоносности» на 2013-2014 гг.

Целью работы является разработка и обоснование метода оценки остаточной газоносности угольных пластов с учетом динамики процессов фильтрации и диффузии метана на основе определения его содержания в ядрах, обеспечивающего контроль эффективности дегазации углепородного массива.

Идея работы заключается в сохранении локального термодинамического равновесия при извлечении угольных проб из горизонтальных скважин, пробуренных в глубь массива, с последующим

определением объема метана, выделившегося в процессе его десорбции в лабораторных условиях, и восстановлением объема упущенного газа с момента извлечения до размещения керна в измерительную систему методом обратной экстраполяции.

Задачи исследований:

- обосновать технологические параметры устройство для отбора угольных образцов в скважинах, пробуренных из горных выработок угольных шахт;
- определить границы участков процесса десорбции, соответствующих изменению скорости фильтрации при метановыделении из угольных проб, для формирования лабораторных термодинамических условий, обеспечивающих достоверную оценку газоносности угольных пластов;
- экспериментально оценить кинетику газоотдачи угольных проб для разработки методики определения метаноносности угля при ведении горных работ.

Методы исследований:

- систематизация и научное обобщение известных методов определения газоносности угольных пластов, применяемых в горном деле;
- методы оценки скорости десорбции метана (объемный метод) и коллекторских свойств углей;
- регрессионный анализ при обработке экспериментальных данных.

Объект исследования – участок угольного пласта, ограниченный горными выработками.

Предмет исследований – процессы фильтрации метана в угольных пластах.

Научные положения, защищаемые автором:

- двухсекционный кернонаборник с длиной наборной части 0,35 м и диаметром буровой коронки 0,076 м обеспечивает отбор угольных кернов с помощью скважин, пробуренных из горных выработок угольных шахт, с коэффициентом кернообразования K_o не хуже 0,89;
- снижение скорости метановыделения в лабораторных экспериментах в $1,3 \div 1,5$ раза на границе участков десорбции характеризует переход процесса фильтрации в область диффузии газа при термостатировании исследуемых углей со степенью отражения витринита $R_0=0,9 \div 0,7$ и температуре, соответствующей естественным условиям их залегания;
- продолжительность линейного процесса десорбции метана не превышает 10-25% общего времени газоистощения угольного керна и обуславливает возможность восстановления объема упущенного газа методом обратной экстраполяции на этом участке десорбционной кривой с последующими прямыми измерениями объема выделения метана из угольных проб в методике определения газоносности угля.

Научная новизна работы заключается:

- в обосновании параметров кернонаборника, позволяющего отбирать угольные керны с поддержанием естественной температуры угольного пласта, соответствующего натурным условиям его залегания;
- в развитии подхода к определению остаточной газоносности угля, основанного на регистрации границ газокинетических процессов десорбции метана из угля и обеспечивающего поддержание в лабораторных измерениях термодинамического равновесия, которое соответствует естественным условиям залегания угольного пласта при отборе из него кернов;
- в обосновании прямого метода определения газоносности угля при отборе угольных проб из скважин, пробуренных в углепородный массив из горных выработок шахт, который позволяет корректно определить объем упущенного газа.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

- значительным объемом проведенных лабораторных исследований 160 проб, отобранных из угольных пластов № 48, 50, 52, 70, Бреевский, Поленовский и Байкаимский в Кузнецком угольном бассейне;
- положительными результатами апробации методики определения газоносности угольных пластов в условиях действующих шахт Кузбасса;
- представительными объемами шахтных экспериментов и лабораторных измерений, удовлетворительной сходимостью геологоразведочных данных и значений газоносности угля, полученных на основе разработанного подхода.

Личный вклад заключается:

- в разработке и изготовлении кернонаборника для отбора угольных проб в технологических скважинах, пробуренных из горных выработок шахт;
- в анализе результатов теоретических и лабораторных исследований, направленных на определение скорости газовыделения для регистрации перехода линейного процесса фильтрации в нелинейную область диффузии газа;
- в организации и участии в проведении шахтных и лабораторных экспериментов по измерению объемов выделившегося метана из угольных проб, отобранных в горных выработках, внедрении полученных результатов на угледобывающих предприятиях Кузбасса для оценки газоносности угля;
- в разработке и апробации метода определения газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ.

Научное значение работы состоит в совершенствовании метода оценки газоносности угольных пластов на основе изучения макрокинетических процессов фильтрации метана в образцах угля, извлекаемых с применением пробуренных из горных выработок скважин с использованием шахтного кернонаборника.

Отличие от ранее выполненных работ заключается в обосновании подхода к оценке остаточной газоносности угля на основе процессов фильтрации метана и определении объема упущенного газа при извлечении угольных кернов из скважин, пробуренных в горных выработках шахт, в разработке и применении оригинальной конструкции керноборника, позволяющего поддерживать квазипостоянную температуру угольного пласта, соответствующую натурным условиям его залегания.

Практическая ценность работы заключается в возможности применения разработанной методики для определения газоносности и оценки эффективности дегазации угольных пластов, уточнения схем и параметров проветривания горных выработок. При этом полученные значения метаноносности могут быть использованы для установления критических глубин проявления и энергетической возможности внезапных выбросов угля и газа.

Реализация результатов работы в промышленности. Основные положения разработанного подхода изложены в методике ФР.1.292010.07454 «Определение газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ», зарегистрированной в Федеральном реестре методик, и использованы при выполнении научно-исследовательских работ по «Определению газоносности угольного пласта «Байкаимский» на шахте «Заречная» (2008 г.) и «Оценке газоносности угольных пластов в пределах выемочного столба 48-2 шахты «Ерунаковская-VIII» (2013 г.).

Апробация работы. Основные результаты докладывались и обсуждались на 2-й школе-семинаре молодых ученых России «Проблемы устойчивого развития региона» (Улан-Удэ, 2001); на совместном заседании Президиума КемНЦ СО РАН и Ученого совета Института угля и углехимии СО РАН, посвященного Дню Российской науки (Кемерово, 2002); на научно-

технической конференции «Шахтный метан: прогноз, управление, использование» (Кемерово, 2002); на I Международной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 25-летию ИПКОН РАН «Проблемы освоения недр в XXI веке – глазами молодых» (Москва, 2002); на V Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности предприятий в угольных регионах» (Кемерово, 2002); на международной конференции «The International Coalbed Methane Symposium» (США, Таскалуза, Алабама, 2003); на VIII Всероссийской научно-практической конференции (Томск, 2004); на научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности» (Кемерово, 2010); на молодежной конференции «I-ые Усовские чтения в Кузбассе» (Кемерово, 2010); на Международном семинаре «Эффективные методы извлечения и переработки угольного метана» (Кемерово, 2011); на обучающем семинаре для сотрудников Ростехнадзора «Эксплуатация производств и объектов угольной промышленности» (Кемерово, 2011); на научном симпозиуме «Неделя горняка – 2011» (Москва, 2011); на международной научно-практической конференции «Подземные горные работы – 21 век» (Ленинск-Кузнецкий, 2013); на пятом научно-практическом семинаре «Добыча метана из угольных отложений. Проблемы и перспективы» ФГБОУ ВПО «Российский Государственный Университет нефти и газа имени И.М. Губкина» (Москва, 2014).

Публикации. По теме диссертации опубликована 21 печатная работа, в том числе 13 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ по специальности 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэродинамика и горная теплофизика».

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 112 страницах

машинописного текста, содержит 9 таблиц, 25 рисунков, список литературы из 126 наименований и 2 приложения.

Диссертационная работа написана на основе исследований, выполненных автором в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте угля Сибирского отделения Российской академии наук и на предприятиях ОАО «СУЭК-Кузбасс», ОАО «Объединенная угольная компания «Южкузбассуголь».

Автор выражает благодарность своему научному руководителю, д.т.н., профессору О.В. Тайлакову за помощь в выборе темы работы и за требовательность к качеству работы, а также коллективу Лаборатории ресурсов и технологий извлечения угольного метана Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института угля Сибирского отделения Российской академии наук за помощь в проведении шахтных и лабораторных экспериментов.

1. СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ ГАЗОНОСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ И ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ

1.1. Методы определения газоносности угольных пластов

Систематическое изучение газоносности угольных пластов Кузнецкого угольного бассейна получило свое развитие в середине 50-х годов прошлого столетия при разведке шахтных полей. В это время сконструированы первые керногазонаборники, разработана «Инструкция по определению газоносности и составлению карт прогноза газоносности угольных пластов при разведке шахтных полей», в которой представлены схемы размещения скважин в зависимости от структурно-тектонических типов месторождения, методика отбора угольных кернов и проведения лабораторных работ [1, 2]. Помимо опробования пластов керногазонаборниками проводили измерения и сопоставления данных по газообильности в качестве вспомогательных данных для уточнения изогоз. Первоначально перед геологоразведочными и научно-исследовательскими организациями стояла задача построения региональных карт прогноза газоносности. Начало развития методов определения газоносности угля можно отнести к 60-ым - 70-ым годам прошлого столетия [2]. Развитие технологий добычи угля вызвало необходимость совершенствования методов определения газоносности угольных пластов. Информация о содержании газа в угольных пластах была необходима при проектировании и строительстве угледобывающих предприятий, планировании горных работ, разработке технологических решений при добыче угля. В 1977 г. опубликована «Инструкция по определению газоносности угольных пластов и вмещающих пород при геологоразведке», которая действует по настоящее время [3]. В инструкции из совокупности представленных методов определения газоносности угольных пластов выделяют два различных способа: прямой и ряд косвенных методов, рассмотренных ниже.

Прямой метод основан на отборе угольных кернов при бурении вертикальных скважин с поверхности в ходе геологоразведочных работ. При этом плотность сетки геологоразведочных скважин не всегда достаточна для оценки газоносности угольных пластов, а изогазы, построенные по этим значениям, значительно отличаются от фактической газоносности в пределах обрабатываемого участка (рис. 1.1).

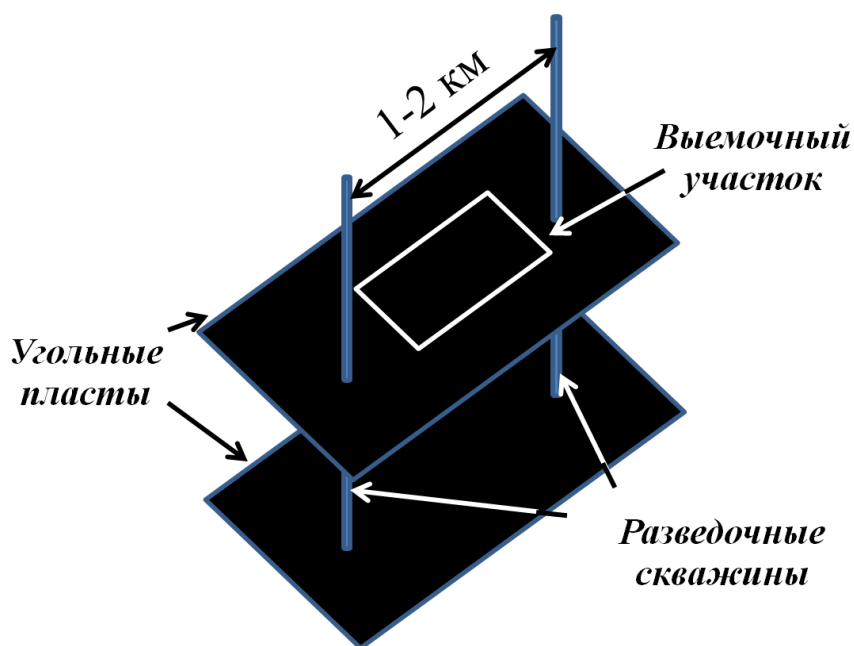


Рис. 1.1. Схема распределения геологоразведочных скважин на участке угольного пласта

Косвенные методы определения газоносности угля, как правило, основаны на прогнозе метанообильности участков угольных шахт в зависимости от горно-геологических условий и использовании данных фактического газовыделения. Однако газ выделяется в горные выработки с обнаженной поверхности угольного массива, выработанного пространства и пластов-спутников, что в свою очередь, усложняет локализацию источников метановыделения. Также к косвенным методам определения газоносности угля относят метод определения природной газоносности угольных пластов

по данным газовых съемок в горных выработках. Этот метод основан на использовании информации о газовых съемках и определении газового баланса выемочного участка шахты. Газовыделение вместе с остаточной газоносностью угля сопоставляется с объемом добываемого угля. Прямые методы определения газоносности при отборе угольных образцов из горных выработок шахт в основном используются для расчетов параметров дегазации и оценки эффективности противовыбросных мероприятий. При определении газоносности угля с помощью прямых инструментальных измерений необходимо выбуривать из пласта герметичные керны, а затем дегазировать их в лабораторных условиях [4-5].

Одним из перспективных направлений является развитие метода оценки газового состояния пласта по давлению газа в скважине или определение газоносности угля с помощью отбора угольных образцов. Определение газоносности по отобраным угольным образцам характеризуется меньшей трудоемкостью в сравнении с регистрацией давления, так как исключает операции установки приборов для его измерения, герметизации скважин и длительного наблюдения за нарастанием газового давления [5].

Погрешность определения давления газа зависит от качества герметизации скважин. В первую очередь определяют газоносность угля и затем рассчитывают по ней давление газа, когда требуется определить давление газа после дегазации [6]. При определении газоносности угольных пластов в США, Австралии, Германии, Китае и Франции широко применяются прямые методы исследования [7]. Так, во Франции разработан десорбционный метод определения газоносности, основанный на регистрации кинетики десорбции газа из угля. Шахты США не подвержены опасности внезапных выбросов, и результаты газоносности необходимы только на стадии разведки для оценки газового коллектора и получения значений газовыделения. Американские исследователи используют три подхода по изучению газоносности: метод Горного Бюро США (метод USBM), метод Сидла и метод Смита – Вильямса. Первый метод заключается

в измерениях давления газа и температуры в пробуренных скважинах из горных выработок или с поверхности, а сорбционная способность углей определяется в лабораторных условиях. Второй метод основан на отборе угольных кернов из пробуренных скважин и определении скорости десорбции угля. Оба метода основываются на уравнении диффузии [7, 8].

$$V(t) = V_{LD} \left(1 - \frac{6}{\pi^2} \exp\left(-\pi^2 \frac{D}{r^2} t\right) \right) - V_L, \quad (1.1)$$

где V_{LD} – суммарный объем упущенного и десорбированного газа;

V_L – объем упущенного газа;

D/r^2 – коэффициент диффузии.

Метод Смита – Вильямса основан на предположении, что давление газа уменьшается линейно в течение времени извлечения образца до его помещения в емкость. Исходя из этого, получено решение уравнения диффузии. Комплексное решение представлено в виде таблиц и графиков, которые связывают время и объем упущенного газа для поправочных коэффициентов. Коэффициент диффузии связан с характерным временем сорбции, которое используется другими исследователями соотношением

$$\tau = \frac{1,11 \times 10^4}{D/r^2}. \quad (1.2)$$

Коэффициенты учитывают время извлечения образца и нахождения его на поверхности до герметизации, а также время десорбции соответствует 25% объема газа [9]. Эти коэффициенты используются для определения корректирующего фактора, который умножается на объем выделенного газа, чтобы получить полное содержание газа в угле. Этот метод вполне применим и для исследования кернов.

Австралийский стандарт основан на методе медленной десорбции. В качестве динамики десорбции газа из нетронутых массивов угля проводятся измерения в течение периода времени, равного пяти суткам. Немецкий подход основан на получении угольных проб при помощи бурения в пласт из подземной выработки. В зависимости от состава газа газоносность может подразделяться, например, на содержание метана и содержание двуокиси углерода. Поскольку в большинстве случаев основной составляющей газа является метан, то термин «газоносность» обычно используется в значении «метаноносность» или «содержание метана» [10]. Пробы угля получают из угольного керна или из кусков угля, отобранных в горных выработках в ходе бурения в пласт.

В мире используются и косвенные методы определения газоносности, которые позволяют определить объем газа с помощью изотерм сорбции и давления [11]. Изотерма сорбции описывает аккумулированный объем метана как функцию давления при постоянной температуре. Сорбционная метаноемкость это количество сводного и сорбированного газа. При этом, сорбционная метаноемкость зависит от степени метаморфизма угля. Согласно уравнению Ленгмюра объем газа возрастает, асимптотически приближаясь к предельному значению [12 – 14].

1.2. Применение прямых методов определения газоносности угольных пластов в шахтных условиях

Для прогноза газообильности горных выработок, расчетов параметров дегазации и оценки эффективности противовыбросных мероприятий проведенные исследования ИГД им А.А. Скочинского показали, что определение газоносности прямым методом отбора угольных образцов в шахтных условиях гораздо оперативнее и дешевле, по сравнению с отбором кернов с поверхности [15-18]. При определении газоносности угля с помощью прямых инструментальных измерений необходимо выбуривать из

пласта герметичные керны, а затем дегазировать их в лабораторных условиях.

Эксперименты по использованию кернагазоноборников в шахтных условиях проводили исследователи таких научных коллективов как ФГБУН Институт проблем комплексного освоения недр РАН, ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Горный институт (МГИ), ФГБУН Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», ОАО «НЦ ВостНИИ». При этом, применяли различные конструктивные подходы в виде шахтных кернаборников. Однако предлагаемые герметичные шахтные кернаборники, например разработанные в ОАО «НЦ ВостНИИ» со сложной системой герметизации керна, не нашли применения, так как невысокая надежность срабатывания герметизирующего устройства ограничивала возможность их применения [16–19].

Коллективами этих организаций выполнен комплекс работ по обоснованию и разработке метода оценки газового состояния пласта по давлению газа в скважине, определению газоносности угля с помощью отбора угольных проб. Было установлено, что определение газоносности по отобраным угольным пробам является менее трудоемким процессом, чем определение давления. При этом погрешность определения давления газа зависит от качества герметизации скважин [20–23].

Например, разработанный ИГД им. А.А. Скочинского метод определения газоносности по газовыделению при бурении скважин основан на измерении объема газа, выделяющегося при бурении массы угольного штыба и газовыделения со стенки скважины. Газоносность угля на сухую беззольную массу на каждом метровом отрезке скважины определяется по формуле [24]:

$$X = X_0 + \frac{V - \frac{J_1 + J_2}{2} t_1 - J_2 t_2}{A_{ш}} \times \frac{100}{100 - A^c}, \text{ м}^3/\text{т} \quad (1.3)$$

где X_0 – остаточная газоносность штыба, $\text{м}^3/\text{т}$;

V – объём газа, выделившийся из скважины с момента начала бурения до момента стабилизации газовыделения, м^3 ;

J_1 – газовыделение из скважины перед бурением метрового отрезка, $\text{л}/\text{с}$;

J_2 – газовыделение из скважины после стабилизации, $\text{л}/\text{с}$;

t_1 – время бурения метрового отрезка, с ;

t_2 – время, прошедшее после окончания бурения до момента стабилизации газовыделения, с ;

$A_{ш}$ – масса штыба, кг ;

A^c – зольность штыба, %.

При этом установлено, что газовыделение после окончания бурения скважины резко уменьшается, а затем стабилизируется. Ниже приведено описание основных этапов установки контрольно-измерительной аппаратуры и герметизация скважин, пробуренных в угольный пласт из горных выработок. В пробуренную из горных выработок скважину устанавливаются контрольная трубка, на внешнем конце которой присоединяется сбросной кран, а также измерительная трубка, на внешнем конце которой устанавливается манометр для регистрации восстановления давления (рис. 1.2).

После размещения контрольно-измерительной аппаратуры выполняется герметизация скважины для изоляции замерной камеры. Этап регистрации и восстановления давления в скважине заключается в следующем. После размещения оборудования и герметизации скважины перекрывается

сбросной кран для восстановления давления в замерной камере. В течение этого времени регистрируются изменения показаний давления.

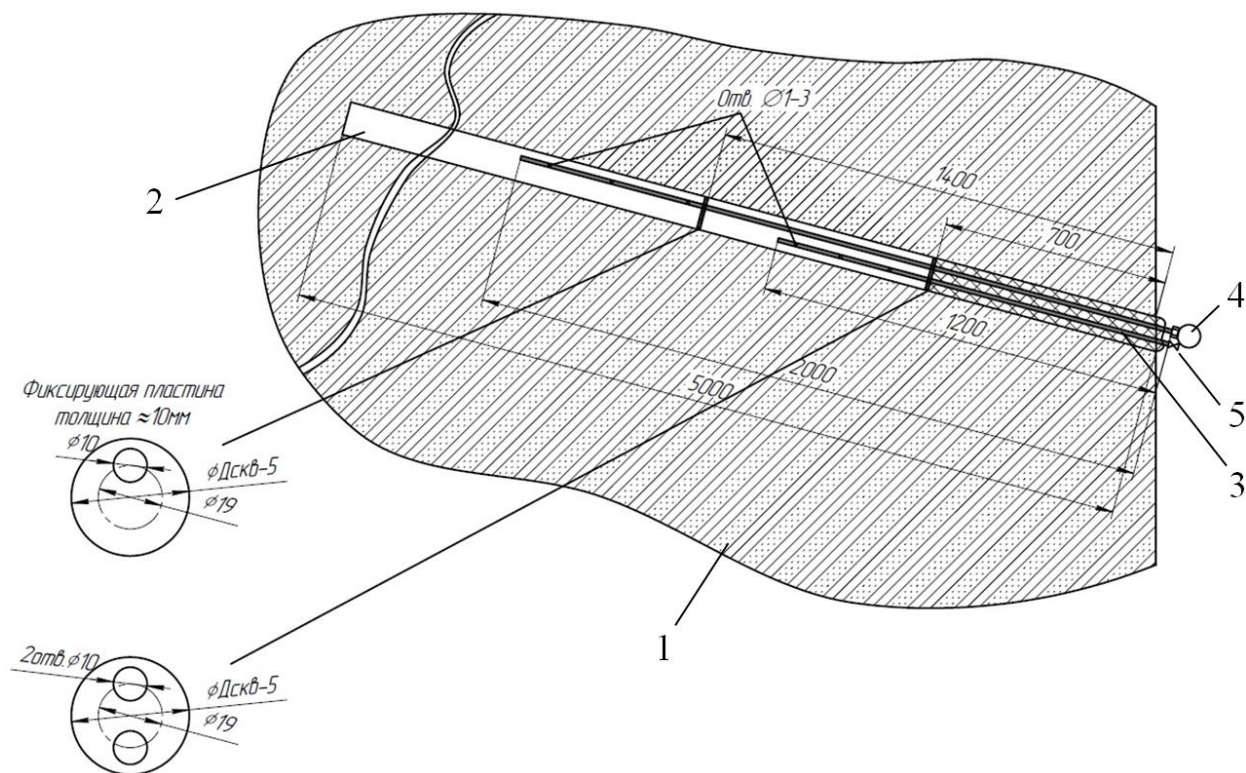


Рис. 1.2. Схема расположения контрольно-измерительной аппаратуры в скважине (1 – угольный пласт; 2 – замерная камера; 3 – трубка; 4 – манометр; 5 – сбросной кран)

Недостатками указанного способа являются низкая точность и высокая трудоемкость определения газоносности. Еще одним способом определения газоносности угля в шахтных условиях является подход, заключающийся в отборе угольных проб из горных выработок и измерении газовыделения при свободном истечении газа [25, 26], который включает в себя два этапа. Первый этап заключается в том, что угольный образец приводят в сорбционное равновесие, затем угольную пробу открывают на время, равное интервалу между отторжением пробы угля от массива и началом измерения газовыделения из нее, после чего вторично измеряют газовыделение в течение времени, равного первому измерению газовыделения, а газоносность пласта определяют по формуле

$$X = X_0 + (Q_1 / Q_2) \times (X' - X_0), \text{ м}^3/\text{т} \quad (1.4)$$

где X – газоносность пласта, $\text{м}^3/\text{т}$;

X_0 – остаточная газоносность отобранного угля, соответствующая атмосферному давлению, $\text{м}^3/\text{т}$;

X' – газоносность угля при сорбционном равновесии;

Q_1 и Q_2 – газовыделение при первом и втором измерениях, м^3 .

Представленный подход осуществляют следующим образом. От массива отторгают уголь и помещают в герметичный сосуд. К сосуду подключают расходомер и проводят измерения объема выделившегося газа за определенное время. При этом фиксируется время, прошедшее с момента отторжения пробы до начала измерения газовыделения из пробы. Затем сосуд с пробой насыщают известным количеством газа и герметизируют. После установления сорбционного равновесия пробу дегазируют для определения газоносности в состоянии сорбционного равновесия перед вторым измерением газовыделения X'' и остаточной газоносности X_0 .

Содержание газа в пласте определяют по известной газоносности, которую имела проба перед вторым измерением газовыделения, и объемам выделившегося из пробы газа во время первого и второго измерений. Основным недостатком этого способа является невысокая точность определения газоносности вследствие аппроксимации линейной зависимостью кривой изменения содержания газа в пробе во времени дегазации.

