

На правах рукописи



**КХАН МОХАММАД ФОРРУКХ ХОССЕЙН**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ  
МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ  
ОЧИСТНЫХ РАБОТАХ, УЧИТЫВАЮЩЕГО НАПРЯЖЕННОЕ  
СОСТОЯНИЕ ГОРНОГО МАССИВА  
(на примере угольных месторождений Бангладеш)**

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

**Автореферат**

**на соискание ученой степени кандидата**

**технических наук**

**МОСКВА 2011 г.**

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе» на кафедре разработки месторождений стратегических видов минерального сырья и маркшейдерского дела.

Научные руководители: доктор технических наук, профессор

Ковалев Игорь Антонинович

доктор технических наук, профессор

Боровков Юрий Александрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор

Демин Николай Владимирович

кандидат технических наук

Карпиков Артем Алексеевич

Ведущая организация: Институт «Гипроцветмет»

Защита диссертации состоится «15» декабря 2011 г. В 13 часов на заседании диссертационного совета Д.212.121.08 при Российском государственном геологоразведочном университете по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23 (ауд.6-87)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета.

Автореферат разослан «14» ноября 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного  
совета, кандидат технических наук

Холобаев Е.Н.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Выделения метана в горные выработки и очистное пространство при ведении горных работ, а также разработка методов прогноза относится к одной из основных проблем рудничной аэрогазодинамики. При этом прослеживается неразрывная связь газокинетических характеристик пласта с напряженно-деформированным состоянием (НДС) массива и геомеханическими процессами, происходящими при разработке угольных месторождений, что имеет свой положительный аспект, заключающийся в возможности уточнять особенности геомеханического процесса по динамике метанообильности горных работ.

Доля метановыделения из обрабатываемого пласта, включая отбитый уголь, составляет порядка 20 %, а остальные 80 % метана в выработанном пространстве может быть изолированно выведен на поверхность средствами вентиляции и дегазации. Но газ обрабатываемого пласта реализуется непосредственно в забое и транспортных выработках и его весьма трудно извлечь из пласта способами предварительной дегазации. Эти горно-технологические особенности предъявляют повышенные требования к методам оценки газокинетических характеристик исследуемого объекта с учетом изменении его свойств и состоянии впереди движущегося очистного забоя, непрерывно находящегося под влиянием опорного давления.

В настоящее время угленосный массив рассматривается как газосодержащий твердый углегазовый раствор, в котором при ведении очистных работ наблюдаются волнообразные изменения метанообильности от влияния горного давления вышележащих над угольным пластом горных пород.

Изменение НДС массива горных пород при ведении очистных работ влечет за собой изменение величины газовой компоненты метана на угольном месторождении, в том числе и на угольных месторождениях в Бангладеш, которые характеризуются наличием мощных пластов, разрабатываемых запроектованной системой разработки длинные столбы по простиранию с гидрозакладкой.

Решению этой задачи соответствует оснащение горной промышленности современными системами мониторинга газовой обстановки в горных выработках и очистном пространстве на базе применения компьютерных программ, позволяющих предварительно оценить и сделать прогноз газовой обстановки на стадии предпроектной проработки и эксплуатации месторождения. Поэтому диссертационная работа по прогнозной оценке метановыделение из мощного угольного пласта в процессе ведения очистных работ для предотвращения нежелательных проявлений горного давления в виде выброса угля является актуальной.

**Цель работы:** разработка метода прогнозной оценки метановыделения из обрабатываемых мощных угольных пластов при очистных работах, учитывающего напряженного состояния вмещающего массива для предотвращения нежелательных проявлений горного давления в виде

выброса угля.

**Идея работы** заключается в том, что метановыделение из обрабатываемого пласта, вмещающих пород и отбитого угля обусловлено изменениями форм его существования в пласте при разгрузке массива от изменения действующих напряжений на призабойную область пласта и влияния на этот геомеханический процесс наличия закладочного материала в выработанном пространстве.

**Задачи исследований.**

1. Анализ особенностей газовыделения метана из угольного пласта в призабойной зоне под влиянием горного давления.