Способ, представленный в работах ИГД им. А.А. Скочинского, включает отбор нескольких угольных проб из одной скважины, герметизацию этих проб через известные интервалы времени, определение газоносности угольных проб путем их дегазации. По установленной

газоносности проб и соответствующему каждой пробе времени определяются зависимости газонасности проб от времени прошедшего с момента отбора до момента герметизации керна [27]. Так, например, в работах ИГД им. А.А. Скочинского представлен прямой метод оценки газонасности угля по отобраным угольным образцам из горных выработок с помощью кернонаборника открытого типа, позволяющий определять объем упущенного газа. Принцип метода заключается в определении зависимостей величины потерь газа от времени по измерениям выделившегося объема газа истечения газа из одной пробы, оставленной незагерметизированной. Упущенный объем газа при отборе угольных образцов в шахтных условиях определяется путем обратной экстраполяции этой зависимости до нулевых значений времени. Обработкой экспериментальных данных определяется положение соответствующей прямой, у которой угловой коэффициент наклона k связан с диффузионным параметром D/R^2 , а отрезок отсекаемой оси дает значение логарифма. Использование зависимости скорости десорбции газа из угольного образца от времени, полученной другими исследователями, используется для определения объема упущенного газа:

$$\beta = \frac{d}{dt} 6m \sum_{i=1}^{\infty} \exp\left(\frac{\pi^2 i^2}{\alpha} t\right) \int_0^t \exp\left(\frac{\pi^2 i^2}{\alpha} \tau\right) \phi(P) d\tau, \quad (1.5)$$

где β скорость десорбции метана, м/с

m – масса дегазируемого угля, кг;

α – коэффициент скорости десорбции, с;

t – время, с;

ϕ – изотерма сорбции;

i – длина исследуемого участка, м;

P – давление газа, Па.

Полученное выражение рассматривали как форму связи газоносности угольных проб с продолжительностью бурения и герметизации с коэффициентами, устанавливаемыми с помощью обработки экспериментальных данных методами регрессионного анализа. Далее значения газоносности угля отождествляют со значениями коэффициентов регрессионной зависимости эквивалентной экстраполяции этой зависимости на продолжительность отбора проб, равных нулю. Корректность такой экстраполяции определяется степенью теоретической обоснованности вида аппроксимирующей зависимости [28].

Одним из важных этапов обеспечения безопасной работы угольных шахт является оценка эффективности дегазации угольных пластов. Оценка эффективности дегазации необходимо проводить на основе прогнозных значений газоносности угля, полученных в процессе геологоразведочных работ, а также уточнять эти данные при строительстве и эксплуатации шахты. В Кузбассе коэффициент извлечения газа из угольных пластов составляет в среднем 0,15-0,17, а на шахтах, где проводится дегазация – 0,23-0,26 [29].

Для оценки эффективности дегазации необходимо определять остаточную газоносность до и после проведения дегазации на подготовленном к отработке выемочном столбе. Исследования, испытания и измерения должны проводиться по утвержденным методикам и соответствующим требованиям, утвержденным в установленном порядке, типовым методическим указаниям по испытаниям и измерениям. При этом методы должны предусматривать меры по обеспечению безопасного проведения работ.

Аналитический обзор существующих методов определения газоносности угольных пластов показал, что одним из наиболее распространенных является прямой метод, основанный на отборе угольных образцов при проведении геологоразведочных работ, с последующим измерением содержания в них метана. При этом из-за низкой надежности

срабатывания специальных герметичных керногазонаборников применяют обычные устройства для отбора проб, а расчет газоносности проводится с учетом поправочных коэффициентов от 1,1 до 1,25 в зависимости от угольного бассейна, что в свою очередь приводит к снижению достоверности оценки объемов выделившегося газа [30–32]. При бурении геологоразведочных скважин применяют метод, основанный на использовании непрерывного газового каротажа выходящей из скважины промывочной жидкости. В шахтных исследованиях газоносность изучают по газовыделению при бурении скважин и по газовым съемкам в очистных и подготовительных выработках расчетными методами и не учитываются закономерности изменения фильтрационных свойств в углепородном массиве в результате ведения горных работ, обусловленные разгрузкой от горного давления вмещающих пород [33–36]. Для совершенствования подхода, позволяющего проводить оценку газоносности угля в пределах разрабатываемого участка, был выбран прямой метод, основанный на отборе угольных кернов из скважин, пробуренных в горных выработках шахт.

1.3. Физико-химические свойства, определяющие газоносность угля

Общими закономерностями, влияющими на изменение газоносности угля, как одной из характеристик газового состояния угольного пласта, является стратиграфическая глубина залегания пласта в направлении возрастания стадии метаморфизма угля [37–54]. Это зависимость связана с увеличением газового давления, которое может достигать предела на глубинах 800-900 м [55]. В зависимости от глубины залегания угольных пластов температура пород повышается, что приводит к снижению сорбционных способностей угля, несмотря на повышение газового давления. В работах И.Л. Эттингера проведены расчеты газоносности углей при условии поддержания термодинамических условий температуры и давления угольного пласта [56–60]. В представленной теории природная газоносность отдельного угольного

пласта формируется под влиянием региональных и местных геологических факторов. К региональным факторам, которые создают региональное распределение метана в угольных пластах, относят степень метаморфизма, глубину залегания угольного пласта и тектоническую структуру, глубину зоны газового выветривания. К местным факторам относят изменение петрографического состава в пределах пласта, структурные и текстурные колебания, трещиноватость, сложность, зольность, газопроницаемость и так далее. Местные факторы формируют зону разброса значений газоносности от среднего регионального значения. По мнению И.Л. Эттингера, сложность в количественной оценке степени влияния каждого местного фактора заключается в отсутствии эталонного значения каждой отдельно взятой пробы [61].

Проведенные исследования по оценке газоносности в Томь-Усинском районе Кузбасса позволили выявить общие закономерности изменения газа, содержащегося в угольной толще, и факторы, влияющие на характер изменения газоносности угля [62]. Основными факторами изменения природной газоносности угля являются структура, стратиграфическая глубина залегания пластов, литология вмещающих пород, зависимость метаморфизма и петрографического состава углей [63–65].

Одной из основных характеристик, определяющей содержание газа в угле, является метаморфизм. Это процесс изменения внутреннего строения, химического состава и физических свойств ископаемых углей под действием физико-химических факторов - температуры и давления, развивающихся в результате геологических процессов [65–66]. Изменения химического состава углей при метаморфизме находят наиболее простое выражение в постепенном возрастании процентного содержания углерода с одновременным уменьшением содержания водорода и кислорода в органическом веществе: от бурых углей к каменным и антрацитам. Также описывается изменения физических свойств углей: блеска, хрупкости, прозрачности в шлифах, интенсивности окраски петрографических

компонентов. Блеск угля усиливается от бурых углей к антрацитам. Хрупкость возрастает от бурых углей к каменным, достигая максимума в коксовых, а затем вновь падает к антрацитам [66]. Прозрачность в тонком шлифе (0,03 мм) падает от бурых углей к каменным, весьма слабо проявляясь в коксовых углях [67]. Степень метаморфизации угля выражается некоторыми характерными показателями химического состава, такими как оптические и физические свойства, способностью люминесцировать из-за петрографических особенностей угля. В зависимости от метаморфизма угольного вещества природная газоносность равномерно увеличивается в пластах, сложенных бурыми и каменными углями [68].

При решении ряда важных задач геомеханики рассматривается напряженно-деформированное состояние и фильтрация газа и жидкости через массив горных пород. При этом система трещин может выступать в первом случае в качестве показателя напряженно-деформированного состояния, а во втором является одной из важнейших характеристик при определении проницаемости масс горных пород. Основными закономерностями изменения газоносности угля по глубине и площади является газовая зональность, которая определяется в четырех зонах: азотно-углекислых, азотных, азотно-метановых и метановых газов. Первые три зоны объединяются в зону газового выветривания, так как метаносность горных выработок в этой зоне не превышает $3 \text{ м}^3/\text{т}$ или 75 м от поверхности, таким образом, для проветривания горных выработок, влияющих на производительность добычи угля, метан не оказывает [69].

Мощность зоны газового выветривания при различных горно-геологических условиях может изменяться от первых метров до 300-500 м и характеризоваться резкой изменчивостью на небольшом расстоянии. Основное количество шахт работает в зоне метановых газов. Исходя из этого, учитываются условия отработки угольных пластов по газовому фактору. В состав верхней зоны входят два основных компонента – углекислый газ и азот, содержание которых изменяется от 20 до 80%. Помимо этих

компонентов всегда имеются тяжелые и легкие редкие газы; суммарное содержание тяжелых газов не превышает 1,5 % и легких - 0,001 %. Метан обнаруживается в количествах не выше 10 %. В пределах зоны азотно-углекислых газов изменение их состава с глубиной заключается в том, что абсолютное содержание углекислого газа равномерно снижается. Процентное содержание азота увеличивается с глубиной так же, как и тяжелых редких газов [70–71]. Можно сделать вывод, что к основным природным факторам, оказывающим влияния на миграцию метана в углепородном массиве, относят геогидрологические условия месторождения, и сорбционные характеристики угля.

1.4. Состояние и свойства газоносного угольного пласта

При проведении горных работ происходит нарушение целостности углепородного массива, в результате которого инициируется процесс массопереноса метана – его миграции в область пониженного давления (рис. 1.3) [72]. В работах [73–75] газовыделения в горные выработки рассматривали с позиции теории фильтрации. В основу исходных уравнений были положены представления о том, что метан в угольном пласте фильтруется в пористой среде вследствие разности давления газа, а сорбционный объем угля является дополнительным источником газа. Скорость десорбции метана принимается бесконечно большой и считается, что при снижении давления, газ мгновенно переходит из сорбционного состояния в свободное пространство угольной матрицы. Эти допущения не учитывали сопротивления мелких пор переносу метана в угле. Миграция метана в углепородном массиве может происходить на значительное расстояние в результате фильтрации, движения подземных вод, содержащих растворенные газы, а также диффузионных процессов. Метан мигрирует по средствам фильтрации и диффузии в зависимости от физико-химических и геологических условий [76].

Распределение газов в угленосных отложениях по глубине их залегания и площади распространения обусловлено степенью метаморфизма, гидрогеологическими и гидрохимическими условиями залегания. Поскольку условия миграции газов в антиклинальных и синклиналиных структурах не одинаковы, то и газоносность угля различна. Это означает, что газоносность угольных пластов изменяется в процессе проведения горных работ, нарушая существующее равновесие газодинамических процессов [77].

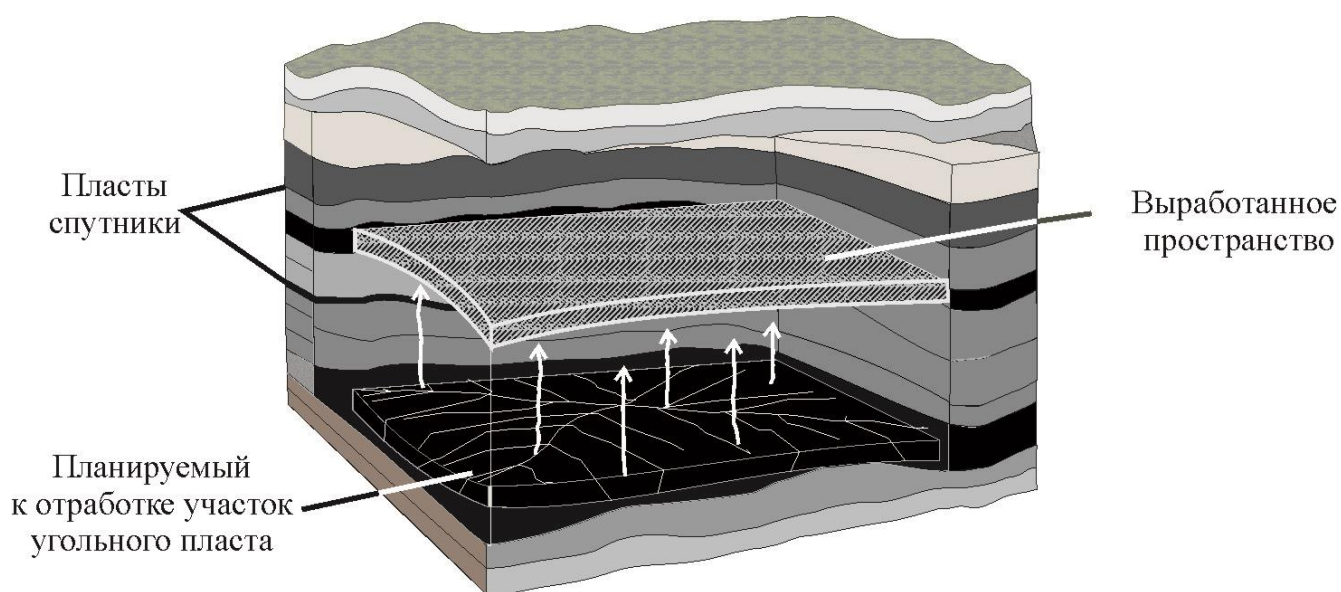


Рис. 1.3. Схема миграции метана в углепородном массиве в результате отработки вышележащих угольных пластов

Решения теоретических задач определения количества десорбируемого газа при заданных термодинамических условиях были рассмотрены в обобщенных монографиях И. Ленгмюра, И.Л. Эттингера, С.И. Смолякова, Г.Д. Лидина и целым рядом других работ отечественных и зарубежных исследователей. При изучении этих вопросов устанавливали зависимости сорбционных свойств угля от физико-химических характеристик, степени метаморфизма, температуры, петрографических свойств и других факторов, влияющих на скорость выхода метана из угля и количественных показателей.

В теории десорбции газа из угольного пласта описано, что связь молекул метана с углем определяется силами Ван-дер-Вальса, а его истечение из угольного пласта состоит из наложений двух процессов массопереноса, фильтрации и диффузии [77–99].

В кинетике десорбции метана наиболее информативными принято считать две ее фазы: начальную и заключительную. Согласно физике нестационарных процессов кинетика десорбции в начальной фазе должна определяться в значительной мере исходными параметрами равновесного состояния газа в системе уголь-метан [100].

Обнаружено, что в начальной фазе происходит эмиссия метана как свободного, так и адсорбированного [101]. Как описывается в работах [102–103], отличительной особенностью начального этапа десорбции является фильтрация газа в открытых порах угля, а второй этап отличается большой продолжительностью и слабой интенсивностью выделения газа. Предполагается, что на втором этапе газоистощения угля, переходные процессы завершены, и кинетика десорбции полностью определяется текущим содержанием газа в угле, размером куска угля и его структурой. В этой фазе газ выделяется путем диффузии из блоков, поступает в открытые поры и трещины, испытывает эффект фильтрации [104].

Массоперенос метана по системе открытых пор, трещин и каналов, сообщающихся с внешней поверхностью угольного пласта, происходит путем фильтрации, движущей силой которой является градиент давления газа, который характеризуется процессом фильтрации и может быть описан уравнением Дарси:

$$K = \frac{Q \times r \times L}{\Delta P \times F}, \text{ м}^2 \quad (1.6)$$

где Q – объем расхода газа в единицу времени, $\text{м}^3/\text{с}$;

K – коэффициент проницаемости, м^2 ;

F – площадь поперечного сечения пористой среды, м^2 ;

ΔP – перепад давления, Па;

L – длина пористой среды, м.

Скорость диффузии выражается первым или вторым законом Фика [105]. Первый закон Фика относится к тому случаю, когда распределение концентрации метана в угле остается неизменным во времени. Массоперенос метана по системе открытых пор, трещин и каналов, сообщающихся с внешней поверхностью угольного пласта, происходит путем фильтрации. Процесс переноса молекул метана из области с высокой концентрацией в область с низкой концентрацией является диффузией и описывается вторым законом Фика, который учитывает пространственное и временное изменения концентрации метана в зависимости от температуры [105]. Процесс диффузии метана, находящегося в сорбированном состоянии на внутренних поверхностях или в целых блоках угля, характеризуется кнудсеновским течением. Состав угольного вещества, находящегося в тесной связи с молекулами метана, определяется степенью метаморфизма, глубиной залегания и геофизическими факторами [106–108]. Таким образом, определяется теоретическая форма связи газоносности отбираемых для исследования угольных образцов с параметрами, характеризующими скорость дегазации пробы и условия ее отбора, позволяющая определить зависимость объема упущенного газа от времени.

Объемная скорость фильтрации определяется по формуле:

$$Q = \frac{rS(P_1^2 - P_2^2)}{2\mu h}, \text{ м}^3 \quad (1.7)$$

где Q – количество газа (м^3), проходящего в одну секунду через породу; отнесенное к нормальному давлению;

r – коэффициент проницаемости мДа;

S – площадь поперечного сечения, м^2 ;

P_1 и P_2 – парциальное давление на входе и выходе пористой среды, кг/м^2 ;

h – мощность угольного пласта, м (рис. 1.4.);

μ – абсолютная вязкость, сП .

Q, P_1, P_2, h, S и μ , – коэффициенты проницаемости Дарси

$$r = \frac{\pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \text{ м}^3 \quad (1.8)$$

$$r = \frac{Q^{2\mu\pi}}{S(P_1^2 - P_2^2)}, \text{ м}^3 \quad (1.9)$$

Согласно первому закону диффузии, масса вещества dm через поперечное сечение dS .

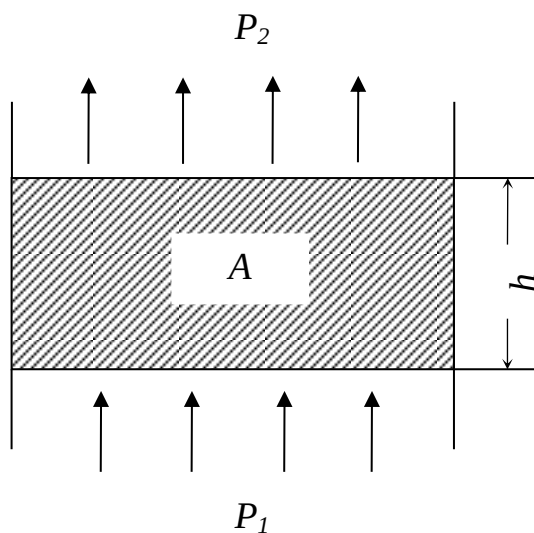


Рис. 1.4. Одномерная фильтрация газа

$$dm = -D \frac{dc}{dz} dS \times dt, \text{ м}^3 \quad (1.10)$$

где D – коэффициент диффузии, м;

c – концентрация, г/м³;

$\frac{dc}{dz}$ – градиент концентрации м³.

Таким образом, по коэффициенту диффузии метана можно определить количество газа, диффундирующего в единицу времени при определенных значениях S и h , если учитывать реакцию на мгновенное изменение давления у внешней границы угольного образца.

Особенность явления истечения метана из угольного пласта состоит в наложении двух процессов массопереноса:

1. Фильтрация газа через систему открытых каналов, трещин и пор;
2. Диффузия метана из твердого блока в фильтрационный объем.

Процесс газопереноса в блочно-трещиноватой структуре угольного пласта можно представить в качестве комбинации движения газа по законам диффузии внутри блоков (закон Фика) и вязкого течения по фильтрующим порам и трещинам внутри блоков (закон Дарси). Скорость протекания этих процессов зависит от газопроницаемости угольного пласта K , коэффициента диффузии D , пластового давления $P_{пл}$ с учетом того, что основная масса газа находится в сорбированном состоянии (до 70-80%) [105].

В угольном пласте метан находится в сорбированном (связанном) состоянии. Известно, что значительная часть порового пространства угольных пластов представлена порами размером от 1 до 10 нм, где осуществляется капиллярная конденсация и диффузия газа, а также порами размером от 10 до 100 нм (кнудсеновские поры), где имеет место медленная ламинарная фильтрация газа при диаметре молекулы $CH_4=0,416$ нм [107]. Скорость диффузии газа в угле может достигать $D_m \sim 10^{-11}$ см²/с, что требует значительного времени [107–108]. В макропорах процесс массопереноса происходит несколько быстрее, где интенсивная ламинарная фильтрация, и только в условиях видимых пор и трещин имеет место смешанная

ламинарная и турбулентная фильтрация. Такая матричная структура угля предопределяет значительные по времени процессы газопереноса метана из угольной матрицы к трещинам и скважине [109].

Кинетика десорбции метана происходит при падении давления в фильтрационном пространстве, сорбированный газ начинает перемещаться в свободные каналы и включается в процесс фильтрации, причем это происходит не мгновенно, что требует некоторого времени. По мере фильтрации давление газа в фильтрационном объеме снижается, что приводит к возникновению термодинамических условий десорбции метана из блоков в фильтрационный объем посредством диффузии. Фильтрация осуществляется по субмакропорам, поровым каналом и частично открытым микротрещинам, которые в совокупности составляют «фильтрационное пространство». Движение газа в нем происходит под влиянием градиента давления, а определяющим параметром является проницаемость. Еще одним фактором, влияющим на газоносность угольных пластов, является степень метаморфизма углей, которая характеризуется неравномерным распределением газов [110]. Таким образом, метан в угленосной толще может мигрировать на значительные расстояния, благодаря фильтрации, движению подземных вод, содержащих растворенные газы, а также в результате диффузионных процессов. Поэтому для формирования массивов данных, которые дополняют и/или уточняют информацию о метаноносности, полученную с помощью известных методов, необходимо разработать, обосновать и практически внедрить подход, основанный на применении фундаментальных закономерностей фильтрации и диффузии метана для обработки и интерпретации результатов регистрации макрокинетических процессов его десорбции из угольных проб, которые извлекаются с помощью скважин, пробуренных из горных выработок в угольный пласт с применением кернонаборника.

В связи с этим целью диссертационной работы является разработка и обоснование метода оценки остаточной газоносности угольных пластов с

учетом динамики процессов фильтрации и диффузии метана на основе определения его содержания в кернах, обеспечивающего контроль эффективности дегазации углепородного массива.

Задачи исследований:

- обосновать технологические параметры устройство для отбора угольных образцов в скважинах, пробуренных из горных выработок угольных шахт;
- определить границы участков процесса десорбции, соответствующих изменению скорости фильтрации при метановыделении из угольных проб, для формирования лабораторных термодинамических условий, обеспечивающих достоверную оценку газоносности угольных пластов;
- экспериментально оценить кинетику газоотдачи угольных проб для разработки методики определения метаноносности угля при ведении горных работ.

2. РАССМОТРЕНИЕ МАКРОКИНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЕСОРБЦИИ МЕТАНА ИЗ УГЛЯ НА ОСНОВАНИИ ТЕОРИИ ФИЛЬТРАЦИИ И ДИФФУЗИИ

2.1. Разработка и испытание в шахтных условиях конструкции кернонаборника для отбора угольных проб

Аналитический обзор существующих методов определения газоносности угольных пластов показал, что одним из наиболее распространенных является прямой метод, основанный на отборе угольных образцов при проведении геологоразведочных работ, с последующим измерением содержания в них метана. При этом, из-за низкой надежности срабатывания специальных герметичных керногазонаборников применяют обычные устройства для отбора проб, а расчет газоносности проводится с учетом поправочных коэффициентов от 1,1 до 1,25 в зависимости от угольного бассейна, что приводит к снижению достоверности оценки объемов выделившегося газа. При бурении геологоразведочных скважин применяют метод, основанный на использовании непрерывного газового каротажа выходящей из скважины промывочной жидкости. В шахтных исследованиях газоносность изучают по газовыделению при бурении скважин и по газовым съемкам в очистных и подготовительных выработках расчетными методами. При этом не учитываются закономерности изменения фильтрационных свойств в углепородном массиве в результате ведения горных работ, обусловленные разгрузкой от горного давления вмещающих пород. Для совершенствования подхода, позволяющего проводить оценку газоносности угля в пределах разрабатываемого участка, выбран прямой метод, основанный на отборе угольных кернов из скважин, пробуренных в горных выработках шахты. При отборе угольных кернов из скважин в горных выработках угольных шахт важно определить время, затраченное на отбор керна, до момента его герметизации в сосуд. В работах [111–113] предлагается определять

газоносность угольного пласта с помощью зависимости газоносности от времени, прошедшего с момента отбора угольных образцов до момента их герметизации.

В процессе шахтных испытаний керноборника было разработано 3 варианта конструкций. Конструктивные отличия вариантов керноборника заключались в усовершенствовании деталей устройства для повышения скорости отбора угольных проб. Во время испытаний шахтного керноборника были выявлены недостатки, связанные как с конструктивными, так и с технологическими особенностями устройства. К конструктивным недостаткам в первых вариантах конструкции относились такие факторы как: затруднение при отсоединении керноборника от буровых штанг, что приводило к потере времени, необходимого для герметизации угля; затираание угольной пробы на торцевой части керноборника. Технологическим недостатком конструкции, выявленным в ходе исследований, был нагрев буровой коронки и керноотборной части и как следствие перегрев угольной пробы более чем на 100 % от температуры угольного пласта. Для охлаждения угольного керна в конструкцию была добавлена секция «керноприемная часть», что позволило подавать промывочную жидкость по стенкам керноприемника. Для этого в хвостовой части керноборника, предназначенной для крепления к буровым штангам, были сконструированы технологические отверстия для подачи охлаждающей жидкости. Известно, что интенсивность газовыделения в процессе отбора угольных проб, в основном, зависит от температуры и характера дифференциальной пористости угля, а общее количество выделившегося метана - от выхода летучих веществ. Поэтому опробования керноборника проводились на углях с разными физико-техническими характеристиками, а их эффективность оценивалась системой показателей

$$\begin{cases} B_K = \frac{h_k}{H_c}; \\ K_0 = \frac{d_k}{D_c}; \\ k_n = \frac{d_k}{h}. \end{cases} \quad (2.1)$$

Здесь B_K – вынос керна, м; K_0 – коэффициент кернообразования, м, предложенный проф. Д.Е. Брентли; k_n – коэффициент керноприема, м; h_k – расстояние от керноприема до забоя скважины, м; H_c – длина скважины, м; d_k – диаметр выбуриваемого керна, м; D_c – диаметр скважины, м; h – высота керноприема, м.

В табл. 2.1 и на рис. 2.1 представлены результаты испытаний трех типов кернаборников с учетом временных характеристик выбуриваемых угольных проб, коэффициентом крепости угля, а также усредненными коэффициенты кернообразования $\overline{K_0}$, керноприема $\overline{k_n}$ и показателем вынос керна $\overline{B_K}$. Сопоставительный анализ показал, что преимуществами III типа кернаборник являются простота конструкции и наибольший коэффициент керноотбора (до 0,7).

Время выбуривания образца составляло 1200-1620 с при длине керна 0,3 м и его диаметре 0,062 м. С применением шахтного кернаборника III типа отобрано 85 угольных проб, по которым определялся объем выделившегося метана в зависимости от времени десорбции при нормальном давлении и температуре для образцов, имеющих разную стадию метаморфизма и физические свойства (дисперсную структуру, пористость).

Для кернаборника I типа усредненный коэффициент керноприема $\overline{k_n}$ ниже на 10 -15 % в сравнении с кернаборниками II и III типа.

Таблица 2.1

Результаты испытаний кернонаборников при выбуривании проб на углях с коэффициентом крепости $f = 0,7-2,2$ по шкале проф. М.М. Протоdjeяконова

Тип шахтного кернонаборника	Марка угля	Время выбуривания пробы, T_d , мин	K_o	$\overline{K_0}$	k_n	$\overline{k_n}$	B_k	$\overline{B_k}$
I	КС	20-30	0,50	0,58	1,52	1,48	67	70
	ДГ	12-20	0,56		1,45		72	
	Г	10-15	0,7		1,48		70	
II	КС	18 – 20	0,35	0,55	1,46	1,54	70	70,6
	ДГ	26 - 27	0,62		1,58		70	
	Г	13 - 14	0,7		1,6		72	
III	КС	17 - 19	0,45	0,60	2,0	2,08	75	78,3
	ДГ	25 - 27	0,65		2,1		80	
	Г	10 - 13	0,7		2,14		80	

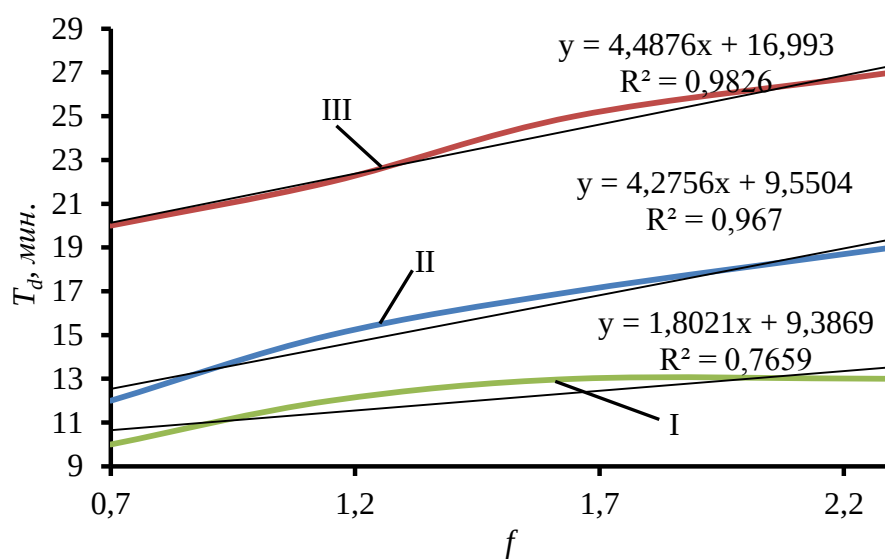


Рис. 2.1. Зависимость времени выбуривания T_d угольной пробы от коэффициента крепости угля f , полученная в шахтных условиях для угля марки ДГ при использовании кернонаборников I-III типа

Время выбуривания с применением кернонаборника III типа выше, что снижает влияние эффекта затирания и перегрева угольной пробы на сохранение целостности ее структуры. В конструкции кернонаборника II предусмотрен внутренний цилиндр для набора проб, что позволяет подавать промывочную жидкость через буровые штанги и тем самым охлаждать стенки кернонаборника при выбуривании угольных кернов.

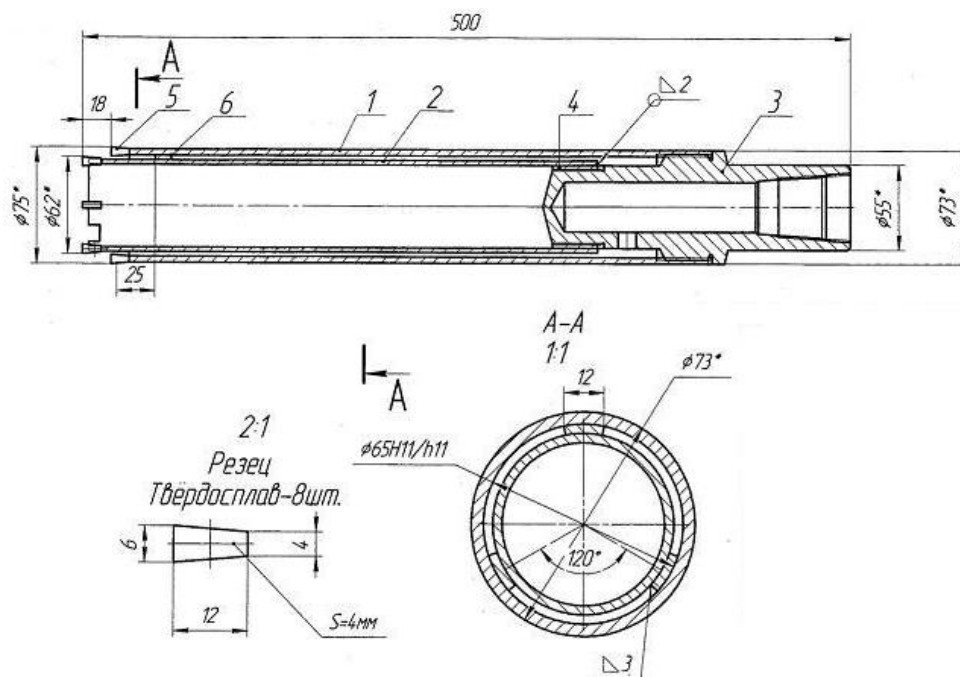


Рис. 2.2. Кернонаборник для отбора и транспортировки угольных проб:

- 1 – наружный цилиндр; 2 – кернонаборная часть;
- 3 – хвостовик для крепления к буровым штангам; 4 – резьбовое соединение;
- 5 – буровая коронка; 6 – центрующий блок

При этом скорость выбуривания образца составляет 720-1200 с при длине керна 0,3 м и $\varnothing$ 0,062 м. В III варианте усовершенствованы коронки на внутреннем и наружном цилиндрах кернонаборника, что обеспечило скорость выбуривания 1200-1620 с. С вероятностью 0,17 отношение объемов отбираемых проб угля и внутренней полости кернонаборника составляет 0,98. На рис. 2.2 представлена конструкция шахтного кернонаборника III типа, предназначенного для отбора проб из углепородного массива на любом

произвольном расстоянии от борта горной выработки. Подача кернонаборника вглубь массива осуществляется с помощью буровых штанг через скважину, пройденную буровым станком.

В состав устройства для отбора угольных кернов входит три узла: корпус, керноприемная часть и хвостовик, которые соединены между собой двухзаходными резьбовыми соединениями. В конструкции кернонаборника предусмотрены отверстия для подачи охлаждающей жидкости, поступающей через буровые штанги. Для данного типа кернонаборника обобщен принцип действия механического устройства, основанный на отборе керна при помощи буровой коронки, которая разрушает породу по радиусу скважин. Герметизация керна осуществляется в торце керноприемной части механизма длиной 20-50 мм, которая образуется непосредственно в забойной части скважины. Этот фрагмент керна удаляется и не используется в дальнейших измерениях. В процессе шахтных испытаний установлена необходимость увеличения времени выбуривания на 480-600 с и снижения частоты вращения бурового инструмента до 0,83 об/с, так как при интенсивном вращении кернонаборника 1,3-1,5 об/с происходит нагрев пробы до 70 °С.

На основании того, что при отборе кернов для оценки газоносности угля критичным является время извлечения пробы в связи скоростью диффузии газа из угля равной 0,6 м/с, в конструкцию III варианта кернонаборника внесены изменения резьбовой части трех узлов: корпуса, керноприемная часть и хвостовика. Все три части связаны между собой двухзаходными резьбовыми соединениями. Это позволило сократить время с момента поднятия керна на поверхность до герметизации пробы в сосуде с 300 с до 60 с. На рис. 2.3 представлены II и III вариант разработанной конструкции шахтного кернонаборника.

Технические характеристики шахтного кернонаборника:

- 1 – наружный цилиндр кернонаборника Ø 0,074 – 0,09 м;
- 2 – кернонаборная часть Ø 0,06 м;

- 3 – хвостовик для крепления к буровым
штангам $\varnothing 0,074 - 0,09$ м;
4 – резьбовое соединение $\varnothing 0,052 - 0,07$ м;
5 – отверстия для промывочной жидкости $\varnothing 0,01$ м;
6 – длина кернонаборной части 0,2 м.



а)



б)

Рис. 2.3. Экспериментальные образцы устройства для отбора угольных кернов – «Шахтный кернонаборник»: а) II вариант; б) III вариант

В результате шахтных испытаний II варианта кернонаборника были выявлены и устранены недостатки конструкции. Это позволило разработать усовершенствованную конструкцию шахтного кернонаборника открытого типа (III вариант) для отбора угольных проб из горизонтальных скважин диаметром $0,074 - 0,09$ м с сохранением термодинамических условий и в дальнейшем определять характер кинетики газоистощения угольных проб на основе прямых измерений, а также формировать данные о газоносности угольных пластов. Результаты анализа керна обычно представляли в табличной форме, как показано на (рис. 2.4).

Скважина №:	1	Вес образца, г:	1108	
Предприятие:	Шахта «А»	Содержание золы, %	15	
Район:	# 1	Содержание влаги, %	0,68	
Участок:	# 2		Дата	Время
Точка отбора:	1	Начало бурения:	18.12.14	17:40:00
Интервал, м:	350-355	Начало отбора угольного штыба:	18.12.14	17:42:00
Градиент давления, Па/м:	8,33	Завершение отбора угольного штыба:	18.12.14	17:42:00
№ сосуда:	1	Герметизация сосуда:	18.12.14	17:43:00

Дата	Время, час:мин	Время десорбции		Объем газа, см ³	Суммарный объем газа, см ³	Температура в термостате, °C	Температура окружающей среды, °C
		t, час	$\sqrt{t}$				
19.12.14	9:15:00	0,03	0,2	125	125	21	21
19.12.14	17:00:00	7,78	2,8	260	385	47	25
19.12.14	22:54:00	13,68	3,7	22	407	50	15
20.12.14	8:50:00	23,62	4,9	45	452	53	15
20.12.14	17:00:00	31,78	5,6	150	602	67	15
21.12.14	16:27:00	55,23	7,4	78	680	69	15
22.12.14	12:51:00	75,63	8,7	20	700	69	17

Рис. 2.4. Фрагмент журнала лабораторных измерений

При этом оперативность отбора, информативность прямого определения газоносности угольных пластов, позволяет эффективно исследовать неосвещенные колонковым бурением интервалы, а также изменения процесса дегазации углепородного массива на основе газодинамического состояния пласта.

2.2. Кинетика десорбции метана из угля

В процессе ведения горных работ происходит нарушение целостности углепородного массива, что инициирует процесс массопереноса метана – его десорбцию в область пониженного давления. В настоящее время известны различные методы экспериментального определения интенсивности выделения газа из угольного пласта и отбитого угля [114–117]. Однако при

расчетах интенсивности газовыделения из отбитого угля не учитываются особенности его микроструктурного и петрографического состава углей. На практике даже при одинаковых горно-геологических параметрах пласта и равной скорости подвигания забоев, при прочих равных условиях, интенсивность газовыделения в горные выработки оказывается различной. Поэтому возникает необходимость установления связи между скоростью газоистощения угля и его характеристиками. При оценке газоносности угольных пластов с помощью прямого метода определяли объем упущенного газа в процессе отбора угольного образца. Так как при отборе угольных кернов давление газа в пробах снижается линейно в течение времени извлечения образца до его помещения в герметичную емкость, то на основе полученных зависимостей десорбции метана выделены временные участки с разными кинетическими характеристиками газовыделения.

Для определения эмпирической формы связи газоносности угольных проб со временем ее газоистощения проанализирована математическая связь фильтрации и диффузии метана. На основе фактических измерений процесс десорбции метана аппроксимировался пятью математическими функциями:

$$y = a_0 e^{(b_1 x)} \quad - \quad \text{экспоненциальная связь};$$

$$y = b_0 + b_1 \times \ln(x) \quad - \quad \text{логарифмическая связь};$$

$$y = b_0 + \frac{b_1}{x} \quad - \quad \text{гиперболическая связь};$$

$$y = b_0 + x^{b_1} \quad - \quad \text{степенная связь};$$

$$y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 \quad - \quad \text{параболическая связь}.$$

Здесь a_0 , b_0 ; b_1 ; b_2 ; – параметры регрессионных кривых; y – выделившейся объем газа; $x = \sqrt{t}$; t – время эксперимента, с.

Сравнение качества аппроксимации проводилось на основе обработки экспериментальных данных измерения газоносности угольных проб, отобранных с применением разработанного шахтного кернаборника на шахтах «им. С.М. Кирова», «Котинская», «Комсомолец», «№ 7», «Талдинская-Западная-2», «Заречная», «Полысаевская». Значения критерия Фишера, собственно характеризующего качество аппроксимации, составили 2,22 для экспоненциальной связи; 3,72 – логарифмической; 2,27 – гиперболической; 2,16 – степенной и 1,98 для параболической связи.

На основании этих результатов сделано заключение о том, что процесс десорбции газа удовлетворительно описывается логарифмической зависимостью при коэффициенте детерминации $R=0,9$ и может быть представлен как (рис. 2.5)

$$f(x) = \begin{cases} a_1 + b_1 x; & x \in [x_0; x_{diff}] \\ a_2 + b_2 \ln x; & x \in [x_{diff}; x_n] \end{cases} \quad (2.2)$$

где $a_1; b_1; a_2; b_2$ – параметры; $x_0 = 0$; n – количество измерений; x_{diff} – начало диффузии; $[x_0; x_{star}]$ – интервал экстраполяции; $[x_{star}; x_{diff}]$ – процесс фильтрации (закон Дарси); $[x_{diff}; x_n]$ – процесс диффузии.

В лабораторных исследованиях упущенный объем газа, характеризующий процесс отбора угольных проб, в течение которого выделяется не отбираемый в герметичный сосуд газ, определялся методом обратной экстраполяции в момент времени $x=0$. При этом объем выделившегося метана на интервале от x_{diff} до x снижается линейно, что характеризуется как процесс фильтрации. Таким образом, при обработке экспериментальных данных по формуле $y=kx+b$ можно определить положение соответствующей прямой. Объем выделившегося газа на втором участке кривой десорбции измерялся в пределах температур,

соответствующих природным условиям залегания пластов (20-30 °C). При этом в закрытых порах оставалось 30-70 % объема газа, что характеризует процесс внутренней диффузии газа.

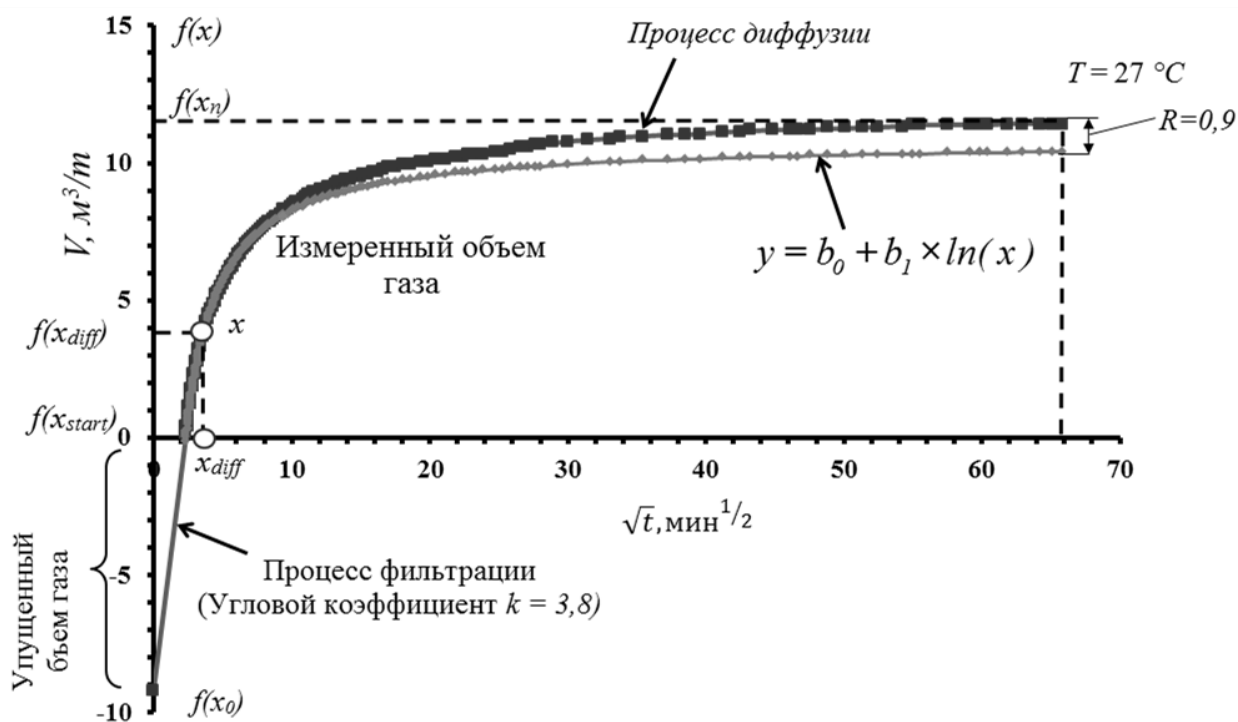


Рис. 2.5. Зависимость объема выделившегося метана V от функции времени

$$\sqrt{t}$$

В результате выполненных измерений установлено, что процесс диффузии и фильтрации газа через систему пор и трещин замедляется во времени. Так при температуре угля $T=20-30$ °C угля с показателями выхода летучих веществ $V^{daf}=37-43$ % время десорбции метана, находящегося в системе открытых пор и характеризующееся как процесс фильтрации газа, составило $t=300-600$ с, а при $V^{daf}=71-85$ %, $t=600-1200$ с. Кривая десорбции характеризует суммарный объем метана, выделившейся к моменту времени t газоистощения (900-1800 часов) исследуемой угольной пробы.

В общем случае скорость изменения давления газа зависит от температуры образца, размера гранул угля, его проницаемости и объема сосуда. Таким образом, установленные особенности газокинетического

процесса определяют возможность применения разработанной конструкции шахтного кернаборника для оценивания объема упущенного газа и последующего определения газоносности угольных пластов в условиях Кузбасса.

Упущенный объем газа характеризуется как процесс отбора угольных проб, в течение которого выделяли не отбираемый в герметичный сосуд газ. Этот объем упущенного газа определяли методом обратной экстраполяции в точке $x=0$ (здесь и далее $x = \sqrt{t}$, t – время десорбции метана из угольного образца). Линейный участок кривой десорбции характеризуется процессом фильтрации (рис. 2.6).

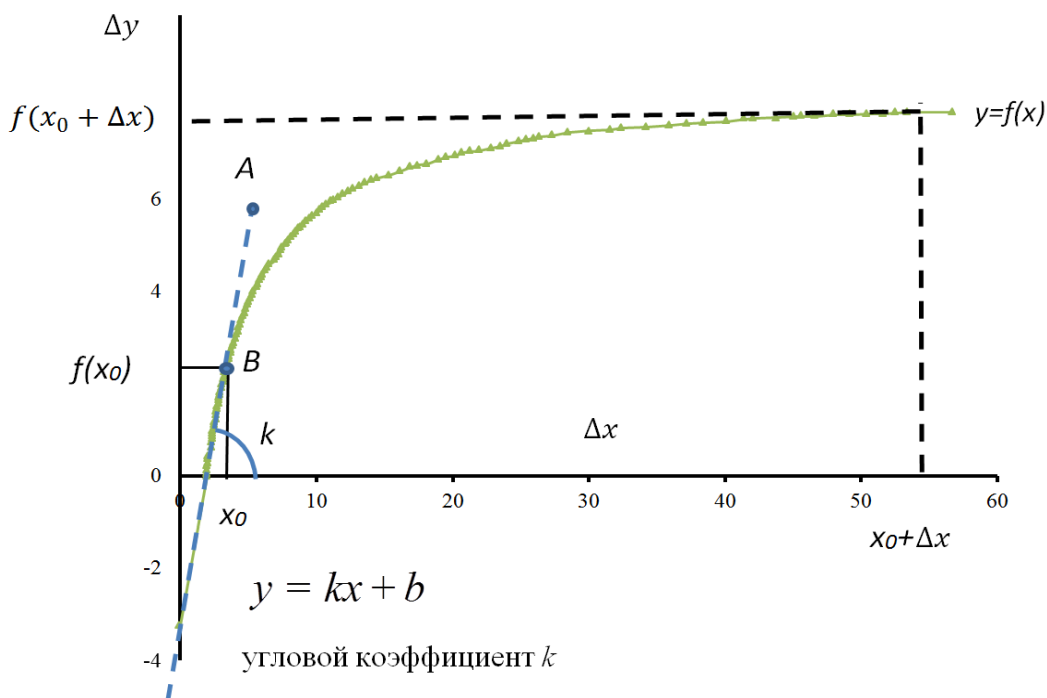


Рис. 2.6. Асимптотика функции газоотдачи метана из угля

Эта прямая в общем виде описывается уравнением $y=kx+b$, что позволяет количественно оценить объем газа, находящегося в угле в свободном состоянии. Для оперативной оценки газоносности угля был проанализирован коэффициент угла наклона десорбционной кривой, который показал, что чем больше значения углового коэффициента, тем больше

переходная фаза, в которой происходит смена роли механизмов выхода метана от фильтрации к диффузии.

Касательная АВ имеет вид

$$y=f'(x_0) \cdot x+b \quad (2.3)$$

$f'(x_0)$ – значение производной функции

$y=f(x)$ в точке с абсциссой x_0

$$y=f(x_0)+f'(x_0)(x-x_0) \quad (2.4)$$

Угловой коэффициент прямой равен тангенсу угла наклона, и тангенс угла $k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{f(x_B) - f(x_A)}{x_B - x_A}$, где x_A, x_B - абсциссы точек A и B , $f(x_A), f(x_B)$ – соответствующие значения функции. Для угля с показателями отражения витринита R_0 [0,7; 0,9] при температуре 20 °С угловой коэффициент k равен от 3,8 до 4,5, а для угля с показателями R_0 [0,7; 0,9] угловой коэффициент k составил от 1,2 до 3,5. Экспериментальные исследования и расчеты углового коэффициента показывают, что чем меньше значение коэффициента k , тем больше переходная фаза, в которой происходит смена ведущей роли механизмов выхода метана – от фильтрации к диффузии.

Регрессионную модель использовали для прогнозирования количества газа в угольных пластах. Качество аппроксимации экспериментальных значений при использовании разных зависимостей проводили с помощью обработки значений десорбции угольных проб, отобранных с помощью кернонаборника на шахтах: им. С.М. Кирова, Котинская, Комсомолец, № 7, Талдинская-Западная-2, Заречная, Полысаевская. Всего проанализировано 7 угольных проб. В качестве примера на (рис. 2.7) представлены результаты шахтных и лабораторных измерений, выделившегося объема газа и их

статистических показателей регрессионного анализа с нахождением всех необходимых констант с указанием критериев.