2. Обоснование методов оценки напряженно-деформированного состояния горных пород основной кровли на призабойную часть пласта.

3. Обоснование влияния геомеханических процессов в подрабатываемом массиве горных пород на газокинетическое состояние призабойной части пласта.

4. Исследования по формированию динамических условий разрушения угля при его выемке и предотвращению этих явлений путем гидрообработки массива.

**Методы исследований.** Для решения поставленных задач, использованы методы исследований, включающие: анализ литературных источников для обоснования цели и задач исследований, лабораторные исследования физико-механических, прочностных свойств угля месторождения Джамальгондж на образцах и компрессионных свойств закладочного материала, статистический анализ горно-технологических данных о газокинетических процессах на выемочных участках на аналогичных угольных шахтах России.

**Научные положения, выносимые на защиту.**

1. Метаносодержание закладочного массива будет зависеть не только от опорного давления на груди забоя угля, но и от давления обрушенных горных пород в пределах свода давления в зависимости от шага обрушения кровли на закладочный материал, а также от наличия метаносодержания в твердом углегазовом растворе, сорбционной и свободной формах, причем от этих показателей изменяется по степенному закону.

2. Величина устойчивого пролета кровли при гидрозакладке массива зависит обратно пропорционально от усадки (деформирования) закладочного массива, выражаемой коэффициентом относительного изменения мощности пласта, заполненного закладочным материалом массива, представляющий собой отношения суммы величины сближения кровли с почвой (конвергенция) до возведения закладочного массива при отставании формирования закладочного массива от забоя и неполнотой заложения закладочного материала к вынужденной мощности пласта.

3. Длина шага обрушения кровли при движении забоя вдоль линии выемочного столба угля зависит от прочностных характеристик и деформирования налегающей толщи пород и угля вследствие ведения закладочных работ и истощения угля при выделении метана, а также от

скорости подвигания забоя и параметров лавы и изменяется от этих показателей по степенному закону

**Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается применением комплексного метода, включающего: анализ и обобщение достижений отечественной и зарубежной горной науки и практики в области контроля выделения метана из угольного пласта при управлении состоянием горного массива пород гидрозакладкой выработанного пространства для борьбы с газодинамическими проявлениями угля и сходимостью:

- результатов прогноза метановыделения из отрабатываемого пласта и отбитого угля на выемочных участках угольных шахт Кузбасса, по физико-механическим показателям приближенных к свойствам угольного месторождения Джамальгондж (средние отклонения прогнозных, расчетных и фактических данных по выделению метана на конвейерных штреках выемочных участков на месторождениях Кузбасса составляет менее 20%);

- установленных параметров сдвижений в подрабатываемом очистным забоем массиве горных пород (угол полных сдвижений изменяется от 45° до 50°, что регламентировано нормативными документами для Кузбасса);

**Научная новизна работы** заключается в следующем.

1. Установлен волнообразный характер изменения метанообильности выработанного пространства, который увязан с положением очистного забоя по длине выемочного столба и газокинетический паттерн отражает реакцию вмещающего массива на момент подработки, а сходимость параметров динамической составляющей с контурами сводов полных сдвижений указывает, что даже на первых метрах формирования очередной полуволны геомеханический процесс связан со свойствами пород не только над забоем, но и на значительном удалении от него.

2. Получена степенная зависимость метаносодержания в закладочном массиве от опорного давления на груди забоя угля и давления обрушенных горных пород в пределах свода обрушения в зависимости от шага обрушения кровли на закладочный материал.

3. Обоснована прогнозная структура газоносности угольного пласта на месторождении в Джамальгондж (Бангладеш), которая распределяется следующим образом: растворенный газ - 76%; адсорбированный газ в угольном пласте - 12%, адсорбированный газ в закладке - 8%; свободный газ - 4%.

4. Определена величина устойчивого пролета кровли при гидрозакладке массива, которая зависит от усадки (деформирования) закладочного массива, выражаемой коэффициентом относительного изменения мощности пласта, заполненного закладочным материалом.