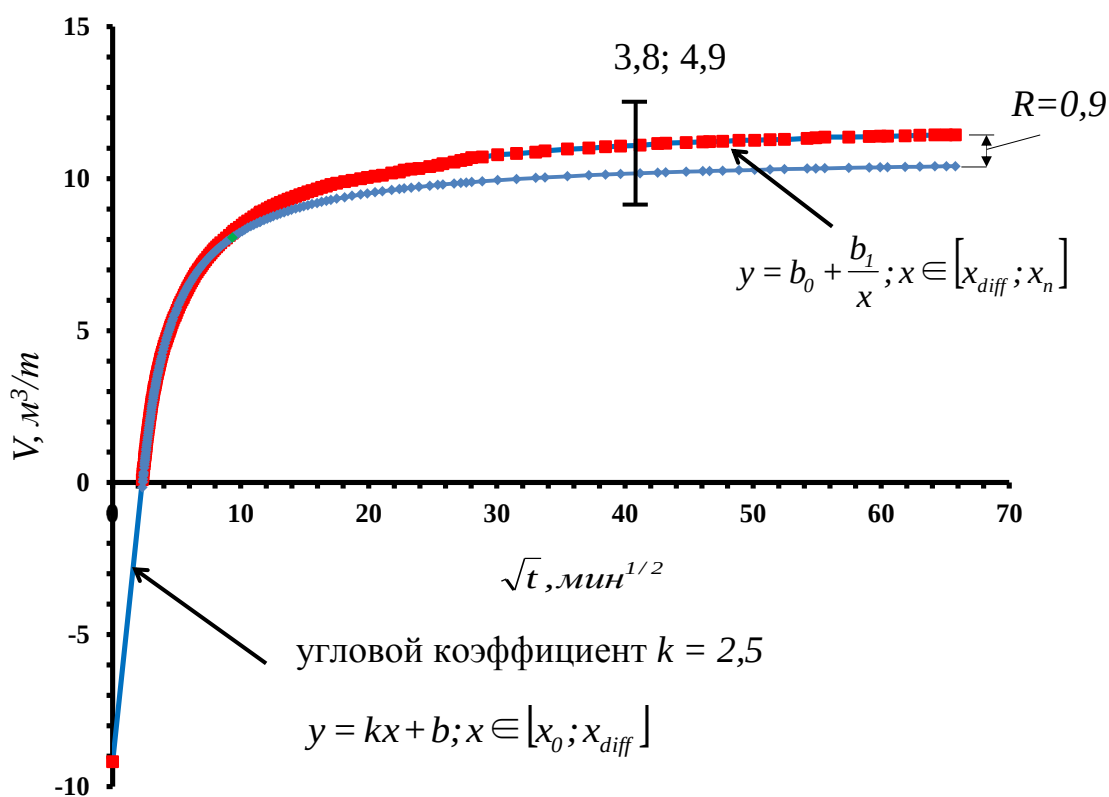


Рис. 2.7. Функция регрессии обратной связи и зависимость объема выделившегося метана V от времени $\sqrt{t}$ из угольного образца № 7

Для оценки пределов изменения значений коэффициентов и соответствующих их реальных показателей десорбции метана построили доверительные интервалы, соответствующие коэффициентам регрессии. Для пробы угля № 7 доверительный интервал соответствовал значениям объема выделившегося газа в пределах (3,7; 4,6), пробы угля № 8 доверительный интервал – (3,8; 4,9), пробы угля № 17 доверительный интервал – (3,5; 4,2), пробы угля № 18 доверительный интервал – (3,6; 4,7), пробы угля № 9 доверительный интервал – (3,8; 4,9), пробы угля № 11 доверительный интервал – (8,7; 6,4), пробы угля № 13 доверительный интервал – (9,9; 7,6).

Показателями адекватности регрессионной модели являлись коэффициент корреляции (R) и коэффициент детерминации, равный квадрату

коэффициента корреляции (R^2). Поэтому общий подход к проверке адекватности полученной модели заключается в нахождении значения суммы квадратов разностей между измеренными значениями объема выделившегося газа и регрессионными значениями модели переменной y . Из совокупности полученных 95% значений газоносности угля применив доверительный интервал, были получены пределы изменения коэффициентов регрессии, соответствующие реальным показателям содержания газа в угле. Основным показателем отклонений данных от математических функции, являлась сумма квадратов разностей теоретических и эмпирических значений, характеризующих газоносность угля. Чем этот показатель меньше, тем приближение лучше, следовательно, построенная математическая связь лучше описывает полученные значения при измерениях газоносности угля. Множественный коэффициент детерминации (0,9) можно интерпретировать следующим образом: на основе пяти математических функций, изменение объема выделившегося газа на 90% определяются временем, потраченным на десорбцию угольной пробы (табл. 2.2).

С помощью уравнения регрессии определена статистическая пригодность, позволяющая проводить анализ газоносности угля. Подобную оценку называют проверкой на значимость или адекватность [94]. F -критерий Фишера, уровень значимости модели, по которому можно судить о достоверности построенной связи расчетного и измеренного объема выделившегося газа из угольных проб.

$$F_{расч} = \frac{S_{од}^2}{S_{общ}^2} \quad (2.5)$$

$S_{од}$ – остаточная дисперсия, или дисперсия адекватности.

Для определения зависимости объема измеренного газа в первоначальный этап времени от угла наклона десорбционной кривой на линейном участке, характеризующегося как объем упущенного газа проведен

регрессионный анализ. Сравнение качества аппроксимации полученных зависимостей экспериментальных данных проводили на основе полученных значений газоносности отобранных угольных образцов.

Таблица 2.2.

Оценка множественного коэффициента детерминации R

№ угольного образца	Экспоненциальная связь	Логарифмическая связь	Гиперболическая связь	Степенная связь	Параболическая связь
7	0,299	0,996	0,898	0,578	0,821
8	0,321	0,995	0,905	0,610	0,831
17	0,359	0,975	0,940	0,665	0,891
18	0,348	0,980	0,941	0,642	0,874
9	0,321	0,965	0,951	0,729	0,902
11	0,393	0,971	0,944	0,707	0,924
13	0,412	0,976	0,925	0,718	0,915

В результате регрессионного анализа, проведенного по фактическим измерениям выделившегося газа из отобранных угольных образцов, установлено, что десорбция метана в течение определенного времени, начиная с процесса выбуривания образца до момента его герметизации, соответствует логарифмической модели при коэффициенте множественной детерминации $R = [0,8; 0,9]$.

В результате экспериментальных исследований по кинетике десорбции метана установлено, что при условии достаточно быстрого изменения температуры от 20-30 °C, газовыделение из углей в течение определенного времени происходит по логарифмической функции. При обработке экспериментальных данных в координатах $y = kx + b$ определяли положение соответствующей прямой. В ходе шахтных экспериментальных исследований проведена оценка газоносности угольных проб. Кривая десорбции

характеризует суммарный объем метана, выделившейся к моменту времени t из угольной пробы. В общем случае скорость изменения давления зависит от температуры образца, размера гранул угля, его проницаемости. Все испытания проводили на образцах одинаковой цилиндрической формы диаметром 0,027 м и высотой 0,2 – 0,23 м. Шахтные эксперименты, позволили обосновать и разработать параметры, определяющие скорость газоистощения при десорбции метана из угольных проб для формирования лабораторных термодинамических условий, обеспечивающих достоверную оценку газоносности угольных пластов. Достоверность полученных результатов газоносности угля определяли корректностью экстраполяции этих значений по степени теоретической зависимости, используемой для аппроксимации экспериментальных данных.

2.3. Оценка достоверности определения газоносности угольных пластов

Известно, что газоносность угольных пластов характеризуется показателями метаморфизма и выходом летучих веществ [118–121]. Для обеспечения достоверности и взаимосвязи между характеристиками углей и полученными результатами газоносности угля проведена верификация измеренных значений газоносности угля (табл. 2.3).

Предложенный подход верификации позволяет при наличии данных о степени отражения витринита и выходе летучих веществ подтверждать фактические значения газоносности угля. Для оценки влияния петрографических свойств угля на газоносность угля выполнено сопоставление ее значений χ с выходом летучих веществ V^{daf} в границах рассматриваемых областей угольного пласта. Установленные закономерности, влияющие на связь молекул метана с угольным веществом, позволили выделить связи между анализируемыми признаками.

Таблица 2.3

Оценка газоносности угля и данные технического анализа угольных образцов, отобранных из горных выработок на угольных шахтах

№	Наименование угледобывающего предприятия	Газоносность угля, м ³ /т с.б.м.	R ₀ , %	V ^{daf}
1	Шахта «Котинская»	12,2	0,61	38,0
2	Шахта «Котинская»	12,4	0,61	39,0
3	Шахта «Котинская»	14,0	0,61	41,0
4	Шахта «Котинская»	7,3	0,71	38,2
5	Шахта «Котинская»	7,5	0,63	38,0
6	Шахта «Котинская»	5,5	0,63	39,0
7	Шахта «Котинская»	5,7	0,63	40,0
8	Шахта «Котинская»	5,8	0,71	38,5
9	Шахта «Котинская»	2,4	0,71	38,2
10	Шахта «Котинская»	5,0	0,71	38,0
11	Шахта «Котинская»	5,2	0,71	39,0
12	Шахта «Котинская»	8,4	0,71	41,0
13	Шахта «Котинская»	8,1	0,71	38,2
14	Шахта «Котинская»	7,3	0,71	38,0
15	Шахта «Котинская»	7,0	0,71	39,0
16	Ерунаковское месторождение	20,3	0,80	41,2
17	Ерунаковское месторождение	9	0,72	40,2
18	Ерунаковское месторождение	15,4	0,81	45,2
19	Ерунаковское месторождение	20,4	0,81	40,8
20	Ерунаковское месторождение	19,8	0,81	42,3
21	Ерунаковское месторождение	18,9	0,81	41,5
22	Ерунаковское месторождение	14,2	0,81	40,2
23	Ерунаковское месторождение	19,9	0,81	43,1
24	Ерунаковское месторождение	16,8	0,81	41,9
25	Ерунаковское месторождение	12,8	0,81	42,2
26	Ерунаковское месторождение	16,5	0,81	42,9
27	Ерунаковское месторождение	19	0,81	44,4
28	Ерунаковское месторождение	13,2	0,80	41,8
29	Ерунаковское месторождение	12,2	0,79	40,6
30	Ерунаковское месторождение	13	0,78	40,5
31	Ерунаковское месторождение	12,4	0,77	40,7
32	Ерунаковское месторождение	14	0,76	41,1
33	Ерунаковское месторождение	22,5	0,85	47,1
34	Шахта «Комсомолец»	6,0	0,42	41,6
35	Шахта «Комсомолец»	7,2	0,42	41,6

№	Наименование угледобывающего предприятия	Газоносность угля, м ³ /т с.б.м.	R ₀ , %	V ^{daf}
36	Шахта «Комсомолец»	7,7	0,42	41,6
37	Шахта «Комсомолец»	7,2	0,42	41,6
38	Шахта «Комсомолец»	8,3	0,42	42,1
39	Шахта «Комсомолец»	7,0	0,42	41,6
40	Шахта «Комсомолец»	8,0	0,42	42,1
41	Шахта «Комсомолец»	20,4	0,52	42,3
42	Шахта «им. С.М. Кирова»	19,8	0,7	44,7
43	Шахта «им. С.М. Кирова»	11	0,8	44,9
44	Шахта «им. С.М. Кирова»	10	0,8	44,7
45	Шахта № 7	20,3	0,62	43,0
46	Шахта № 7	5,8	0,72	38,2
47	Шахта № 7	5,0	0,71	37,6
48	Шахта № 7	4,5	0,71	37,6
49	Шахта № 7	6,1	0,71	37,6
50	Шахта № 7	4,6	0,71	37,6
51	Шахта № 7	6,0	0,64	37,6
52	Шахта № 7	4,8	0,72	37,6
53	Шахта № 7	6,3	0,65	37,6
54	Шахта № 7	6,6	0,65	37,6
55	Шахта № 7	5,6	0,65	37,6
56	Шахта Талдинская-Западная-2	9,0	0,62	41,6
57	Шахта «Ерунаковская VIII»	1,0*	0,71	45,2
58	Шахта «Ерунаковская VIII»	1,4*	0,74	40,8
59	Шахта «Ерунаковская VIII»	2,2*	0,72	42,3
60	Шахта «Ерунаковская VIII»	1,4*	0,72	41,5
61	Шахта «Ерунаковская VIII»	1,0*	0,71	40,2
62	Шахта «Ерунаковская VIII»	1,5*	0,71	43,1
63	Шахта «Ерунаковская VIII»	3,2*	0,73	41,9
64	Шахта «Ерунаковская VIII»	4,0*	0,72	42,2
65	Шахта «Ерунаковская VIII»	1,3*	0,71	42,9
66	Шахта «Ерунаковская VIII»	1,0*	0,71	44,4
67	Шахта «Ерунаковская VIII»	0,5*	0,71	45,2

(*) – аномальная область с низкими значениями газоносности

Для определения физико-химических факторов, влияющих на газоносность угля χ , выполнен анализ ее взаимосвязи с выходом летучих веществ V^{daf} и показателем отражения витринита R_0 , % (рис. 2.8, 2.9). На

основе полученных результатов установлено, что наиболее значимым параметром, влияющим на содержания газа в исследуемых угольных пробах, является выход летучих веществ V^{daf} . Зависимость газоносности угля от выхода летучих веществ предложено использовать для верификации значений газоносности угля, определяемой в процессе ведения горных работ на основе предложенного подхода.

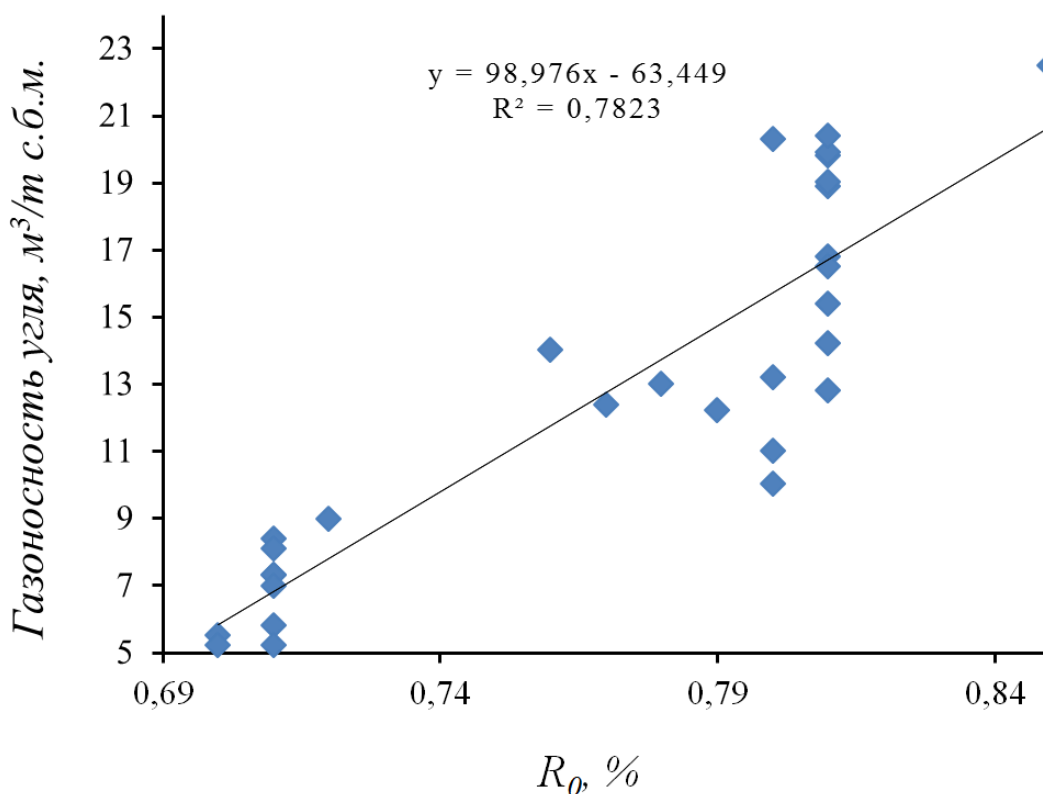


Рис. 2.8. Зависимость газоносности χ от степени отражения витринита

$$R_0, \% = 0,7 \div 0,9$$

Достоверность полученных результатов в изложенном методе расчета потери газа, в работах [122, 123] зависит от корректности экстраполяции, которая, в свою очередь определяется степенью теоретических обоснований зависимости, используемой для аппроксимации экспериментальных данных. Мера связи между выходом летучих веществ и газоносностью находится в интервале 0,5-0,7 по значению шкалы Зеддока. Коэффициент корреляции в достаточной степени характеризует качество полученной зависимости.

Степень тесноты статистической связи между выходом летучих веществ и газоносности максимальна. В качестве свойств угля, определяющих значения газоносности угля, анализировали значения выхода летучих веществ V^{daf} , степень отражения витринита R_0 , зольность угля A , влажность W . В (табл. 2.4) приведены результаты значений корреляции между данными метаноемкости угля при различных давлениях ($P=1 \dots 25$ атм.) и технических характеристик угля (W, A, V^{daf}, R_0).

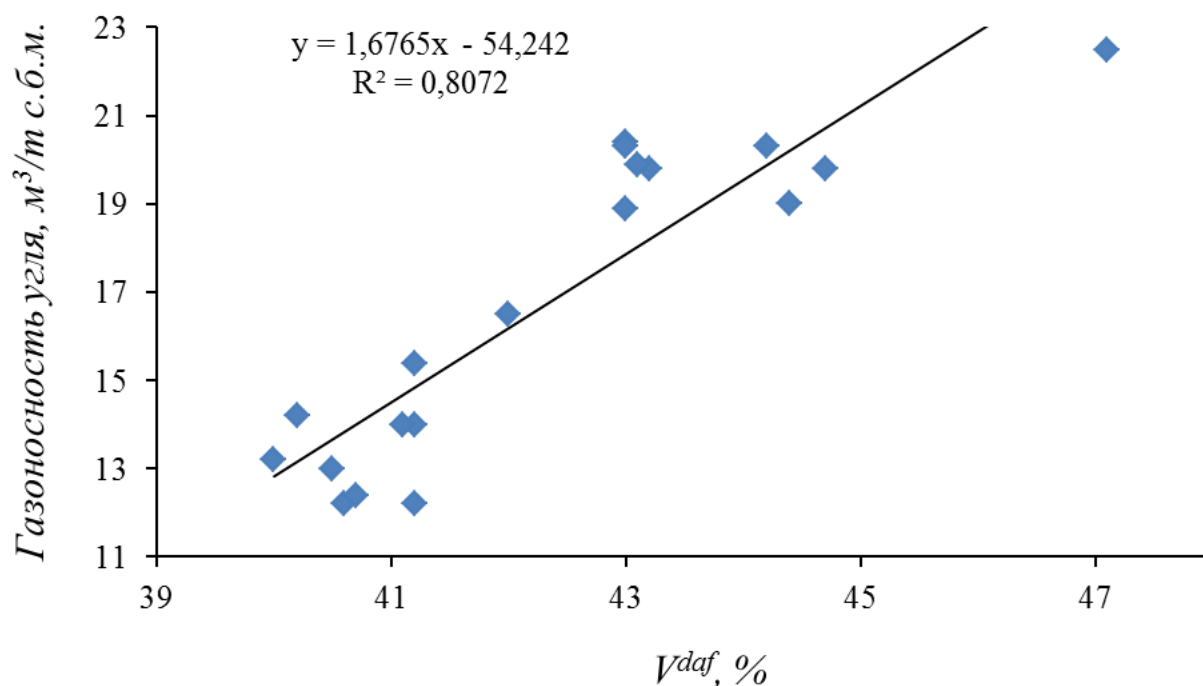


Рис. 2.9. Зависимость газоносности χ от выхода летучих веществ $V^{daf} = 40 \div 47$

Представленные зависимости влияния основных физико-химических факторов, таких как выхода летучих веществ V^{daf} и показатель отражения витринита ($R_0, \%$) на газоносность угля. Отобранные угольные керны с показателями отражения витринита $R_0 = 0,7 \div 0,9\%$ имели значения газоносности $\chi = 10-20 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$, а при $R_0 = 0,4 \div 0,6\%$ значения газоносности изменялись в пределах $\chi = 20-27 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$

Таблица 2.4

Коэффициенты корреляции технических характеристик и газоносности угля

Физико-химические свойства угля	Газоносность угля, м ³ /т					
	2-5	5-8	8-11	11-14	14-17	17-21
$W, \%$	-0,48	-0,51	-0,52	-0,51	-0,5	-0,46
$A, \%$	0,21	0,24	0,23	0,22	0,21	0,18
$V^{daf}, \%$	-0,66	-0,71	-0,66	-0,64	-0,61	-0,57
$R_0, \%$	0,44	0,44	0,39	0,35	0,34	0,3

Используя разные зависимости и одинаковые аппроксимирующие экспериментальные данные, можно получить значения газоносности пласта, отличающиеся на 5%. Следовательно, использование аппроксимирующей зависимости при тесноте статистической связи в диапазоне продолжительности отбора угольных проб можно использовать для расчета газоносности.

2.4. Применение кластерного анализа для структурированной обработки информации данных по газоносности угля

Для выбора объектов исследования проведена классификация угледобывающих предприятий по марочному составу углей на основе кластерного и корреляционного анализа, позволяющая выделить объекты в виде угольных пластов, являющихся представительными для различных групп угледобывающих предприятий [124]. В результате экспериментальных измерений по кинетике десорбции метана из угольных образцов получены зависимости выделения газа от времени. Из совокупности 160 отобранных угольных образцов на основе кластерного анализа сформированы группы предприятий, добывающих уголь с близкими физико-химическими характеристиками (табл. 2.5).

Классификация объектов заключается в том, чтобы всю анализируемую совокупность объектов $X=\{x_i; i=1,..., n\}$, статистически представленную в виде матрицы $X_{ij}=\{x_{ij}; i=1,..., n, j=1,..., p\}$, разбивали на сравнительно небольшое число однородных, в определенном смысле, групп. Для формализации этой проблемы интерпретировали анализируемые объекты в качестве точек в соответствующем признаковом пространстве.

Исходные данные представлены в виде матрицы $X_{ij} = \{X_{ij}; i, j\}$, поэтому эти точки являются непосредственным геометрическим изображением многомерных наблюдений $X_1, X_2, ..., X_n$ в p -мерном пространстве $\Pi^p(x)$ с координатными линиями $Ox^{(1)}, Ox^{(2)}, ..., Ox^{(p)}$. Естественно предположить, что геометрическая близость двух или нескольких точек в этом пространстве означает близость «физических» состояний соответствующих объектов, их однородность.

Таблица 2.5

Фрагмент исходных данных для классификации угольных шахт Кузбасса

Угледобывающие предприятия	Показатель отражения витринита R_0 , %	Физико-химический состав		
		W , %;	A^{daf}	V^{daf} , %.
Шахта «Им. С.М. Кирова»	0,7	9,8	8,5	44,7
Шахта «Котинская»	0,6	0,6	8,6	39,2
Шахта «Комсомолец»	0,6	9,8	8,5	41
Шахта № 7	0,7	1,0	5,3	41,2
Шахта Талдинская-Западная-2	0,62	0,6	8,6	41
Шахта «Ерунаковская VIII»	0,7	0,7	10,4	42
Шахта «Заречная»	0,67	6,8	17,2	39

Далее угольные пласты разбивались на множество кластеров $X=\{x_i; i=1,..., n\}$ $S=\{S_l, l=1,..., m\}$, ($m < n$) с центрами z_l . Разбиение $S=\{S_l, l=1,..., m\}$

выполнялись по марочному составу и показателю отражения витринита R_0 . Для решения этой задачи необходимо было выполнить следующие условия:

1. Ввиду отсутствия данных по газоносности угольных пластов выразить это свойство через другие показатели физико-химических свойств углей.

2. На основе косвенных показателей газоносности выбрать множество пластов $G = \{gt; t=1,..., k1\}$ с техническим составом и метаноемкостью углей и множества пластов действующих шахт $F = \{fq; q=1,..., k2\}$.

3. Отобранные данные классифицировать с помощью SPSS иерархическими методами: одиночной, полной, средней связи и итерационного метода «Форель».

4. Полученные результаты интерпретировать и сравнить между собой. Желательной формой статистических выводов является перечень множеств $S = \{sl; l=1,..., m\}$ – множества кластеров и $Z = \{zl; l=1,..., m\}$ – множества их центров.

Примем обозначения: I – множество пластов, J – совокупность их физико-технических свойств, $X_{ij} = \{X_{ij}; i \in I; j \in J\}$ – матрица, описывающая петрографические свойства обрабатываемых угольных пластов. В результате обработки была введена метрика, характеризующая отличие свойств угольных пластов i и i'

$$d^2(i, i') = \sum_{j \in J} (x_{ij} - x_{i'j})^2, \quad (2.6)$$

где x_{i1} – показатель отражения витринита, %;

x_{i2} – влажность угля, %;

x_{i3} – зольность угля, %;

x_{i4} – выход летучих веществ, %.