5. Установлена степенная зависимость длины шага обрушения кровли при движении забоя вдоль линии выемочного столба угля от прочностных характеристик и деформирования налегающей толщи пород и угля вследствие ведения закладочных работ и истощения угля при выделении

метана, а также от скорости подвигания забоя и параметров лавы.

#### **Личный вклад автора.**

Защищаемые и составляющие новизну результаты, полученные лично автором:

- определена зависимость усадки (деформация) песчано-глинистой и песчано-сланцевой смесей от веса вышележащих пород на основании лабораторных испытаний на образцах различных по составу закладочного материала, пригодного для закладки выработанного пространства гидравлическим способом на месторождении Джамальгондж;
- получена зависимость усадки угля по двум переменным (выход летучих и метаноёмкости угля вследствие его истощения) и напряженного состояния массива и прочностных свойств угля.
- разработана методика прогнозной оценки метановыделения из мощных угольных пластов при очистных работах, учитывающего напряженное состояние горного массива применительно к условиям отработки мощных угольных пластов на месторождении Джамальгондж

#### **Практическое значение работы.**

Результаты исследования позволяют:

- уточнять газокинетические характеристики призабойной части углеметанового пласта для повышения эффективности технологических решений по управлению метанообильностью очистного забоя;
- выявлять участки отрабатываемого выемочного столба, наиболее опасные по газовому фактору;
- обосновать геометрические размеры очистных забоев и выемочных столбов, схемы и режимы проветривания и дегазации высокопроизводительных выемочных участков.

**Реализация работы.** Результаты выполненных исследований будут учтены в проекте разработки угольного месторождения Джамальгондж, эксплуатация которого намечена на середину 30-х годов, а также при проведении занятий по курсам «Геомеханика» и «Управление состоянием массива» в разделе «Негативные последствия проявления горного давления на угольных месторождениях».

**Апробация работы:** Основные результаты исследований докладывались на: IX Международной конференции «Новые идеи в науках о земле» апрель 2009 год, РГГРУ; VI Международной научно-практической конференции «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых, 6-9 апреля, М., 2010; X Международной конференции «Новые идеи в науках о земле» апрель 2011 год, РГГРУ.

**Публикации** Результаты исследования опубликованы в 6 статьях, в том числе в 3-х рекомендованных ВАКом.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа изложена на 118 страницах машинописного текста, содержит 4 главы, введение, заключение, 6 таблиц и 26 рисунков, список использованной литературы из 85 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Проведение любой подготовительной горной выработки или скважины приводит к формированию в ее окрестности зоны газовыделения пласта. Размер (радиус) этой зоны принято связывать с сечением выработки и временем ее существования. Многими учеными установлено, что время достижения максимального радиуса измеряется месяцами. При этом даже штрек способен привести к существенному снижению газоносности пласта на расстоянии лишь нескольких десятков метров.

В работах Кузнецова С.В. подчеркивается, что, исходя из теории сорбции и фильтрации газа при не нулевой проницаемости пластов, за миллионы лет своего существования они должны были выделить на дневную поверхность весь метан, находящийся под давлением выше атмосферного. Имеется масса примеров из горной практики, когда даже рядом расположенные скважины сохраняют давления газа, отличающиеся в несколько раз, хотя, следуя законам фильтрации, через достаточно небольшое время эти значения должны были выровняться.

Очевидно, что развитие зоны газовыделения (газоистощения) пласта в окрестности его обнажения определяется более сложными закономерностями, нежели вытекающими из принятых при описании десорбции и фильтрации газов через трещиновато-пористые среды. Очевидно, что для значительного газоистощения пласта и отбитого угля необходимы дополнительные условия, связанные, прежде всего с разгрузкой пласта от горного давления при ведении очистных работ.