Для построения индексированной иерархической классификации проводилось кодирование табличных данных путем их перевода в полную дизъюнктивную форму [124]. Затем предприятия разбивали на кластеры при фиксированной высоте кластера d^0 по правилу: «если для двух предприятий i и i' $d^2(i, i') \geq d^0$, то они относятся к разным классам» (рис. 2.10).

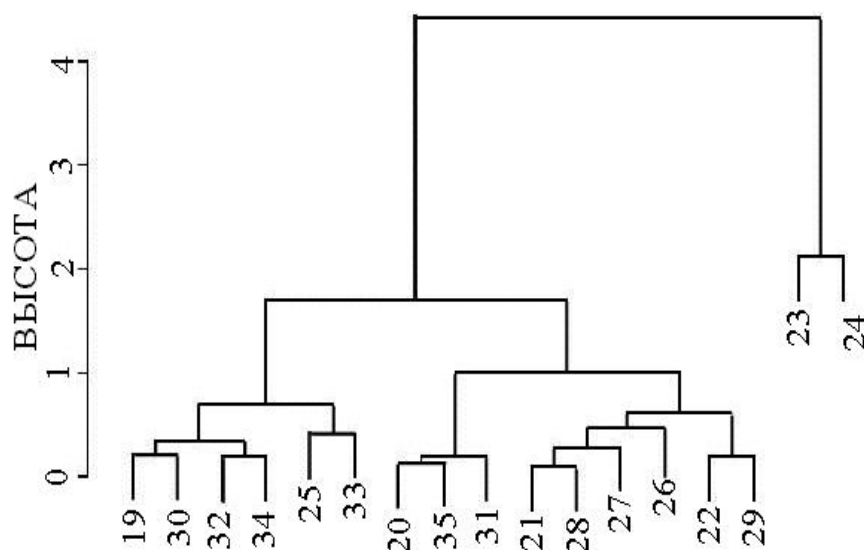


Рис. 2.10. Фрагмент индексированной иерархической классификации угледобывающих предприятий Кузбасса

На основе предложенного подхода проанализировано более 160 угольных проб, отрабатываемых на 10 шахтах Кузнецкого угольного бассейна. С использованием пакета прикладных программ *S-PLUS 2000 Professional* при заданном радиусе кластера $d_0=3$ выделены угольные шахты «им. С.М. Кирова», Шахта «Талдинская-Западная-2», Шахта «Котинская», являющиеся центрами соответствующих кластеров. С помощью кластерного анализа установлена группа объектов, являющаяся представительной для построения регрессионных моделей десорбции метана по результатам шахтных и лабораторных экспериментов.

Выводы

1. Представлены результаты испытаний шахтного кернаборника, определены его рациональные технологические параметры для отбора угольных проб с учетом термодинамических характеристик, а также получена зависимость времени выбуривания кернов от влияющих факторов (крепость и степень метаморфизма угля).

2. В шахтных испытаниях разработанного кернаборника установлено, что его двухсекционная модификация наилучшим образом обеспечивает отбор кернов длиной 0,3 м; диаметром 0,062 м; коэффициентом кернаотбора 0,7; временем выбуривания менее 1200 с и исключает перегрев угольных проб при их выбуривании.

3. В лабораторных измерениях показано, что угловой коэффициент линейного участка десорбционной кривой, соответствующего закону Дарси, при фильтрации газа из трещиновато-порового пространства отобранных проб угля составляет 1,2-4,5. При этом объем упущенного газа корректно определяется на основе применения метода обратной экстраполяции в границах этого участка.

4. Установленная газоносность 67 угольных кернов, отобранных на основе прямого метода в шахтных и лабораторных условиях, подтверждается качеством аппроксимации экспериментальных значений χ и коэффициентом множественной детерминации $R = 0,8-0,9$ для угля с показателями выхода летучих веществ V^{daf} 37-43 %.

5. Разработан, основанный на кластерном анализе, метод ранжирования шахт по физико-химическим свойствам и показателям метаноемкости углей Кузбасса. Удовлетворительная сходимость результатов расчета позволила с использованием метода проанализировать выборку для анализа 234 пластов, отрабатываемых на 47 шахтах Кузнецкого угольного бассейна.

6. На основе применения корреляционного анализа определено значение газоносности и технических характеристик углей Кузбасса,

наиболее близкое к 1, корреляция наблюдается у такого свойства, как выход летучих веществ. Свойства угля – зольность (W^{daf}), влажность (A), выход летучих веществ (V), степень тесноты статистической связи между выходом летучих веществ и газоносностью будет максимальна.

3. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОНОСНОСТИ УГЛЯ В ШАХТНЫХ УСЛОВИЯХ

3.1. Обоснование параметров и технологических решений отбора угольных проб

Способ определения газоносности угольных пластов в шахтных условиях регламентирует порядок отбора проб, проведение шахтных и лабораторных измерений, а также обработку полученных значений. Способ основан на отборе угольных проб с помощью шахтного керноборника из скважин, пробуренных в угольный пласт из горных выработок, с последующим измерением объема метана, выделившегося в процессе его десорбции и восстановлением объема упущенного газа с момента извлечения до размещения пробы в герметичный сосуд. Основным отличием разработанного подхода является то, что угольные пробы отбирали непосредственно в горных выработках шахт. При этом с помощью метода обратной экстраполяции определяли объем упущенного газа.

Так как газоносность может отличаться в пределах небольших участков, например в случае тектонических нарушений, при предварительной дегазации или разгрузке, вызванной близлежащими горными работами, влияние этих факторов учтены при выборе места отбора пробы. В методике предусмотрен отбор угольных кернов из скважин, пробуренных по пласту от бортов горной выработки за пределы зоны опорного давления. Расстояние между скважинами для отбора угольных кернов принято не более 300 м (для пологих и наклонных пластов) в зависимости от горно-геологических условий залегания угольного пласта, а для крутонаклонных и крутых пластов - не более 50 м по падению пласта от выработанного пространства вышележащего этажа. По результатам проведенных измерений стандартное отклонение значений газоносности χ пласта изменяется в пределах 1-5% между пробуренными скважинами ≤ 300 м с доверительной вероятностью

95 % по критерию Стьюдента. Для повышения достоверности получаемых результатов в каждой точке (скважине) отбираются три угольных пробы.

Угольные образцы отбирали из технологических скважин, пробуренных по простиранию угольного пласта (рис. 3.1). Скважину для отбора угольных кернов бурили на глубину внедрения в угольный массив, превышающую размеры области влияния выработки на величину газоносности угольного массива (как правило, в пределах не менее 25 м).

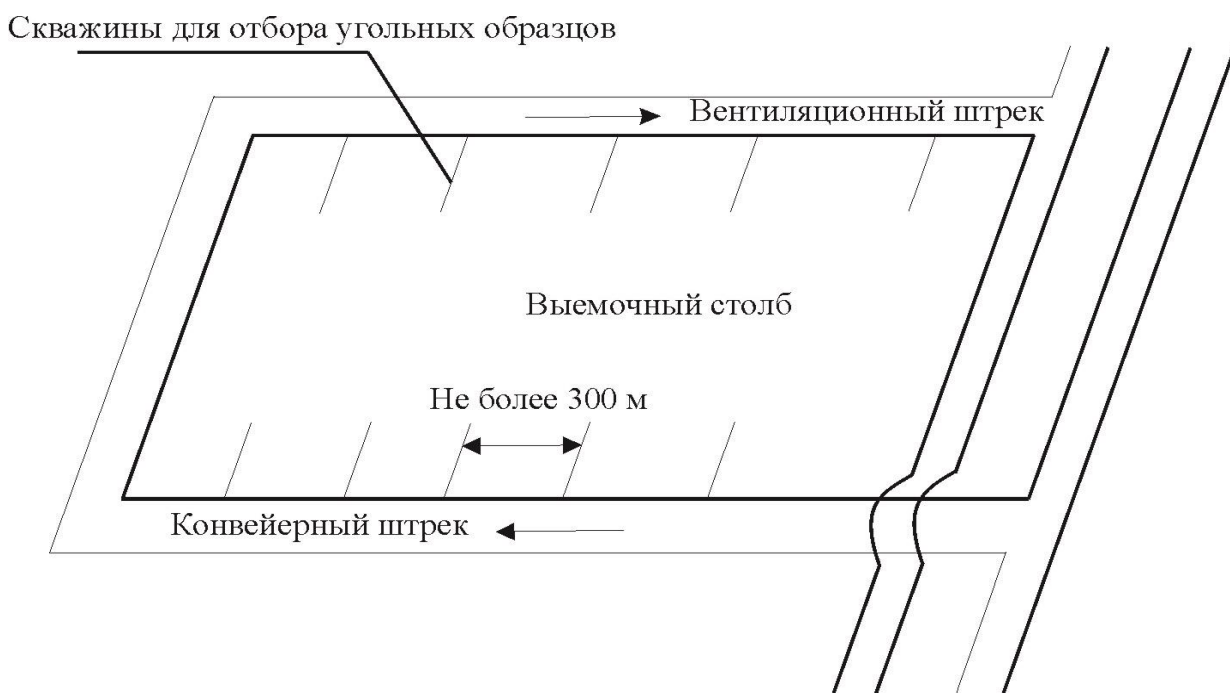


Рис. 3.1. Схема отбора угольных кернов в шахтных условиях

После достижения заданной длины скважины буровой инструмент извлекали и к буровым штангам присоединяли кернонаборник. Подачу буровых штанг с кернонаборником прекращали за несколько метров до забоя скважины, после чего включали буровые насосы и осуществляли промывку скважины.

Для поддержания квазипостоянной температуры отбираемых проб угля на устье скважины осуществляли мониторинг температуры охлаждающей жидкости с помощью измерительных приборов. Поддержание температуры осуществляли с помощью регулирования расхода охлаждающей жидкости.

Выбуриваемый керн поступал во внутреннюю полость керноприемной трубы. После завершения отбора угольного керна прекращали промывку, останавливали вращение ротора и приступали к извлечению кернонаборника из скважины с максимально возможной скоростью. Далее кернонаборник отсоединяют от буровой штанги. Угольную пробу из керноприемной части перекладывали в сосуд и герметично закрывали крышкой. Сосуды с пробами доставляли в лабораторию, где их размещали в термостаты, нагретые до температуры угольного пласта. Для повышения достоверности получаемых результатов в каждой точке (скважине) отбирали по три угольных пробы. При этом в дальнейших расчетах использовали наибольшее значение газоносности.

3.2. Проведение шахтных и лабораторных исследований процесса десорбции метана из угля

Для учета упущенного газа измерение выделившегося объема метана из отобранных угольных проб проводили непосредственно в шахтных условиях. В процессе отбора образцов угля регистрировали время их поднятия на поверхность, температуру и давление угольного пласта. Для отбора угольных образцов применяли герметичные сосуды, оснащенные манометрами, отводными штуцерами с шаровыми кранами для измерения выделившегося объема газа (рис. 3.2). Для измерения выделяемого объема газа применяли измерительный комплекс (рис. 3.3). Лабораторные исследования по определению газоносности угля проводили методом десорбции газа в сосуд объемом 1500-3000 мл³. Измерение десорбируемого объема газа из угольных проб проводили при условии повышения давления в герметичном сосуде до 110 кПа.

Первые измерения выделившегося объема газа выполнялись непосредственно в горных выработках шахт. Дальнейшие измерения

выделившегося объема газа выполняли в лабораторных условиях (рис. 3.3) [120].

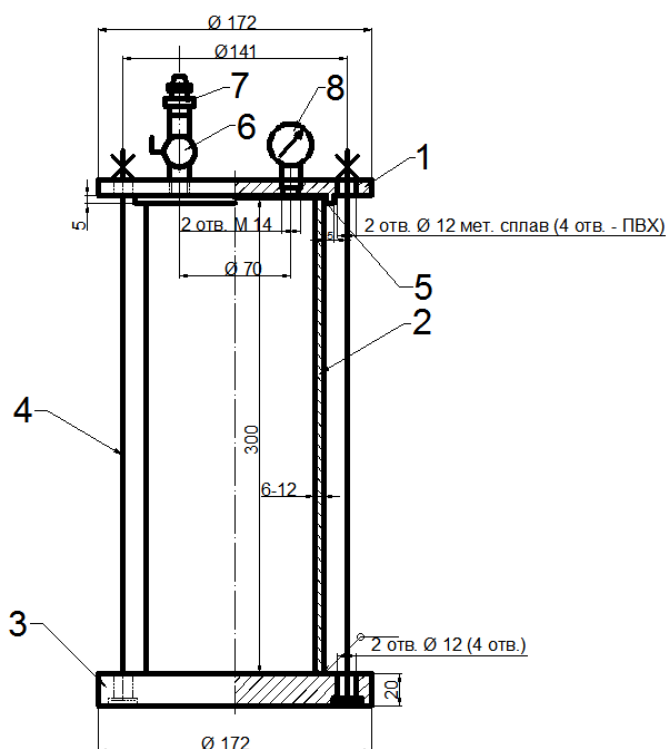


Рис. 3.2. Конструкция герметичного сосуда:

1 – крышка сосуда, 2 – сосуд, 3 – основание, 4 – прижимной болт,
5 – прокладка, 6 – шаровой кран, 7 – штуцер, 8 – манометр

Доставленные в лабораторию угольные пробы размещали в термостаты, нагретые до температуры угольного пласта. В лабораторных условиях для исследования десорбции газа из угля использовали керны $\varnothing 0,04 - 0,05$ м. Измерения производили на установке, схема которой показана на (рис. 3.4). В общем случае значение изменения давления в сосуде зависело от температуры угольного пласта, размера гранул угля, его проницаемости. Измерения выделившегося объема газа V_i из отобранных угольных проб проводили в следующем порядке. К герметичному сосуду с пробами угля подсоединяют газоотводящую трубку.

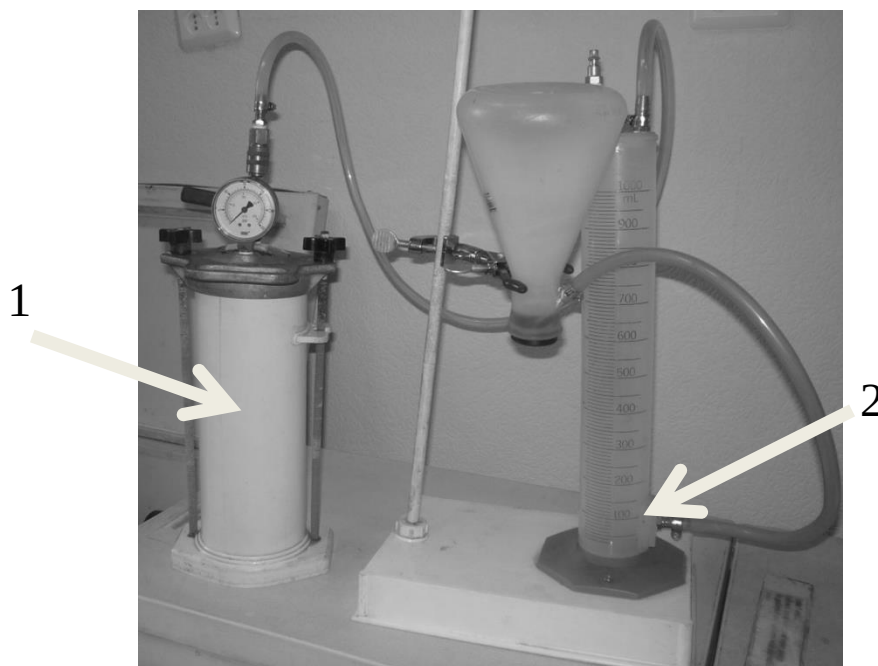


Рис. 3.3. Измерительный комплекс для шахтных условий:

1 – герметичный сосуд; 2- измерительный цилиндр

Измерения выделившегося объема газа при температуре угольного пласта продолжали в течение 24-72 часов в зависимости от интенсивности газовыделения с момента размещения герметичных сосудов с пробами в термостаты.

Первое и второе измерения в лаборатории проводили с интервалом $\Delta t_1 = 5$ мин, последующие – с интервалом, рассчитываемым по формуле:

$$\Delta t_{i+1} = \begin{cases} \Delta t_i \times 2 & \text{при } V_i \leq V/30; \\ \Delta t_i \times 1,5 & \text{при } V_i \leq V/15; \\ \Delta t_i & \text{при } V_i > V/15, \end{cases} \quad (3.1)$$

где V - объем герметичного сосуда, см^3 ; V_i - объем выделившегося газа, см^3 .

При этом каждый раз измеряли и записывали в лабораторный журнал атмосферное давление P_{an} , температуру воздуха в лаборатории $T_{лн}$ и температуру в термостате $T_{вн}$, а также следили за давлением газа в сосуде.

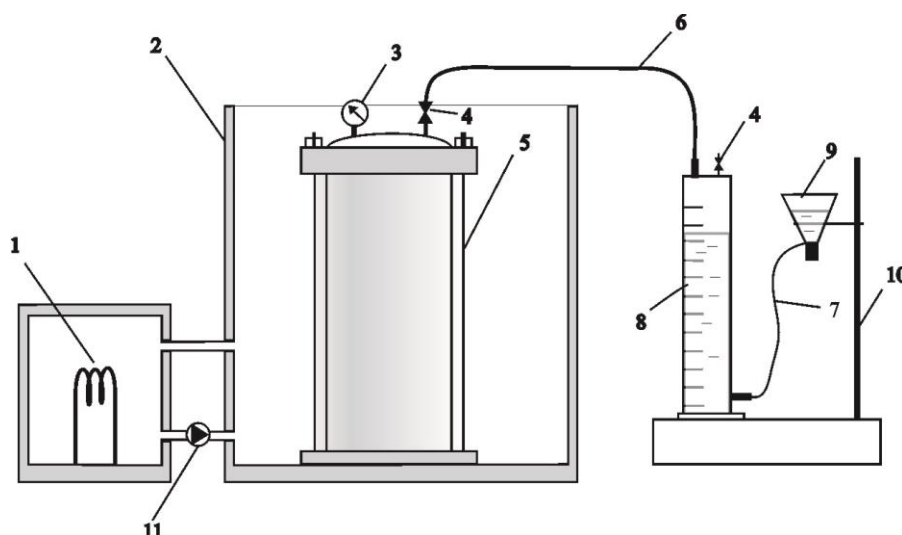


Рис. 3.4. Схема установки для измерения десорбции газа из угля:

1 – нагревательный элемент; 2 – камера для термостатирования; 3 – манометр; 4 – шаровой кран; 5 – герметичный сосуд; 6 – газоотводящая трубка; 7 – соединительная трубка; 8 – измерительный цилиндр; 9 – уравнивающая емкость; 10 – штатив; 11 – насос

При повышении давления газа P_{ci} до 110 кПа из сосуда выпускали газ с измерением его объема. Последующие измерения проводили при нагреве герметичных сосудов с находящимися в них угольными пробами в термостатах.

В процессе лабораторных измерений регистрировали следующие показатели:

- температуру окружающей среды, °C;
- время отбора проб и размещения их в герметичный сосуд, с;
- общее время от начала отбора угольной пробы до окончания ее герметизации, с;
- значения объема выделившегося газа из каждой пробы (см³);
- температуру воздуха в лаборатории и в термостате (°C), атмосферного давление (кПа);
- вес угольной пробы по завершении дегазации, кг;

– зольность и влажность угля, %.

Для определения остаточной газоносности угля сосуда с пробами нагревали до +85 °С при допустимой погрешности ± 5 °С и проводили измерения объема выделившегося газа $V_{ост}$ через интервал времени Δt . При этом каждый раз измеряли и записывали в лабораторный журнал атмосферное давление $P_{ан}$, температуру воздуха в лаборатории $T_{лн}$ и температуру в термостате $T_{гн}$. По окончании дегазации измеряли массу угольной пробы. Затем угольные пробы высушивали при комнатной температуре для установления массы угля, высушенного при атмосферных условиях. При этом выполнены условия $M_i - M_{i+1} = 0$, когда в двух последовательных измерениях масса M_{i+1} с интервалом в 24 часа, в пределах точности измерений, где M_i – масса угольной пробы, кг, i – количество угольных проб.

3.3. Обработка результатов шахтных и лабораторных исследований газоносности угольных проб, отобранных в шахтных условиях

Выделяемый из емкости десорбционный газ измеряли как функцию времени. Общий объем газа V_{Σ} , содержащийся в угольной пробе, определяли суммой трех компонент по формуле:

$$V_{\Sigma} = V_{упущ} + V_{выд} + V_{ост}, \quad (3.2)$$

где $V_{упущ}$ – объем упущенного газа, который выделился из угольной пробы с момента начала выбуривания пробы до момента его помещения в герметичный сосуд, см³;

$V_{выд}$ – объем газа, выделившийся в процессе измерений, см³;

$V_{ост}$ – объем газа, выделившийся из пробы после нагрева, см³.

Объем упущенного газа $V_{\text{упущ.}}$ определяли методом обратной экстраполяции по значениям фактического газовыделения из отобранной угольной пробы с учетом динамики выделившегося объема газа в течение времени t по формуле:

$$V_{\text{упущ.}}(t) = V_{\text{выд.}}(t) + V_{\text{осм}}(t), \text{ см}^3 \quad (3.3)$$

Расчет объема выделившегося газа $V_{\text{выд.}}$ из угольных проб определяли по формуле:

$$V_{\text{выд.}} = \sum_{i=1}^N V_i, \text{ см}^3 \quad (3.4)$$

где N – количество измерений выделившегося объема газа см^3 ;

V_i – объем газа, измеренный за каждый i -ый интервал времени, см^3 .

Расчет объема выделившегося газа $V_{\text{осм}}$ из угольных проб после нагрева проводят по формуле:

$$V_{\text{осм}} = \sum_{i=1}^N V_i, \text{ см}^3 \quad (3.5)$$

где N – количество измерений выделившегося объема газа см^3 ;

V_i – объем газа, измеренный за каждый i -ый интервал времени, см^3 .

Результат определения газоносности угольной пробы Γ вычисляют по формуле:

$$\Gamma = \frac{V_{\Sigma}}{M}, \text{ см}^3 \quad (3.6)$$

где M – масса угля, высушенного при комнатной температуре, кг.

Остаточную газоносность $\Gamma_{с.б.м.}$ в пересчете на сухую беззольную массу угля определяют по формуле:

$$\Gamma_{с.б.м.} = \frac{V_{\Sigma}}{M(100\% - A^a - W^a)}, \text{ м}^3/\text{т} \quad (3.7)$$

где A^a – зольность угля, % (определяется по ГОСТ 11022-95);

W^a – влажность угля, % (определяется по ГОСТ Р 52911-2008).

За результат измерения в точке опробования принимали максимальное значение остаточной газоносности среди угольных проб, отобранных из скважины.

Результат измерений представляли в виде $\Gamma \pm \Delta$, $P=0,95$, где Δ – показатель точности в абсолютных единицах. Показатель точности определяли по формуле:

$$\Delta = \frac{\delta \Gamma}{100}, \text{ м}^3/\text{м} \quad (3.8)$$

где δ – величина погрешности, %. Допустимый результат измерений выдавали в виде $\Gamma \pm \Delta\lambda$, где $\Delta\lambda$ – погрешность результатов измерений при лабораторных работах.

Для корректировки плана изогаз по результатам определения газоносности угольных пластов определяли среднее значение газоносности $\bar{\Gamma}$ в точке отбора угольных проб при $X > \bar{\Gamma}$. Далее определяли относительное превышение величины X над $\bar{\Gamma}$ по формуле:

$$\Delta = \frac{X - \bar{\Gamma}}{\bar{\Gamma}}, \text{ м}^3/\text{м} \quad (3.9)$$

где X – значение природной газоносности угля при геологоразведочных работах, м³/т. Для всех точек отбора проб рассчитывают скорректированные значения газоносности по формуле:

$$\bar{G}_k = \bar{G}(1 + \Delta), \text{ м}^3/\text{т} \quad (3.10)$$

где $\bar{G}_k$ – скорректированная газоносность угля, м³/т. При $X < \bar{G}$ принимали значение:

$$\bar{G}_k = \bar{G}. \quad (3.11)$$

С использованием значений $\bar{G}_k$ отстраивали скорректированный план изогаз.

Разработанная методика регламентирует порядок определения газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ. Она предусматривает прямое измерение газоносности по угольным пробам, отобраным при бурении скважин из горных выработок и корректировку измерений с учетом объемов упущенного газа, рассчитанного методом обратной экстраполяции.

Применение разработанной методики позволяет уточнять остаточную газоносность угля на планируемых к разработке и разрабатываемых участках угольных пластов, которая может отличаться от результатов, полученных при геологической разведке.

Разработанный подход может, применяется в следующих случаях:

1. На вновь вводимых выемочных участках действующих шахт при составлении паспорта выемочного участка до проведения дегазации, когда природная газоносность пласта превышает 13 м³/т сухой беззольной массы;
2. На вновь вводимых выемочных участках действующих шахт после проведения дегазации и до приемки в эксплуатацию выемочных участков;

3. Для уточнения природной и остаточной газоносности угольных пластов.