Все это послужило причиной более тщательного изучения свойств газоносных угольных пластов от напряженно-деформированного состояния массива, прежде всего в трудах российских ученых академика К.Н. Трубецкого, чл. корр. - Ю.Н. Малышева, чл. - корр. А.Д. Рубана, проф. И.Л. Эттингера, проф. А.Т. Айруни, проф. А.Д. Алексеева, проф. И.В. Зверева, проф. Ю.ф. Васючкова. Ими было установлено, что углеметановый пласт: следует рассматривать в виде трехфазной среды, в которой значительная часть метана представлена твердым углегазовым раствором (ТУГР), газосодержание, которого определяется действующими компонентами тензора напряжений. При снижении этих напряжений происходит необратимый распад на твердую и газовую компоненты с формированием соответствующего сорбционного потенциала угля по отношению к метану, который может реализоваться при снижении давления свободной фазы.

Постоянное движение очистного забоя приводит к периодическому изменению размеров зависающих консолей близлежащих слоев пород и их числа, участвующих в формировании опорного давления. Этот процесс сопровождается периодическим изменением размеров зоны напряженно-деформированного состояния. Минимальное значение она имеет после обрушения пород основной кровли, а максимальное - перед её обрушением, Это даёт основание прогнозировать участки с максимальными напряжениями и заранее предпринимать меры по их частичной нейтрализации. В тоже

время, многочисленными исследованиями установлено, что формирование консолей сопровождается поднятием слоев над пластом за зоной максимальных напряжений. Известен принцип гармонического ряда, «волн Вебера», согласно которому с удалением от разрабатываемого пласта амплитуда волны снижается, а ее период возрастает. Естественно, движениям горных пород по направлению к выработанному пространству предшествует восстановление их упругих деформаций. Даже при глубине залегания отработываемого пласта около 100 м и длине лавы 100 м инструментально установлено, что поднятие нижней части кровли даже в мало прочных породах (аргиллиты) достигает 3 см на расстоянии 10-15 м от плоскости забоя. При этом, принимая форму прогиба кровли параболической, можно оценить размер зоны разгрузки отработываемого пласта от горного давления за зоной максимальных напряжений, как близкий 20-30 м. Но отсюда следует, что с ростом прочности пород кровли и глубины разработки этот эффект возрастает.

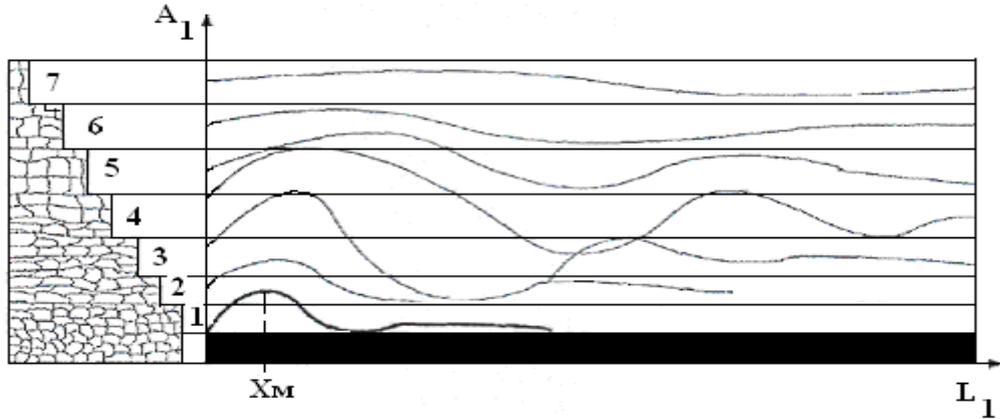
Рядом исследователей была обоснована наиболее реальная гипотеза изменений напряженно-деформированного состояния массива пород при отработке пласта длинными очистными забоями: «движение очистного забоя приводит к периодическому изменению напряжений в угольном пласте, соответствующих изменениям состояния разноудаленных от пласта пород кровли. Эти изменяющиеся напряжения представляют собой динамическую составляющую опорного давления, которая проявляется на фоне статической составляющей. Движение очистного забоя приводит к периодическому изменению состояния пород от сжатия к растяжению» (рис.1). Из рис. 1 видно, что размер зоны возможной разгрузки пласта от горного давления намного превосходит расстояние от поверхности забоя до зоны максимума напряжений (НДС). Учитывая процесс их релаксации в каждом из слоев кровли, особенности напряженно-деформированного состояния угольного пласта, разгрузку от горного давления в этой зоне можно характеризовать, как частичную периодическую в условиях движущегося забоя. Таким образом, в процессе изменения напряженного состояния подрабатываемого массива его давление на угольный пласт непостоянно как во времени, так и с удалением от забоя.