Выводы

1. Разработан и опробован подход по оценки остаточной газоносности угля, адекватно описывающий неравномерность распределения метана в пределах разрабатываемого блока, что подтверждается результатами экспериментальных исследований в условиях 5 угольных шахт Кузбасса, а также позволяет проводить оценку эффективности дегазации на планируемых к отработке участках угольных пластов.

2. Способ определения газоносности угля в шахтных условиях регламентирует порядок отбора угольных кернов и предусматривает прямое измерение газоносности по угольным пробам, отобранным при бурении скважин из горных выработок, и корректировку измерений с учетом объемов упущенного газа, рассчитанного методом обратной экстраполяции.

3. Установлено, что на основе разработанного метода определения газоносности угольных пластов с учетом динамики процессов фильтрации метана можно определить объем газа содержащейся в угольных пробах, отобранных с помощью разработанного шахтного кернонаборника.

4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОНОСНОСТИ НА ПЛАНИРУЕМЫХ К РАЗРАБОТКЕ И РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ УЧАСТКАХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В УСЛОВИЯХ КУЗБАССА

4.1. Опробование метода определения газоносности угольных пластов на угольных месторождениях Кузбасса

В результате практического применения метода определения остаточной газоносности угля на шахтах Кузбасса исследовано более 160 угольных проб. Значительный объем шахтных и лабораторных исследований проведен на пробах угля, отобранных из угольных пластов № 48, 50, 52, 70, Бреевский, Поленовский и Байкаимский Кузнецкого угольного бассейна. В данной главе показаны принципиальные возможности применения разработанного подхода такие как:

- принятие рациональных решений по дегазации угольных пластов на исследуемых шахтах;
- выявление локальных участков угольных пластов с повышенной газоносностью;
- использование полученных данных газоносности шахтопластов при разработке схем проветривания шахт;
- уточнение газоносности угольных пластов, особенно со сложной гипсометрией, в интервалах между пробуренными с поверхности разведочными скважинами с учетом кинетики десорбции метана.

В качестве примера представлена реализация способа при уточнении значений газоносности на участке угольного пласта 52 в Прокопьевско-Киселевском геолого-экономическом районе Кузбасса (рис. 4.1). Участок угольного пласта находится в интервалах изогаз 8-11 м³/т. На исследуемом участке угольного пласта определены шесть точек для отбора проб. В результате исследований были отобраны 12 угольных образцов.

Газоносность на исследуемом участке составила 5,7-8,5 м³/т с учетом сохранения температурных условий в интервале 22-24 °С, соответствующих параметрам углепородного массива.

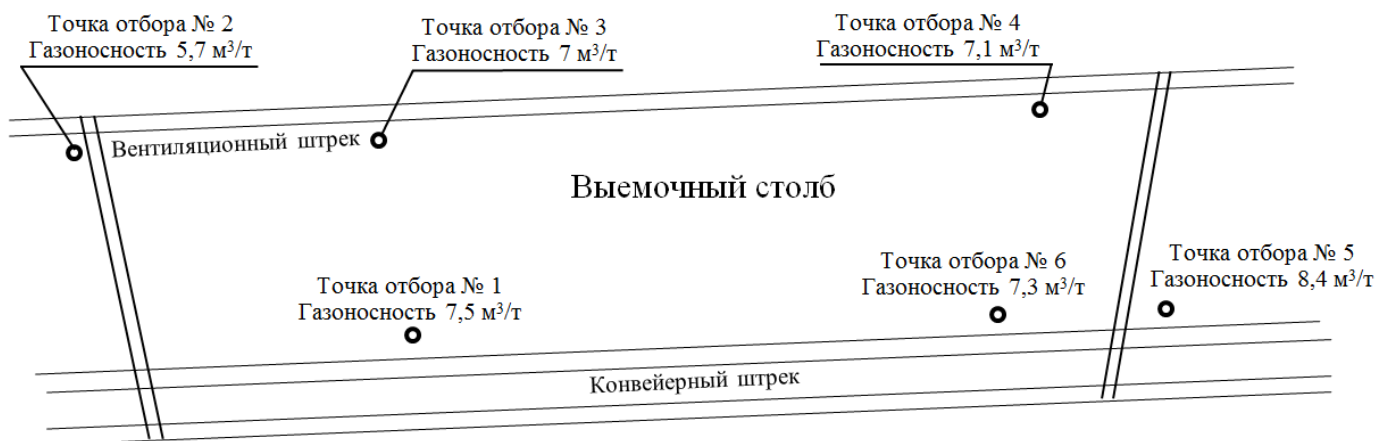


Рис. 4.1. Значения газоносности угольного пласта, определенные на основе предложенной методики и построенных по этим значениям изогаз

Сопоставительный анализ показал, что значения газоносности угля, полученные при проведении геологоразведочных работ, на 5-10% выше, чем полученные в результате проведенных исследований. Это обусловлено влиянием горных работ, в результате которых происходит разгрузка углепородного массива от горного давления, что приводит к увеличению количества десорбируемого метана и способствует его миграции в горные выработки или дегазационные скважины.

При существенном отличии характера изменения газоносности и выхода летучих веществ делается заключение о некачественном проведении работ по отбору угольных проб и необходимости повторного отбора проб. И наоборот, похожий характер изогаз и изолинии этих показателей свидетельствует о корректности полученных данных газоносности угля.

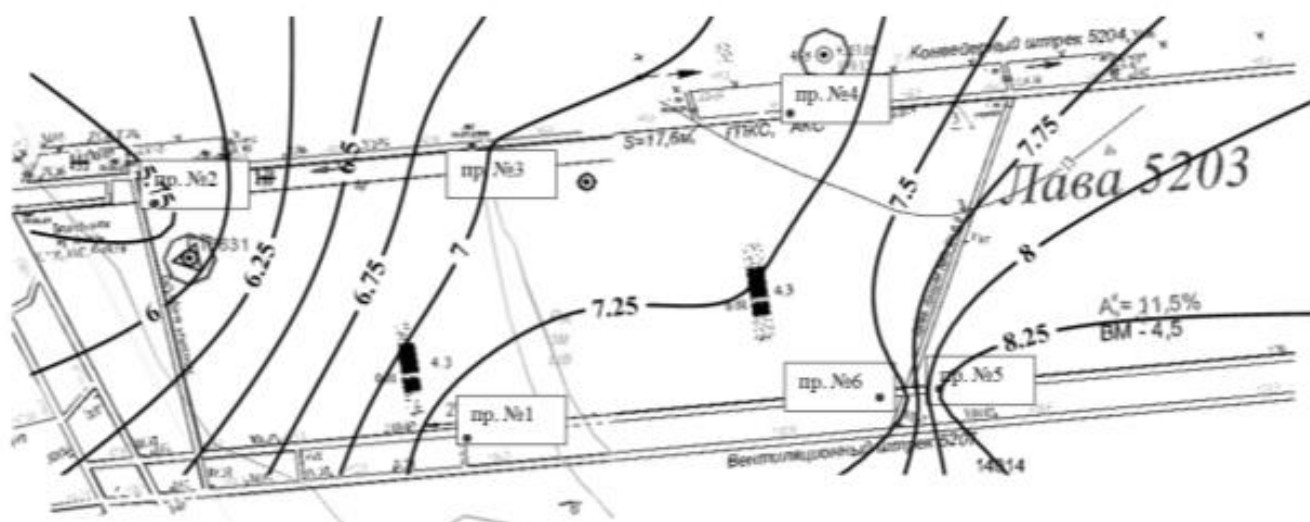


Рис. 4.2. Пример построения плана изогаз по данным газоносности угля, в пределах выемочного столба

Неравномерность распределения газоносности отдельного угольного пласта связана с изменением физико-химических свойств угля при содержании зольности 2-20%, влажности 3-8% и выхода летучих веществ, изменяющегося в пределах 39-41%.

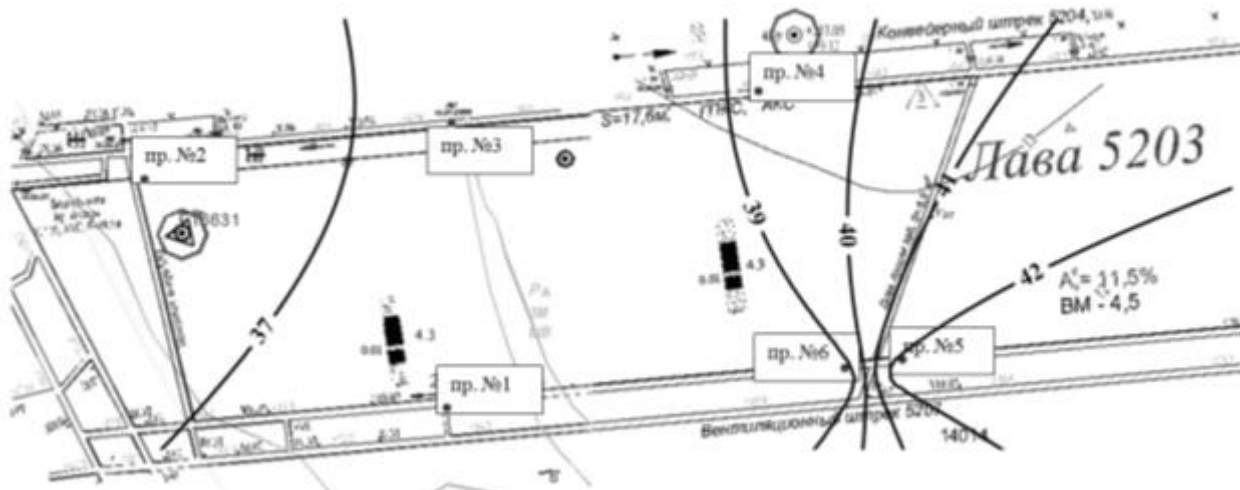


Рис. 4.3. Схема распределения выхода летучих веществ в пределах выемочного столба

По характеру изменения значений газоносности установлено, что доля сорбированного метана, находящегося в тесной связи с угольным веществом

составляет 70-90%. Оценка горно-геологических характеристик, включая коллекторские свойства пласта, показали низкую проницаемость угля. По уточненным значениям газоносности скорректированы изогазы, что позволило в дальнейшем отработать пласт, применяя только проветривание горных выработок.

Для верификации полученных значений газоносности угольных кернов, отобранных в горных выработках шахты, проводили сравнение их с значениями газоносности угля при геологоразведочном опробовании исследуемого пласта и со значениями фактической метанообильности. Для расчета фактического газовыделения в горные выработки проводили газовоздушные съемки на исследуемом выемочном столбе.

В качестве примера приведен расчет фактического метановыделения из обнаженных поверхностей разрабатываемого пласта в подготовительную выработку. Расчет проводился по формуле

$$I_{нов. \phi} = 0,01 Q_n (\bar{C}_u - \bar{C}_0), \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.1)$$

где Q_n – расход воздуха в тупиковой выработке в 10-15 м от ее устья, $\text{м}^3/\text{мин}$;
 $\bar{C}_u$ – средняя концентрация метана в исходящей струе тупиковой выработки в 10-15 м от ее устья, %.

На основании установленных значений $I_{нов. \phi}$ в соответствии с «Руководством по проектированию вентиляции угольных шахт» определяется эффективная газоносность разрабатываемого пласта ($x-x_0$)

$$x - x_0 = 50 \sqrt{\frac{I_{нов. \phi}}{a_3 \cdot m_n \cdot \beta \cdot V_{n. \gamma} \cdot k_T}}, \text{ м}^3/\text{т} \quad (4.2)$$

при $V^{daf} = 41\%$, $a_3 = 0,28$;

m_n – полная мощность угольных пачек пласта, м; $m_n = 4,33$ м;

β – коэффициент, учитывающий условия фильтрации метана, для сечений:

$$S_{\text{чер.}} = 14,3 \text{ м}^2 \text{ при } \beta = 0,94 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{чер.}} = 17,6 \text{ м}^2 \text{ при } \beta = 0,99;$$

$$S_{\text{чер.}} = 22,0 \text{ м}^2 \text{ при } \beta = 1,0.$$

$V_{\text{н.ф}}$ – фактическая скорость подвигания забоя тупиковой выработки, м/сут;

k_T – коэффициент, учитывающий изменение метановыделения во времени, зависит от времени $T_{\text{пр}}$, прошедшего от начала проведения участка выработки до момента определения $I_{\text{нов.ф}}$. Определяется по формуле $k_T = \sqrt{T_{\text{пр.ф}}}$;

x – природная метаноносность пласта, м³/т;

x_0 – остаточная метаноносность угля, оставляемого в целиках, м³/т.

$$x_0 = 0,01 x_{\text{о.з}} (100 - W - A_3);$$

здесь, $x_{\text{о.з}}$ – остаточная метаноносность угля с.б.м, м³/т;

Для условий Кузбасса при $V^{\text{daf}} = 41,2\%$, $x_{\text{о.з}} = 2,5$. При зольности пласта № 52 $A_3 = 6,7\%$ и влажности $W_a = 8\%$ остаточная газоносность разрабатываемого пласта в контуре выемочного столба 5203 составит:

$$x_0 = 0,01 \times 2,5 (100 - 8,0 - 6,7) = 2,13, \text{ м}^3/\text{т} \quad (4.3)$$

Результаты расчетов природной газоносности разрабатываемого пласта № 52 представлены в табл. 4.1. Основываясь на значениях эффективной газоносности разрабатываемого пласта $(x - x_0)$ и остаточной газоносности x_0 , была определена фактическая природная газоносность x , значения которой приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты природной газоносности разрабатываемого пласта № 52

Наименование выработки	Длина тупика на момент проведе- ния съем- ки, L , м	Фактическое метановыде- ление с обнаженной поверхности пласта $I_{нов.ф}$, м ³ /мин	Время, прошедшее от начала проведения участка выработки $T_{пр}$, сут	Скорость продвиже- ния забоя тупиковой выработки $V_{н.ф}$, м/сут	Коэффициент, учитывающий изменение метановыделе- ния во времени, k_T	Эффективная метано- носность ($x-x_0$), м ³ /т	Природная метанос- ность пласта (рассчитанная) x , м ³ /т	Природная метанос- ность пласта (измеренная) x , м ³ /т
Конвейерный штрек №5203 (направление проведения от ОПП)	450	0,721	59	7,8	7,7	4,7	6,8	7,1
	220	0,721	60	3,8	7,7	6,8	8,9	7,5
	380	0,721	76	5,0	8,7	5,6	7,7	8,4
	630	0,921	91	6,9	9,5	5,1	7,2	4,1
	85	0,621	4	21,3	2,0	5,2	7,3	6,7
	465	1,242	19	24,5	4,4	4,6	6,7	4,7
	700	1,863	35	20,0	5,9	5,4	7,5	4,6

Для получения информации об изменении объема и относительной доле сохранившегося газа в результате выветривания и влияния горных работ проведен сопоставительный анализ различных подходов определения газоносности угля. При этом использованы значения газоносности угля, полученные на этапе геологоразведки на угольном пласте № 52 шахты «Котинская», и значения газоносности угля, полученные на основе применения разработанного подхода, а также значения газоносности, рассчитанные по фактическому газовыделению в горные выработки (табл. 4.2).

Образцы угля и газа для дальнейшего анализа отбирались на одном из участков пласта, подготовленного к отработке. Выполненные измерения позволили установить, что значения газоносности угля, полученные при проведении геологоразведочных работ, на 10-30% выше, чем полученные в результате предложенного подхода. Это обусловлено влиянием горных работ, при которых происходит разгрузка углепородного массива от горного давления, что приводит к увеличению количества десорбируемого метана и способствует его миграции в горные выработки или дегазационные скважины, а неравномерность распределения газоносности в пределах одного выемочного столба связана с показателями петрографических свойств угля.

Таблица 4.2.

Значения газоносности угля, полученной при применении предложенного, прямого и косвенного методов, м³/т

Место отбора проб	Разработанная методика	Прямой метод (геологоразведочные работы)	Косвенный метод
На удалении 30 м от конвейерного штрека	7,5	10,3	7,8
На удалении 30 м от вентиляционного штрека	5,7	9,8	7,3
На удалении 350 м от конвейерного штрека, вблизи	5,8	9,8	7,1

Место отбора проб	Разработанная методика	Прямой метод (геологоразведочные работы)	Косвенный метод
скважины А			
На удалении 350 м от конвейерного штрека, вблизи скважины В	5,2	9,8	8
На удалении 600 м от конвейерного штрека	8,4	11,3	7,9
На удалении 600 м от вентиляционного штрека	7,3	11,3	7,2

Достоверность полученных результатов газоносности угля подтверждается представительным количеством исследуемых угольных образцов в количестве 24 угольных проб, из них 12 отобранных из горных выработок и 12 отобранных в виде кернов.

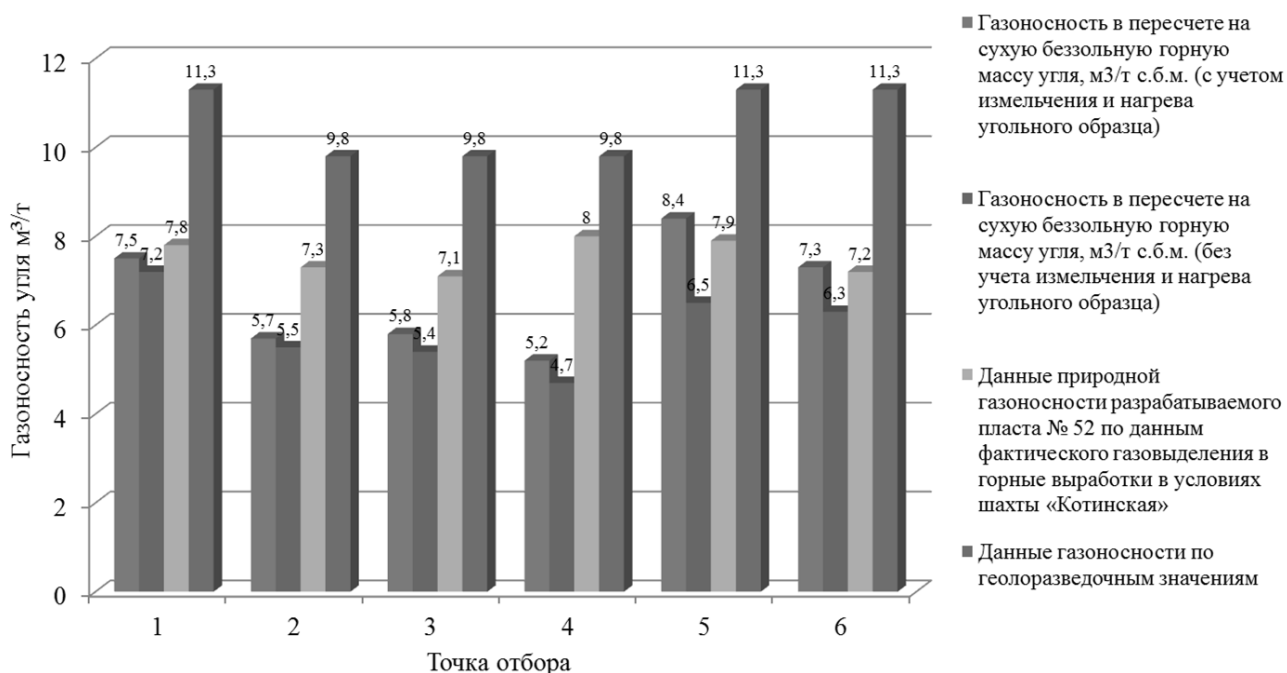


Рис. 4.4. Сравнение результатов газоносности угля χ , полученных на основе геологоразведочных работ, результатов прямых измерений газосодержание угля в шахтных условиях и значений фактического метановыделения в горные выработки

В процессе проведенных исследований получены следующие результаты: газоносность в пересчете на сухую беззольную горную массу угля, с учетом 24 отобранных угольных образцов, не превышает $8,5 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$ Значения газоносности угля, полученные при ведении геологоразведочных работ на 20 % выше, чем значения газоносности угля, полученные на основе разработанного подхода. Это обусловлено влиянием горных работ, в результате которых происходит разгрузка углепородного массива от горного давления, что приводит к увеличению количества десорбируемого метана и способствует его миграции в горные выработки или дегазационные скважины.

4.2. Оценка эффективности дегазации угольных пластов на основе уточненных значений газоносности угля

На сегодняшний день оценка эффективности дегазации в нашей стране определяется в соответствии с «Инструкцией по дегазации угольных шахт», утвержденной приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2012 г. Суть данного раздела сводится к тому, что необходимо рассчитать фактическую метанообильность горных выработок. При этом под метанообильностью выработок понимается объем метана, выделившегося в горные выработки. Различают метанообильность: абсолютную – количество метана, выделившегося в выработку (шахту, крыло, участок) в единицу времени, $\text{м}^3/\text{мин}$; $\text{м}^3/\text{сут}$ и относительную – количество метана, выделившегося в выработку (шахту, крыло, участок) и отнесенного к единице массы или объема угля или породы, добытых за этот же период ($\text{м}^3/\text{т}$, $\text{м}^3/\text{м}^3$) [3]. Таким образом, определяется только суммарное выделение газа без его разграничения по отдельным источникам в углепородном массиве. Поэтому для повышения достоверности оценки газоносности угольных пластов необходима регистрация границ

макрокинетических десорбционных процессов фильтрации и диффузии метана. Этот подход позволит совершенствовать схемы и параметры проветривания горных выработок и дегазации угольных пластов.

Фактическое измерение расхода каптируемого метана определяется коэффициентом K_d по формуле:

$$K_d = G_d / G_d + I', \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.4)$$

где G_d – суммарный расход (дебит) метана, извлекаемого на выемочном участке средствами дегазации, $\text{м}^3/\text{с}$;

I' – метановыделение в выработку при применении дегазации $\text{м}^3/\text{с}$.

Контроль эффективности дегазации осуществляется с помощью измерений дебита метана на скважинах, расчета фактического коэффициента дегазации и сравнения его с проектным значением. Одним из параметров при расчете и оценке эффективности заблаговременной и предварительной дегазации является газоносность угля. Под эффективностью дегазации угольных пластов понимается отношение газоносности рассматриваемой области угольного пласта до и после дегазации. По существующим нормативам оценить эффективность дегазации возможно только по косвенным методам, основанным на прогнозе метанообильности участков угольных шахт в зависимости от горно-геологических условий и использовании данных фактического газовыделения. Полученные этими методами значения газоносности несвоевременны и определяются только после отработки планируемого участка угольного пласта. Для оценки эффективности дегазации проводили прямые измерения газоносности угля. С помощью шахтного кернаборника из горизонтальных скважин в горных выработках угольных шахт отбирали угольные керны.

Оценка эффективности дегазации угольных пластов проводилась на 4 угольных шахтах Кузбасса (табл. 4.3). Оценка проводилась на основе применения коэффициента эффективности дегазации

$$K_{\text{эд}} = \frac{\chi_n - \chi'_n}{\chi_n}, \quad (4.5)$$

Здесь χ_n – природная газоносность угольного пласта, м³/т.;

χ'_n – газоносность после дегазации угольного пласта, м³/т.

В результате измерений установлено, что коэффициент дегазации для рассмотренных шахт изменяется от 10 до 30 % в зависимости от фильтрационных свойств угольных пластов. Под остаточной газоносностью понимается доля сохранившегося газа в угольном пласте в результате проведения дегазации [125, 126]. Способ определения газоносности используется в процессе ведения горных работ. χ_n – природная газоносность угольного пласта, определенная по данным геологоразведочных работ, м³/т с.б.м.

Таблица 4.3

Оценка эффективности дегазации угольных пластов на основе прямого метода

Угледобывающее предприятие	Коэффициент эффективности дегазации, $K_{\text{эд}}$	Природная газоносность, м ³ /т с.б.м.	Остаточная газоносность, м ³ /т с.б.м.
Шахта Заречная	0,08-0,15	9-14	1,2-2,1
Шахта Котинская	0,2-0,3	9-11	8,9-8,7
Шахта им. С.М. Кирова	0,1-0,3	17-20	2,0-7,6
Шахта Ерунаковская VIII	0,05-0,2	18-20	1,0-3,2

В результате измерений установлено, что коэффициент дегазации для рассмотренных шахт изменяется от 10 до 60 % в зависимости от фильтрационных свойств угольных пластов, существованием зоны активного водообмена, которая способствует интенсивной десорбции метана. Представленные значения газоносности характеризуют эффективность проведения дегазации на исследуемом участке угольного пласта. По геологическим данным значения газоносности угля до проведения дегазации превышала $20 \text{ м}^3/\text{т}$ угля. Выполненные измерения на шахтах Кузбасса подтвердили возможность применения методики для оценки газоносности угля на планируемых к разработке и разрабатываемых участках угольных пластов, для контроля эффективности их дегазации.

Оценка эффективности дегазации включала три этапа. На первом этапе была проанализирована горно-геологическая информация по каждой шахте и определены точки отбора угольных образцов. Вторым этапом заключался в отборе угольных образцов из горных выработок шахт и транспортировке проб в лабораторию. На третьем этапе в лабораторных условиях была выполнена:

- дегазация угольных проб;
- измерение метановыделения из угольных проб во времени;
- определение технических характеристик угля.