При анализе динамики метанообильности выработанного пространства выемочных участков установлена ее волнообразность по мере отработки столба, достаточно хорошо согласующаяся с особенностями процессов сдвига и обрушения горных пород.

Однако характер выделения метана из угольного пласта под влиянием горного давления в призабойной части массива горных пород и очередность выемки угля в один слой длинными столбами по простиранию характерны для выдержанных по мощности пластов и не учитывают геомеханические процессы, происходящие в своде обрушения, когда применяется для отработки мощных слоев системой длинные столбы по простиранию с гидрозакладкой, в качестве которой применяется речной песок. В этом случае, характер развития сводов давления будет происходить с учетом

компрессионных свойств закладочного материала и мощности вынимаемых слоев, а также порядка их выемки по мощности. Это характерно для рассматриваемого объекта наблюдения – мощного угольного месторождения Джамальгондж в Бангладеш.

а) при минимальных размерах зависающих консолей



б) при максимальных размерах зависающих консолей

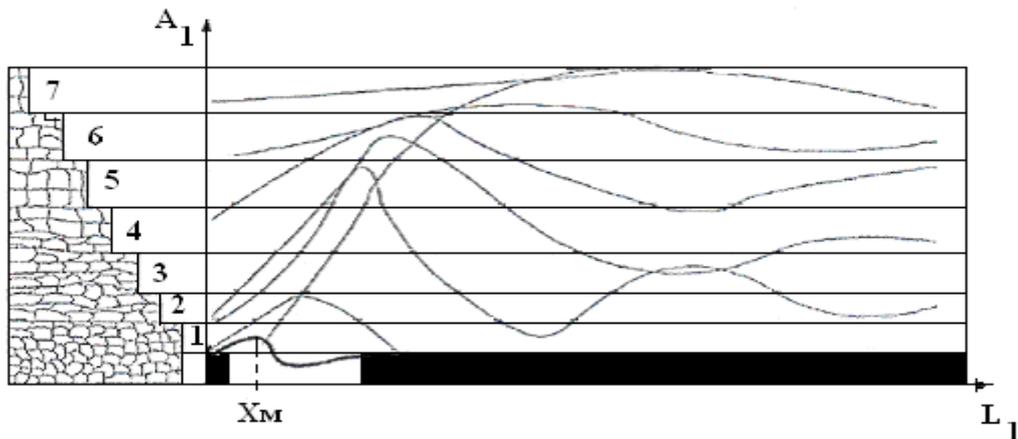


Рис. 1 Схема формирования напряжений в массиве горных пород впереди очистного забоя.  $A_1-A_7$  - амплитуды гармоник напряжений, м;  $L_1-L_7$  - размеры зон изменения напряжений в слоях горных пород, м;  $X_m$  - расстояние до максимума напряжений, м

Учитывая исследования Г.Я. Полевщикова и Т.Д. Киряевой, газовый баланс распределения метана по структурным формам позволил получить количественную оценку сорбционного газа, осаждаемого в закладочном массиве ( $\chi_3$ ), с учетом волнообразного проявления горного давления на призабойную часть пласта

$$\chi_{\text{г}} = \frac{0}{j} \cdot \left[ (\chi_{\text{г}} - \chi_{\text{н}}) - \chi_{\text{г}} \cdot \left( \frac{i}{0} - \frac{A-1}{A} \cdot \chi_{\text{г}} \right) \right], \quad (1)$$

где  $\chi_{\text{г}}$  - газоносность за зоной геомеханического влияния забоя природная газоносность пласта, м<sup>3</sup>/т;  $\chi_{\text{р}}$  - метаносодержание твердого углегазового раствора по проф. А.Т. Айруни, м<sup>3</sup>/т; ;  $\sigma_0$  - начальные