На четвертом этапе проведена камеральная обработка данных, полученных в лабораторных исследованиях, выполнена оценка газоносности отобранных угольных проб.

В каждой точке отбирали по три угольных пробы:

- 1 точка, 30-40 м от места сопряжения вентиляционного штрека с очистной выработкой;
- 2 точка, середина очистной выработки;
- 3 точка, 20-30 м от места сопряжения конвейерного штрека с очистной выработкой;
- 4 точка, подготовительный забой;

- 5 точка, 20-30 м от места сопряжения подготовительной выработки с конвейерным штреком;
- 6 точка, устье магистрального конвейера.

Для уточнения изогаз на исследуемом участке угольного пласта в каждой точке опробования принимали максимальные значение остаточной газоносности. Основанием для проведения исследований по уточнению газоносности угольного пласта в пределах выемочного столба на одной из шахт явились аномально низкие прогнозные показатели содержания метана в угольном пласте, обусловленные вероятно высокой проницаемостью угля, а также наличием близлежащих водоносных горизонтов. На (рис. 4.5) представлены значения газоносности, характеризующие эффективность проведения дегазации на исследуемом участке угольного пласта.

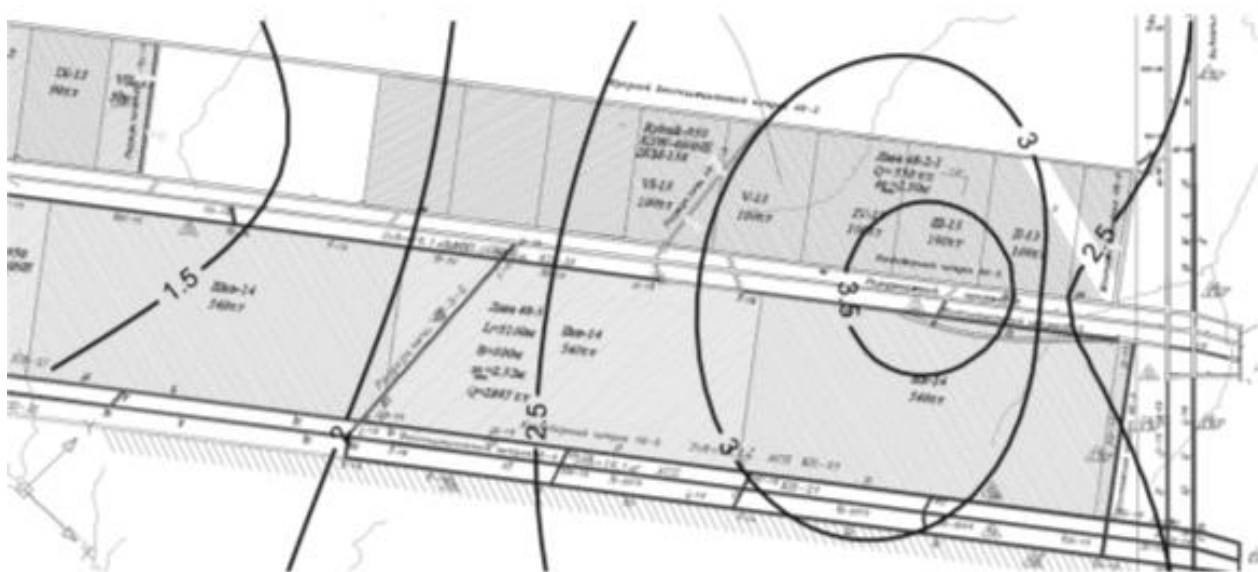


Рис. 4.5. Изогазы, построенные на основе уточненных значений газоносности угольного пласта 48

По геологическим значениям газоносность угля до проведения дегазации составляла $20 \text{ м}^3/\text{т}$. Полученные значения газоносности угля на основе предложенного подхода 10-20% ниже, чем данные геологоразведочных значений. Это объясняется удовлетворительными фильтрационными характеристиками угольного пласта, обусловленными

существованием зоны активного водообмена, которая способствует интенсивной десорбции метана.

Выполненные измерения на шахтах Кузбасса подтвердили возможность применения методики оценки природной и остаточной газоносности угля на планируемых к разработке и разрабатываемых участках угольных пластов. За период исследований оценки эффективности дегазации на основе прямого метода определения газоносности на угледобывающих предприятиях установлено влияние проницаемости угля на его способность газоотдачи.

Сравнения значения газоносности, полученные прямым методом при ведении геологоразведочных работ на 20 % меньше, чем значения газоносности, полученные на основе разработанной методики. Это говорит о том, что при нарушении целостности угольного пласта, в том числе при выемочных работах, газ начинает мигрировать в сторону горных выработок или по трещинам в местах нарушений к поверхности. Низкие значения газоносности на исследуемом участке можно объяснить хорошими фильтрационными характеристиками угольного пласта, что обуславливается циркуляцией подземных вод, которая способствует выносу метана. Исследование содержания газа на основе прямого метода из горных выработок дает базис для оценки эффективности дегазации на основе прямого метода определения газоносности в процессе ведения горных работ, а также позволяет прогнозировать схему и параметры проветривания горных выработок. Незначительные изменения газоносности в пределах лавы связано с выдержанными условиями залегания пласта.

4.3. Оценка объема выделившегося газа из отбитого угля для уточнения схем и параметров проветривания горных выработок

При добыче угля подземным способом большой интерес представляет остаточная газоносность угля, определяющая движение газа в призабойной зоне пласта. При проектировании систем вентиляции необходимо

использовать достоверные данные о метанобильности угольных пластов, связанных с физико-химическими свойствами угля, которые обуславливают объемы поступления метана в горные выработки при разгрузке углепородного массива. Разработанный подход позволяет оценить эффективность дегазации угольных пластов на планируемых к разработке и разрабатываемых участках, где показатели остаточной газоносности угля могут отличаться от результатов геологической разведки вследствие влияния горных работ.

Реализация указанного направления позволило заблаговременно выявить локальные участки газовых аномалий, уточнить значения газоносности, необходимые для проведения мероприятий по проветриванию горных выработок, что в свою очередь, может обеспечить увеличение скорости продвижения лавы, тем самым увеличив последующую добычу угля. Установленные значения газоносности угля характеризуют объем газа V_t , выделившегося в горные выработки за время от начала отбойки угля и его дальнейшей транспортировки по шахте. Оценка объема выделившегося газа V_t рассчитывается по следующей формуле:

$$V_t = \frac{L}{S} \times Q \times \int_0^{t_{total}} V(t) dt, m^3 \quad (4.6)$$

где $V(t)$ – выделившейся объем газа, cm^3/t ;

L – протяженность горных выработок, м;

S – скорость транспортировки угля по горным выработкам м/с;

Q – производительность очистного забоя, т.

Анализ полученных результатов объема выделившегося газа представлен в (табл. 4.4). Установленные значения остаточной газоносности угля характеризуют объем газа $V_{traffic}$, выделившегося в горные выработки за

время от начала отбойки угля и до его дальнейшей транспортировки по шахте. Отбор угольных образцов на шахте проводили в 5 точках в (рис. 4.6). В местах отбора угольных образцов были измерены температура окружающей среды и атмосферное давление в горных выработках шахты.

Таблица 4.4

Результаты оценки объема, выделившегося газа в горные выработки шахты в процессе транспортировки угля

Точка отбора	Объем выделившегося газа в единицу времени, м ³ /с
1	1,7
2	1,4
3	1,3
4	1,3
5	1,0

Эти параметры характеризовали первоначальный этап фильтрации и начальный процесс диффузии газа из угольной матрицы в момент отбойки и транспортировки угля по шахте.

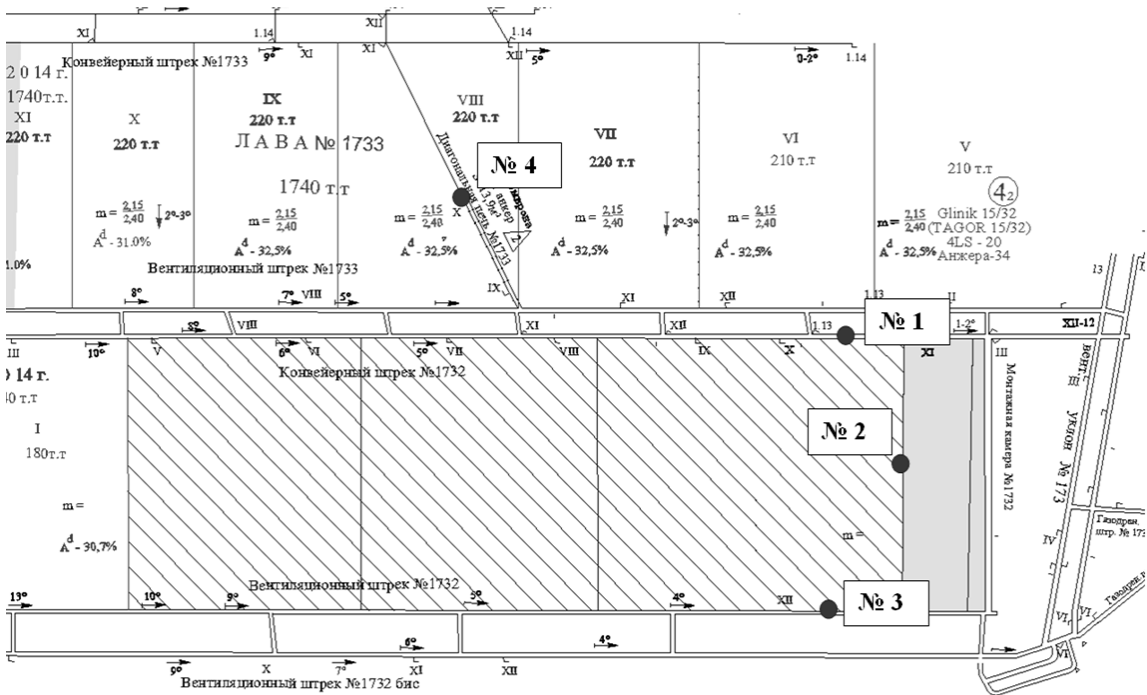


Рис. 4.6. Схема отбора угольных проб на участке угольного пласта

Полученные значения остаточной газоносности угля характеризуют объем газа V , выделившегося в горные выработки за время от начала отбойки угля и его дальнейшей транспортировки по шахте. В расчетах учтены следующие горно-технические параметры: выделившейся объем газа $V(t)$ в зависимости от времени t , отнесенный на тонну отбитого угля, $\text{м}^3/\text{т}$; средняя протяженность транспортных выработок $L = 2\,500$ м; скорость транспортировки угля по горным выработкам $S = 2,5$ м/с; средняя производительность очистного забоя $Q = 4$ т/мин (9 500 т/сут.).

Далее по результатам определения газоносности проводится оценка эффективности дегазации угольных пластов. При этом под эффективностью дегазации угольных пластов понимается отношение газоносности рассматриваемой области угольного пласта до и после дегазации (рис. 4.7). На основе разработанной методики можно определять границы областей угольных пластов с повышенной газоносностью в интервалах между пробуренными с поверхности геологоразведочными скважинами, принимать рациональные решения при расчете систем дегазации и вентиляции. Полученные на основе разработанной методики данные могут использоваться для уточнения природной газоносности угля при разработке схем проветривания шахт, а также для выявления локальных участков угольных пластов с повышенным содержанием метана.

Выводы

1. Разработана и опробована методика оценки газоносности угольных пластов, которая адекватно описывает неравномерность распределения метана в пределах разрабатываемого блока, что подтверждается результатами экспериментальных исследований в условиях 5 угольных шахт Кузбасса.

2. Предложенный метод оценки фактической природной газоносности угля в процессе ведения горных работ в условиях высокой интенсивности

угледобычи позволяет принимать рациональные решения по дегазации угольных пластов на исследуемых шахтах, включая:

- определение и уточнение критических по внезапным выбросам угля и газа глубин для шахтопластов;
- выявление локальных участков угольных пластов с повышенной газоносностью для предотвращения внезапных выбросов угля и газа и снижения газообильности горных выработок;
- использование полученных данных газоносности шахтопластов при разработке схем проветривания шахт;
- уточнение газоносности угольных пластов, особенно со сложной гипсометрией, в интервалах между пробуренными с поверхности разведочными скважинами с учетом кинетики десорбции метана.

3. Отобрано более 67 угольных проб на 5 угледобывающих предприятиях Кузбасса для определения остаточной газоносности угля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи по совершенствованию метода оценки газоносности угольных пластов на основе отбора угольных проб из скважин, пробуренных от борта горной выработки в угольный пласт с помощью разработанного шахтного кернонаборника, и определения выделившегося объема газа в шахтных и лабораторных условиях путем исследования процессов фильтрации и диффузии метана, имеющей существенное значение для отрасли наук о Земле.

Основные научные выводы и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. В шахтных испытаниях разработанного кернонаборника установлено, что его двухсекционная модификация наилучшим образом обеспечивает отбор кернов длиной 0,3 м; диаметром 0,062 м; коэффициентом керноотбора 0,7; временем выбуривания менее 1200 с и исключает перегрев угольных проб при их выбуривании.

2. Определено, что процесс фильтрации метана продолжается в течение 600-900 с, после чего он переходит в диффузионный процесс при условии не превышения давления в измерительной системе 170 кПа для кузбасских углей.

3. В лабораторных измерениях показано, что угловой коэффициент линейного участка десорбционной кривой, соответствующего закону Дарси, при фильтрации газа из трещиновато-порового пространства отобранных проб угля составляет 1,2-4,5. При этом объем упущенного газа корректно определяется на основе применения метода обратной экстраполяции в границах этого участка.

4. Установлено, что неравномерность пространственного распределения газоносности угля вызвана анизотропией компонентов угольного вещества, которое характеризуется изменением выхода летучих веществ $V^{daf}=37-43\%$ и

степени отражения витринита $R_0=0,7-0,9$ %, а также наличием локальных нарушений в структуре угольного пласта.

5. Установлено, что газоистощение угля на нелинейном участке десорбционной кривой удовлетворительно описывается логарифмической зависимостью объема выделившегося метана от времени для 67 угольных кернов, отобранных в центральной части Кузнецкого угольного бассейна, а ее применение позволяет снизить затраты времени на выполнение измерений газоносности угольных пластов на 20-50%.

6. Разработанная методика оценки газоносности угольных пластов, заключается в отборе угольных кернов с помощью кернонаборника из скважин, пробуренных в угольный пласт, с последующим измерением объема газа, выделившегося в процессе его десорбции в лабораторных условиях, и отличается от известных подходов тем, что при отборе проб из скважин, пробуренных в борт горной выработки, поддерживается квазипостоянная температура угольного пласта, которая соответствует натурным условиям его залегания.

1. Кормин, А.Н. Классификация угольных пластов по петрографическим свойствам / Кормин А. Н. // Вестник КузГТУ. – 2002. – № 5 – С. 48-49.
2. Тайлаков, О.В. Анализ структурных свойств углей Кузбасса / О.В. Тайлаков, М.П. Макеев, А.Н. Кормин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 8. – С. 285-286.
3. Тайлаков, О.В. Классификация источников и оценка эмиссии шахтного метана на основе геоинформационных технологий / О.В. Тайлаков, М.П. Макеев, А.Н. Кормин // Горный информационно-аналитический бюллетень. Тематическое приложение Метан. – 2006. – С. 206-210.
4. Кормин, А.Н. Оценка фактической природной газоносности угольных пластов при ведении горных работ./ А.Н. Кормин // Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. – 2009. – № ОВ7. – С. 150-154.
5. Тайлаков, О.В. Разработка методики определения газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ / О.В. Тайлаков, Е.В. Мазаник, А.Н. Кормин // Горный информационно-аналитический бюллетень. Экология, метанобезопасность. – 2011. – № 8 – С. 210-214.
6. Тайлаков, О.В. Оценка ресурсов метана на горных отводах действующих угольных шахт. / О.В. Тайлаков, А.Н. Кормин, В.О. Тайлаков // «Газовая промышленность» Спец. выпуск. – 2012. – № 672. – С. 18-19.
7. Тайлаков, О.В. Совершенствование метода определения газоносности угля для повышения эффективности дегазации угольных пластов / О.В. Тайлаков, А.Н. Кормин, А.И. Смыслов, В.О. Тайлаков // Газовая промышленность – 2012. – № 682. – С. 46-47.
8. Кормин, А.Н. Определение газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ./ А.Н. Кормин, Д.Н. Застрелов, В.О. Тайлаков

// Отдельный выпуск Горного Информационно-аналитического бюллетеня. – 2013. – № ОВ 6. – С. 155-160.

9. Тайлаков, О.В. К оценки ресурсов шахтного метана в выработанном пространстве. / О.В. Тайлаков, В.О. Тайлаков, М.П. Макеев, С.В. Соколов, А.Н. Кормин // Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. – 2013. – № ОВ 6. – С. 160-165.

10. Тайлаков, О.В. Определение остаточной газоносности угольных пластов на основе макрокинетических десорбционных процессов фильтрации и диффузии метана для оценки эффективности дегазации / О.В. Тайлаков, А.Н. Кормин, В.О. Тайлаков / Наука и техника в газовой промышленности – 2014. – № 1 – С. 10-13.

11. Тайлаков, О.В. Физическое моделирование изменения фильтрационных свойств угольных пластов / О.В. Тайлаков, Е.А. Уткаев, А.Н. Кормин, А.И. Смыслов // Вестник КузГТУ. – 2014. – № 6 – С. 13-16.

12. Тайлаков, О.В. Способ оценки ресурсов метана угольных пластов / О.В. Тайлаков, В.О. Тайлаков, Д.Н. Застрелов, А.Н. Кормин // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельная статья (специальный выпуск). – 2014. – № 12. – 12 с.

13. Тайлаков, О.В. Определение газоносности угольных пластов на основе исследования процессов фильтрации и диффузии метана / О.В. Тайлаков, А.Н. Кормин, Д.Н. Застрелов, Е.А. Уткаев // Уголь. – 2015. – № 1. – С. 74-77.

в прочих изданиях:

14. Кормин, А.Н. Классификация угледобывающих предприятий Кузбасса на основе применения кластерного анализа. / А.Н. Кормин // Проблемы освоения недр в XXI веке - глазами молодых: Материалы I Международной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 25-летию ИПКОН РАН, 21-23 октября, – 2002. – С. 163-165.

15. Tailakov, O.V. Coal mine methane ownership relations in Russia / O.V. Tailakov, D.V. Islamov, A.N. Kormin, & T.A. Panchisheva // the International Coalbed Methane Symposium, May 5-9, in Tuscaloosa, Alabama. – 2003. – P. 1-5.
16. Кормин, А.Н. Мониторинг эмиссии метана при добыче угля на основе геоинформационного подхода / А.Н. Кормин // Сборник трудов научной сессии Кемеровского научного центра СО РАН, – 2005. – С. 187.
17. Тайлаков, О.В. Обобщенная оценка объемов эмиссии метана в угольной промышленности России / О.В. Тайлаков, А.Н. Кормин, В.О. Тайлаков // Проблемы и перспективы инновационного развития экономики Кузбасса. – Материалы международного форума. – 2008. – С. 90-97.
18. Тайлаков, О.В. Эмиссия метана при добыче угля в России. / О.В. Тайлаков, А.Н. Кормин, М.Л. Гитарский, В.О. Тайлаков // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Том XXII. – Москва: ИГКЭ. – 2009. – С. 216-227.
19. Кормин, А.Н. Сопоставительный анализ прямых методов определения газоносности угольных пластов / А.Н. Кормин // Сборник трудов Всероссийской научной конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых с элементами научной школы «Горняцкая смена -2013». Том 3. – 2013. – С. 260-263.
20. Тайлаков, О.В. Совершенствование метода оценки остаточной газоносности угольных пластов / О.В. Тайлаков, А.Н. Кормин // Сборник научных трудов. Выпуск 2 «Пути повышения эффективности и безопасности освоения пластового месторождения полезных ископаемых подземным способом». – 2014. – С. 409-413.
21. Tailakov O.V., Zastrelov D.N., Utkaev E.A., Smyslov A.I., Kormin A.N. Experience for Coal Mine Methane Utilization to Generate Thermal and Electric Power // Taishan Academic Forum – Project on mine Disaster Prevention and Control – Mining 2014. – Qingdao, China, 17-20 October, 2014. - pp. 450-454.

Список использованных источников литературы

1. Кравцов А.И. Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР. Гл. редактор Том. II. Угольные бассейны и месторождения Сибири, Казахстана и Дальнего Востока // – М.: Недра. – 1979. - 454 с.
2. Кравцов А.И. Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР. Гл. редактор Том. 3. Генезис и закономерности природных газов угольных бассейнов и месторождений СССР // – М.: Недра. – 1980. - 218 с.
3. Инструкция по определению и прогнозу газоносности угольных пластов и вмещающих пород при геологоразведочных работах // – М.: Недра. – 1977. - 95 с.
4. Васильчиков М.Н. Опыт определения газоносности угольных пластов Центрального района Донбасса, путем отбора проб из подземных выработок. // Научное сообщение ИГД им. А.А. Скочинского: 1984, № 225. – С. 38-41.
5. Бухны Д.И. Органические включения в углевмещающих породах и их влияние на величину метаноносности и газоносности пород // Научные сообщения ИГД им. А.А. Скочинского: Выпуск 206. – С. 39-47.
6. Васючков Ю.Ф. Диффузия метана в пластах ископаемых углей // Химия твердого топлива. –1976. № 4. – С. 27-33.
7. Дмитриев А.М. Проблемы газоносности угольных месторождений // – М.: Недра. – 1982. – 260 с.
8. Seidle J.P., M.W. Jeansonne, and D.J. Erickson, «Application of Production Practices, American Petroleum Institute / Matchstick Geometry to Stress Dependent Permeability in Coals» SPE Paper 24361, presented at the SPE Rocky Mountain Regional Meeting, // Casper, Wyoming May 18-21, – 1992. – p. 482.
9. Atilla Ozturk C.A., E. Nasuf and N. Bilgin / The assessment of rock cutability, and physical and mechanical rock properties from a texture coefficient.

// The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. August – 2004. pp. 10–16.

10. Schraad M.W., Trintafyllidis N. Scale effects in media with periodic and nearly periodic microstructures. // Part Macroscopic properties // Trans. ASME. J. Appl. Mech. 4, V. 64, 1997. p. 751–762.

11. Угольная база России. Том II. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Запдно-Сибирский, бассейны; месторождения Алтайского края и Республики Алтай) // – М.: ООО «Геоинформцентр». – 2003. – 604 с.

12. Артемьев В.Б., Гагарин С.Г. Петрография углей и их эффективное использования // – М.: – 2000 – 335 с.

13. Арцер А.С., Протасов С.И. Угли Кузбасса: Происхождения, качество, использование // Кемерово. – 1999. – 176 с.

14. Левенштейн М.Л. Закономерности метаморфизма углей Донецкого бассейна // Сов. геология. –1962. № 2. – С. 61-79.

15. Ходот В.В., Яновская М.Ф., Премыслер Ю.С. и др. Физико-химия газодинамических явлений в шахтах // – М.: Наука. – 1973. – 140 с.

16. Геологические основы методики изучения и прогнозирования газоносности вмещающих пород угольных месторождений // Б.М. Зимаков, В.Я. Колесник, А.Г. Ефремова. // – М.: ИПКОН АН СССР. – 1986. – 526 с.

17. Скочинский А.А., Ходот В.В. и др. Метан в угольных пластах. Под общей ред. Скочинского А.А. и Ходота В.В. // – М.: Углетехиздат. – 1958. – 256 с.

18. Клебанов Ф.С. Аэродинамические методы управления меановыделением в угольных шахтах // – М.: ИГД им. А.А. Скочинского. – 1974. – 31 с.

19. Еремин И.В., Броновец Т.М. Марочный состав углей и их рациональное использование: Справочник // – М.: Недра. – 1994. – 254 с.

20. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт // Киев: Основа. – 1994. – 311 с.

21. Булатов А.И., Рябченко В.И., Сибирко И.А. и др. / Газопроевления в скважинах и борьба с ними // – М.: Недра. – 1969. – 278 с.
22. Горная энциклопедия // – М.: Советская энциклопедия, тома 1-5. – 1989.
23. Дадали А.А. Кинетические закономерности радикальных процессов, стимулированных сдвиговой деформацией под давлением / И.П. Ластенко, А.Л. Бучаченко // Химическая физика. – 1988. – Т. 7. – № 1. – С. 74-77.
24. Трубецкой К.Н., Рубан А.Д., Викторов С.Д., Малинникова О.Н., Одинцев В.Н., Кочанов А.Н., Учаев Д.В. Фрактальная структура нарушенности каменных углей и их предрасположенность к газодинамическому разрушению. Доклады академии наук // Т. – 2010. № 6. – С. 1-4.
25. Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т. Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов // – М.: Изд-во Академии горных наук. – 2000. – 519 с.
26. Айруни А.Т. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений в угольных шахтах. // – М.: Наука. – 1987. – 310 с.
27. Лидин Г.Д., Айруни А.Т., Клебанов Ф.С. О механизме действия дегазационных скважин, пробуренных по разрабатываемым угольным пластам. Физико-технические горные проблемы // – М.: Наука. – 1971. – С. 146-158.
28. Алексеев А.Д., Айруни А.Т., Зверев И.В. и др. Распад газоугольных твердых растворов. Сб.: Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых // Новосибирск. – 1994. – № 3. – С. 65-70.
29. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика подземных сооружений и конструкции крепей // – М.: Недра. – 1992. – 544 с.

30. Тиаб Дж., Дональдсон Эрл Ч. Петрофизика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движение пластовых флюидов. Перевод с английского // – М.: ООО «Премиум инжиниринг». – 2009. – 868 с.
31. Кизряков А.Д., Махов А.А. Точность определения природной газоносности угольных пластов. Повышение эффективности геолого-геофизических методов исследования месторождений полезных ископаемых // Караганда. – 1988. – С. 18-21.
32. Гагулин М.В., Жимчича И.М. Определение давления газа в угольных пластах по газоносности керновых проб. Научное сообщение // Институт горного дела им. А.А. Скочинского. – 1983, № 217, – С. 34-37.
33. Эттингер И.А. Газоёмкость ископаемых углей // – М.: Недра. – 1966. – 222 с.
34. Рубан А.Д., Забурдяев В.С., Забурдяев Г.С. и др. Метан в шахтах и рудниках России: прогноз, извлечение и использование // – М.: ИПКОН РАН. – 2006. – 312 с.
35. Газоносность угольных пластов и газообильность выработок при новой технологий выемки в условиях Прокопьевско-Киселевского района. Выпуск № 2 // – М.: Недра. – 1985. – 212 с.
36. Методика определения природной газоносности угольных пластов действующих и строящихся шахт Донбасса. // Минуглепром СССР: –1981. – 84 с.
37. Забурдяев В.С. Новые методы дегазации и управления газовыделением в угольных шахтах. // – М.: ЦНИЭИуголь. – 1990. – 65 с.
38. Рыженко И.О. О локальных повышениях давления газа в пласте и его температуры впереди забоя // Уголь Украины. – 1980. – № 2. – С. 31-32.
39. Горбенко Л.А., Лучкин В.А. Отбор образцов пород и проб, жидкости из пластов в скважинах // – М.: Недра. – 1970. – 149 с.

40. Спивак А.М., Попов А.Н. Механика горных пород. 2-е изд., перераб. и доп. // – М.: Недра. – 1975. – 200 с.
41. Артемов А.В. Особенности молекулярной структуры углей в выбросоопасных зонах пластов Донбасса / Артемов А.В., Г.Д. Фролков // – Уголь. – 1975. №11 – С. 30 – 32.
42. Шейнин В.И. и др. Диагностика быстрых периодических изменений напряжений в горных породах по данным инфракрасной радиометрии // Физика Земли. №4 – 2001. С. 56–62.
43. Ступаков В.П., Ефремова А.Г., Зимаков Б.М. Структура ресурсов и перспективы добычи метана в угольных месторождениях СНГ: – Сб. науч. тр. Книга 1/ ВНИИГАЗ // – М.: – 1994. – 195 с.
44. Обзор угольной промышленности за 1998 год. Минтопэнерго РФ.
45. Разработка угольных пластов в шахтах с высоким уровнем выделения метана и газодинамическими явлениями за рубежом Выпуск №9 // – М.: – 1988 – 57 с.
46. Тарасов Б.Г. Прогноз газообильности выработок и дегазация шахт // – М.: Недра. – 1973. – 207 с.
47. Алексеев А.Д., Василенко Т.А., Гуменник К.В. и др. Диффузионно-фильтрационная модель выхода метана из угольного пласта // Журнал технической физики – 2007. – Т. 77. – № 4. – С. 65-74.
48. Петросян А.Э., Калякина Т.Н. Газовыделение в зонах тектонических нарушений. Выпуск 170 // – М.: ИГД им. А.А. Скочинского. – 1978. – С. 3-9.
49. Лидин Г.Д. Газообильность каменноугольных шахт СССР. Том 1 // – М.: изд-во АН СССР. – 1949. – 224 с.
50. Киряева Т.А. Релаксационная способность метаноносности угольного пласта / Недропользование. Горное дело. Геоэкология // – Новосибирск: СГГА. – 2013. –Т. 3. – С.47-52.

51. Эттингер И.Л. Распределение метана в порах ископаемых углей И.Л Эттингер, Н.В. Шульман // – М.: Наука. – 1975. – 111 с.
52. Горная энциклопедия. / Гл. ред. Е.А. Козловский, Г 69 Ред. кол.: Агошков М.И., Байбаков Н.К., Болдырев А.С. и др. // – М.: Сов. Энциклопедия. Т.3. Кенган - Орт. – 1987. – 592 с.
53. Эттингер И.Л., Маевский В.С. Контроль газодинамического состояния призабойной зоны пласта // – Уголь. – 1983. № 5 – С. 8-9.
54. Козловский Е.А., Шаров Н.Г., Золотых С.С. Особенности сырьевой базы промысловой добычи метана из угольных пластов в Кузбассе // – Препринт МЦ ИУУ СО РАН, № 3. Кемерово – 1996. – С. 1-7.
55. Эттингер И.Л., Радченко С.А. Метаноперенос в образцах угля и угольных пластах // – Химия твердого топлива. №4 1988. – С. 29-39.
56. Эттингер И.Л., Радченко С.А. Время релаксации как характеристика метанопереноса в углях // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых – 1988. №4 – С. 97-101.
57. Алексеев А.А., Коврига Н.Н., Стариков Г.П. и др. Связанный метан в природных углях. Физико-технические проблемы горного производства. Вып. 6. // – Донецк. 2003. – С. 5-12.
58. Кузнецов С.В., Бобин В.А. Исследование динамики изменения давления газа в замкнутом объеме за счет десорбции метана из угля // – М.: ИПКОН АН СССР. – 1982. – С. 60-72.
59. Матвеев А.К. Геология угольных бассейнов и месторождений СССР // – М.: Недра. – 1989. 259 с.
60. Айруни А.Т., Бобин В.А., Зверев И.В. Теоретические основы формирования микроструктуры газонасыщенного угольного вещества Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых // – Новосибирск, 1985. № 6. – С. 89-96.
61. Опарин В.Н., Киряева Т.А., Гаврилов В.Ю., Шутилов Р.А., Ковчавцев А.П., Танайно А.С., Ефимов В.П., Астраханцев И.Е., Гренев И.В. О некоторых особенностях взаимодействия между геомеханическими

и физико-химическими процессами в угольных пластах Кузбасса // – ФТПРПИ. – 2014. – № 2.

62. Ножкин Н.В. Заблаговременная дегазация угольных месторождений // – М.: Недра, 1979. – 271 с.

63. Справочник физических свойств горных пород / под ред. Мельникова Н.В., Протодяконова М.М., Ржевского В.В. // – М.: Недра. – 1975. – 279 с.

64. Ефремов К.А. Газообильность каменноугольных шахт // – М.: Недра. – 1974. – 206 с.

65. Шульман Н.В., Лоскутников В.В. Влияние нарушенного угля и коэффициента диффузии на начальную скорость газовыделения. Геомеханика выбросоопасных угольных пластов и аэрогазодинамика глубоких шахт // – М.: ИПКОН АН СССР. – 1988. – С. 99-104.

66. Радченко С.А, Баранов В.П. Уточненный метод описания динамики газовыделения при десорбции метана из угля. Дифференциальные уравнения и прикладные задачи // Тула: ТулГТУ – 1993 – С. 57-61.

67. Матвиенко Н.Г. Развитие основ учения о природе газоносности месторождений твердых полезных ископаемых / Н.Г. Матвиенко, Б.М. Зимаков. Научные сообщения ИГД им. А.А. Скочинского // – М.: – 2004. № 327. С. 99-106.

68. Ковалев Ю.М., Кузнецов С.В. Фильтрация газа в разрабатываемом угольном пласте при диффузионном процессе десорбции // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых – 1974. № 6. – С. 74-77.

69. Малинникова О.Н. Условия образования метана из угля при разрушении. Горный Информационно-аналитический бюллетень. Вып. 5 // – М.: МГГУ. – 2001. – С. 95-99.

70. Бакалдина А.П. Сорбционная метаноемкость углей различного петрографического состава // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1964. № 9 С. 64-67.
71. Яворский В.И. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР // – М.: Недра. – 1969. – Т.7. – С. 305-311.
72. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород // – М.: Недра. – 1967. – 288 с.
73. Радченко С.А. Зависимость скорости метанопереноса в ископаемом угле от температуры. Разработка и обогащение твердых полезных ископаемых // – М.: ИПКОН АН СССР. – 1981 – С. 155-160.
74. Эттингер И.Л., Шульман Н.В., Ковалева И.Б. О теплотах сорбции метана ископаемыми углями при давлениях до 8,0 МПа // Химия твердого топлива. – 1981 №5 – 124 с.
75. Дубинин М.М. Адсорбция и пористость // – М.: ВАХЗ. – 1972. – 127 с.
76. Киселев А.В., Яшин Я.И. Химия поверхности и адсорбция. Газо-адсорбционная хроматография // – М.: Наука. – 1967. – 288 с.
77. Серпинский В.В. Равновесная сорбция и деформация твердых сорбентов // – Извещение АН СССР. Сер. хим. – 1981. № 1. – С. 71-76.
78. Малинникова О.Н., Фейт Г.Н. Эффект дополнительной сорбции метана в призабойной зоне угольного пласта: Научное сообщение // Института горного дела им. А.А. Скочинского. 1997. Вып. 305. – 44 с.
79. Бокий Б.В., Ирисов С.Г. Совершенствование десорбиметрического способа оценки газоносности призабойной зоны угольных пластов // Донецкий горный институт. – 2002. № 3 – С. 27-29.
80. Шевченко Л.А. Влияние газоотдачи из отбитого угля на газовый баланс высокопроизводительных забоев. Кузбасский политехнический институт. Кемерово. – 1987. – 22 с.
81. Алексеев А.Д., Мелюс А.Н., Сереброва Н.Н., Синолицкий В.В., Ульянова Е.В. Способ определения остаточной газоносности каменных

углей // Донецкий физико-технический институт АН УССР. № 3793480. – С. 24-25.

82. Ирисов С.Г. Применение десорбометрии для оценки влияния гидрорасчленения на газоносность угля в призабойной зоне // Разработка месторождения полезных ископаемых. № 651983. – С. 8-11.

83. Васючков Ю.Ф. Физико-химические способы дегазации угольных пластов // – М.: Недра – 1986. – 255 с.

84. Ильницкая Е.И. и др. Свойства горных пород и методы их определения // – М.: Недра – 1969. - 147 с.

85. Гагарин С.Г. Влияние петрографических показателей на сорбцию метана углями // Кокс и химия. – 2007. № 7. – С. 11-16.

86. Греков С.П., Зинченко И.Н., Шайтан И.А. Зависимость химической активности углей от остаточной их газоносности и продолжительности окисления // Уголь Украины. 2006. № 2 – С. 26-28.

87. Ковалева И.Б., Маевский В.С. Изучение охлаждения угольного пласта при десорбции метана для оценки газоносности и выбороопасности. Прогноз и предотвращение газопроявлений при подземной разрабки полезных ископаемых // – М.: 1982 – С. 69-76.

88. Ковальчук С.Н., Барышников Е.Г. Исследования по уточнению остаточной газоносности целиков угля при короткозабойных системах разработки в условиях гидрошахт // Новокузнецк. 1981. – С. 174-179 с.

89. Яровой И.М., Бескровный В.И., Масленко Н.К., Чукаев И.П. Исследование метаноносности пластов кернагазонаборниками ДГИ в шахтах Западного Донбасса // Безопасность труда в промышленности, 1967, № 2, – С. 40-41.

90. Яровой И.М., Масленко Н.К., Бессчастный А.В. Исследование метаноносности пластов и фактической метанообильности горных выработок на действующих и строящихся шахтах западного Донбасса // Техника безопасности труда и горноспасательное дело: – 1969, № 11-12 – С. 119-123.

91. Коган Г.Л. Коллекторские свойства угля и расчет снижения давления газа при дегазации выбросоопасных угольных пластов / Г.Л. Коган, В.Г. Крупеня, Ю.С. Премыслер // – Киев: – 1973. – 152 с.
92. Назаренко А.П., Жуков А.Е., Канин В.В. Разработка газоносных пластов, склонных к внезапным выбросам // Безопасность труда в промышленности: – 1984. №5. – С. 55-57.
93. Кузнецов С.В., Кригман Р.Н. Природная проницаемость угольных пластов и методы ее определения // – М.: Наука. – 1978. – 122 с.
94. Королюк В.С., Портеко Н.И., Скороход А.В., Турбин А.Ф. Справочник по теории вероятности и математической статистики // – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. – 1985. – 640 с.
95. Горбунов В.А. Методы математической физики в задачах горного производства: Учебное пособие для вузов. - 2-е изд., стер. // – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2002. – 408 с.
96. Математический энциклопедический словарь // – М.: Советская энциклопедия. – 1988.
97. Спивак А.И., Попов А.Н. Разрушение горных пород при бурении скважин. 3-е изд., перераб. и доп. // – М.: Недра. – 1979. – 240 с.
98. Достоверность керновых проб и выбор диаметров скважин при разведке месторождений. ВПО Союзгеотехника. Всесоюзный научно-исследовательский институт методики и техники разведки // – Л.: Недра. – 1982 – 57 с.
99. Пономарев П.П., Каулин В.А. Отбор керна при колонковом геологоразведочном бурении // – Л.: Недра – 1989. – 256 с.
100. Справочник по бурению скважин на уголь / Новиков Г.П., Белкин О.К., Ключев Л.К. и др. // – М.: Недра. – 1988.
101. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований в скважинах // – М.: Недра – 1985. – 216 с.

102. Кормин А.Н. Оценка фактической природной газоносности угольных пластов при ведении горных работ. Отдельный выпуск Горного Информационно-аналитического бюллетеня // – М.: – 2009. № ОВ7. «ГОРНАЯ КНИГА» – 2009. – С. 150-154.

103. Тайлаков О.В., Мазаник Е.В., Кормин А.Н. Разработка методики определения газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ. Горный Информационно-аналитический бюллетень. Экология, метанобезопасность // – М.: Издательство «ГОРНАЯ КНИГА» – 2011. – № 8. – С. 210-214.

104. Тайлаков О.В. Оценка ресурсов метана на горных отводах действующих угольных шахт. Тайлаков О.В., Кормин А.Н. Журнал «Газовая промышленность» Спец. выпуск № 672 //– М.: Издательство «Газоил пресс». – 2012. – С. 18-19.

105. Морьев А.М., Евсеев И.И. Дегазация сближенных пластов // – М.: Недра – 1975. – 167 с.

106. Алидзаев Е.Д. Дегазация угольных пластов М.: Госгортехиздат. 1960 - 44 с.

107. Радченко С.А. Определение коэффициентов диффузии метана в угле. Возможности повысить безопасность в шахтах. // – Инженерная физика. – 2007. №5 – С. 59-61.

108. Пономарев Г.А. Влияние неравномерного распределения остаточной газоносности угля вокруг скважин. НТИ угольной промышленности. // – Техническая безопасность, охрана труда и горноспасательное дело. – 1982. № 3/177. – С. 36-37.

109. Бобин В.А. Сорбционные процессы в природном угле и его структура. М.: ИПКОН АН СССР, 1987. 135 с.

110. Способ определения коэффициента диффузии метана в ископаемом угле / Смоланов И.Н., Стариков Г.П., Василенко Т.А. и др. // Сб.: Физико-технические проблемы горного производства. Выпуск 6. - Донецк: ТОВ «АПЕКС», 2003. – С. 151-156.

111. Кузнецов С.В., Бобин В.А. К вопросу о кинетике десорбции метана при газодинамических явлениях в шахтах // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1980. № 1. – С. 58-65.
112. Мясников А.А., Садохин В.П., Церна Г.И. Неравновесная фильтрация метана в угольном пласте // – Труды ВостНИИ по безопасности работ в горной промышленности. Кемерово. – 1973. № 19. – С. 16-27.
113. Алексеев А.Д., Василенко Т.А., Кириллов А.К. Фрактальный анализ иерархической структуры поверхностей ископаемых углей // ФТПРПИ. – 2008. – №3. – С. 14-24.
114. Эттингер И.А. Сорбционные свойства ископаемых углей и их роли в процессах газовыделения в угольных шахтах. – М.: Недра, 1969. – 36 с.
115. Эттингер И.Л., Лидин Г.Д., Радченко С.А. и др. Формирование в земной коре углеметановых месторождений и механизм миграции метана через угольные пласты. Тезисы докладов II Всесоюзной конференции «Природные газы Земли и их роль в формировании земной коры и месторождений полезных ископаемых» // – М.: МГРИ. – 1982 – 63 с.
116. Эттингер И.Л., Шульман Н.В., Радченко С.А. Сорбционно-кинетические характеристики угля, позволяющие прогнозировать газодинамические свойства пласта и метанообильность горных выработок. Тезисы докладов Всесоюзной научной конференции вузов СССР с участием научно-исследовательских институтов – М.: МГГУ, 1982 – 5 с.
117. Радченко С.А., Королев В.В., Гуткин Э.М. О взаимосвязи сорбционно-кинетических характеристик угля с интенсивностью газовыделения в призабойной зоне при различных технологических режимах проходки. Прогноз и предотвращение газопроявлений при подземной разработке полезных ископаемых // – М.: ИПКОН АН СССР, 1982 – С. 61-68.

118. Эттингер И.Л., Радченко С.А. Определение и использование диффузионного параметра десорбции метана для оценки газовыделения угля // Методы борьбы с рудничными газами и пылью // – М.: ИПКОН АН СССР. – 1987. – С. 144-149.
119. Рац М. В. Неоднородность горных пород и их физических свойств. // – М.: Наука. – 1968.
120. Кузнецова С.Н., Гайко Э.Н., Горбунов А.К. Результаты шахтных испытаний методики определения остаточной газоносности углей электрометрическим методом. Нетрадиционные способы добычи и использования угля // – М.: – 1989. – С. 52-54.
121. Петросян А.Э., Лидин Г.Д., Дмитриев А.М. и др. Закономерности распределения метана в угольных месторождениях // – М.: Наука. – 1973. 148 с.
122. Рыженко И.А. Шахтный экспресс-метод определения газоносности угля в призабойной части пласта // Промышленная теплотехника – 1995. 17, № 5. – С. 74-79.
123. Рудничная аэрология. / Научные сообщения ИГД им. А.А. Скочинского, вып. 206 // – М.: 1982. – 99 с.
124. Жамбю. Иерархический кластер-анализ и соответствия. Серия: Математико-статистические методы за рубежом // – 1988. Твердый переплет. – 344 с.
125. Методика выполнения измерений природной газоносности угольных пластов объемным методом (ФР.1.292010.07454) // Кемерово: ИУ СО РАН. – 2010. – 17 с.
126. Временная методика определения газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ // Кемерово: ИУУ СО РАН – 2008. – 5 с.

Приложение 1. Акт исследовательских испытаний «Временной методики определения фактической природной газоносности угольных пластов при ведении горных работ»

УТВЕРЖДАЮ:
Директор шахты «Котинская»

М.Г. Лупин
«26» февраль 2008 г.

АКТ
исследовательских испытаний
«Временной методики определения фактической природной газоносности угольных пластов при ведении горных работ»

г. Киселевск 25 февраль 2008 г.

Приемочная комиссия, назначенная приказом № 30А директора Института угля и углехимии СО РАН, в составе:

Председатель:
д.т.н., профессор ИУУ СО РАН Тайлаков О.В.

Члены комиссии:

- к.т.н., младший научный сотрудник ИУУ СО РАН Застрелов Д.Н.;
- младший научный сотрудник ИУУ СО РАН Кормин А.Н.;
- начальник управления аэрологической безопасности ПГР ОАО «СУЭК» Костеренко В.Н.;
- главный инженер шахты «Котинская» ОАО СУЭК-Кузбасс Баклушин Ю.И.

в соответствии с «Программой исследовательских испытаний временной методики определения газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ» и «Методикой исследовательских испытаний временной методики определения газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ» провела исследовательские испытания «Временной методики определения фактической природной газоносности угольных пластов при ведении горных работ» в условиях угольных пластов №№ 52, 51, 50, 49 и выемочного участка № 5203 шахты «Котинская» ОАО «СУЭК-Кузбасс».

На основании представленных документов Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору письмом № БК-45/36 «Об испытаниях методики» разрешила проведение исследовательских испытаний «Временной методики определения фактической природной газоносности угольных пластов при ведении горных работ» в условиях угольных пластов №№ 52, 51, 50, 49 и выемочного участка № 5203 шахты «Котинская» ОАО «СУЭК-Кузбасс».

Исследовательские испытания проводились в период с октября 2007 года по февраль 2008 года.

Исследовательские испытания проведены в соответствии с «Временной методикой определения фактической природной газоносности угольных

пластов при ведении горных работ», полученные данные о газоносности угольных пластов на основе десорбционных тестов сопоставлялись с результатами определения газоносности путем оценки по данным газовоздушных съемок, проводимых в тупиковых частях подготовительных выработок за пределами зон влияния очистных работ.

В ходе исследовательских испытаний установлено:

1. Метод определения газоносности, приведенный во «Временной методике определения газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ» позволяет с достаточной точностью определить природную газоносность угольного пласта по исследованиям образцов угля, взятым из угольного массива.
2. Прямой метод определения десорбированного газа из образца при естественных условиях и при нагреве позволяет определить не только природную газоносность пласта, но и остаточную.
3. Количество упущенного газа во время взятия керна рассчитывается методом обратной экстраполяции.
4. Данный метод является наиболее объективным из существующих по определению природной газоносности угольных пластов, применимый при эксплуатации угольных шахт.
5. Комплект оборудования компании Raven Ridge Resources (США) позволяет проводить работы по определению газоносности в соответствии с методом, описанным во «Временной методике определения газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ».
6. Персонал ИУУ СО РАН, ЗАО «Углеметан Сервис» по разработанной методике «Методика определения газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ» может определять природную газоносность угольного пласта по исследованиям угольных образцов десорбционным методом.

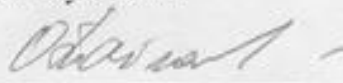
Комиссия постановила:

1. Исследовательские испытания «Временной методике определения газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ» проведены в соответствии с «Методикой исследовательских испытаний временной методики определения газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ» и «Программой исследовательских испытаний временной методики определения газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ».
2. «Временная методика определения газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ» позволяет описанным прямым

методом объективно определить природную газоносность угольного пласта по результатам десорбции метана из угольных образцов.

3. Рекомендовать метод, приведенный во «Временной методике определения газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ», для дальнейших исследований по определению природной газоносности угольных пластов в процессе эксплуатации шахт Кузбасса, при использовании его организациями, проводившими исследовательские испытания: Институтом угля и углехимии СО РАН, ЗАО «Углеметан Сервис».
4. На основе «Временной методики определения газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ» для дальнейшей апробации метода десорбции специалистами Института угля и углехимии СО РАН и «Углеметан Сервис» разработать «Временную методику определения газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ» для применения ее на угольных шахтах Кузбасса.

Д.Т.Н.



О.В. Тайлаков

К.Т.Н.



Д.Н. Застрелов



А.Н. Кормин

В.Н. Костеренко



Ю.И. Баклушин

Приложение 2. Акт практического использования результатов «Оценки газоносности угольных пластов в пределах выемочного столба 48-2 шахты «Ерунаковская-VIII»

Согласовано
Директор
ФГП СО РАН
Специального отделения
Российской академии наук,
ФГП СО РАН
В.И. Килишин
2013 г.

Утверждаю
Главный геолог
ООО «Юж. Кузбасс»
Ю.Т. Москалик

АКТ

практического использования результатов «Оценки газоносности угольных пластов в пределах выемочного столба 48-2 шахты «Ерунаковская-VIII», изложенных в диссертационной работе Кормина А.Н.

На основании исследований, проведенных в соответствии с «Методикой определения газоносности угольных пластов в процессе ведения горных работ», исследовано 11 угольных образцов, которые были отобраны в пределах выемочного участка 48-2 шахты «Ерунаковская VIII». В рамках проведенных исследований выявлено низкое содержание метана в угольном пласте ($1,0 - 4 \text{ м}^3/\text{т}$), обусловленное вероятно высокой проницаемостью угля, а также наличием близлежащих водоносных горизонтов. По результатам исследований представлены результаты газоносности и технических характеристик отобранных угольных образцов в трех точках на выемочном участке 48-2, информация о горно-геологических условиях залегания исследуемого участка, а также краткое изложение метода определения газоносности угольных пластов.

Внедренные результаты диссертационных исследований Кормина А.Н. использованы при принятии решений о необходимости проведения дегазации, а также для уточнения схемы и параметров проветривания горных выработок.


научный сотрудник
Института угля СО РАН,
к.т.н. Д.Н. Застрелов


младший научный сотрудник
Института угля СО РАН,
А.Н. Кормин