напряжения в нетронутом массиве горных пород, МПа;  $\sigma_i \leq \sigma_0$  - напряжения в рассматриваемой зоне пласта, МПа;  $A$  - предельная газоносность пласта, м<sup>3</sup>/т;  $i$  - индекс, указывающий координату по длине выемочного столба;  $\chi_y$  - сорбционная метаноемкость угля при давлении газа, равном гидростатическому и температуре, равной температуре пласта, м<sup>3</sup>/т;  $\chi_z$  - сорбционная метаноемкость закладки при давлении газа, равном гидростатическому и температуре, равной температуре пласта, м<sup>3</sup>/т;  $\chi_{св}$  - содержание свободного метана в трещинном коллекторе при давлении газа, равном гидростатическому и температуре, равной температуре пласта, м<sup>3</sup>/т;  $j$  - нормальные напряжения от веса обрушенных пород на закладочный материал в рассматриваемой зоне закладки, МПа;  $j$  - индекс, указывающий координату по длине заложеного выработанного пространства.

Исходя из регламентирующей структуры пласта для угольных месторождений Кузбасса, и применении системы длинные столбы по простиранию с гидрозакладкой выработанного пространства величина адсорбированного метана в закладочном массиве будет колебаться в пределах 8-12%. Тогда прогнозная структура газоносности угольных пластов для рассматриваемых условий месторождения Джамальгондж (Бангладеш) будет распределяться следующим образом (рис. 2) *Отсюда метаносодержание закладочного массива будет зависеть не только от опорного давления на груди забоя угля, но и от давления обрушенных горных пород в пределах свода давления в зависимости от шага обрушения кровли на закладочный материал, а также от наличия метаносодержания в твердом углегазовом растворе, сорбционной и свободной формах, причем от этих показателей изменяется по степенному закону* (первое защищаемое положение)

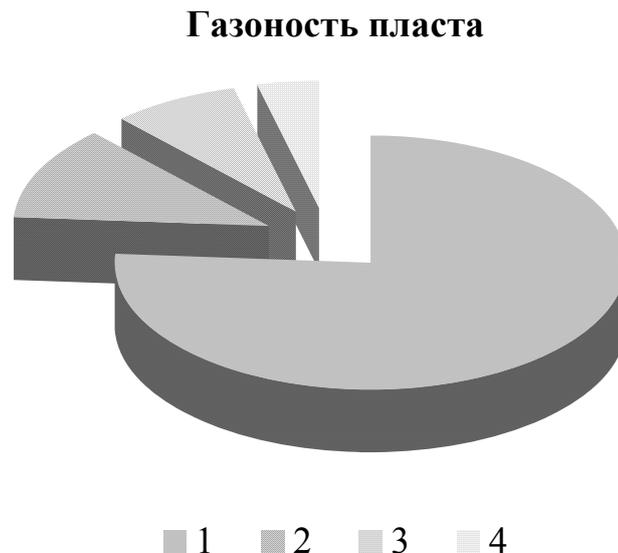


Рис. 2 Структура газоносности угольного пласта на месторождении в Джамальгондж (Бангладеш): 1 – растворенный газ - 76%; 2 – адсорбированный газ в угольном пласте -12%, адсорбированный газ в

закладке – 8%; 4 – свободный газ – 4%.

Дальнейшей задачей исследований является обоснование методов оценки напряженно-деформированного состояния горных пород основной кровли на призабойную часть пласта. Но для решения этой поставленной задачи необходимо изучить горно-геологические условия угольного месторождения Джамальгондж.

Угольный бассейн Джамальгондж расположен в окрестностях города Джамальгондж и к западу от ширококолейной железной дороги, идущей с севера на юг. Пласты залегают на глубине от 40 до 1158м. Район добычи угля составляет около 11,7 квадратных километров.

В угольном бассейне Джамальгондж в общей сложности семь основных угольных слоев, обозначенных от I до VII сверху донизу. Уголь Джамальгондж отличается большой мощностью и как минимум одним очень мощным угольным пластом III (рис.3).

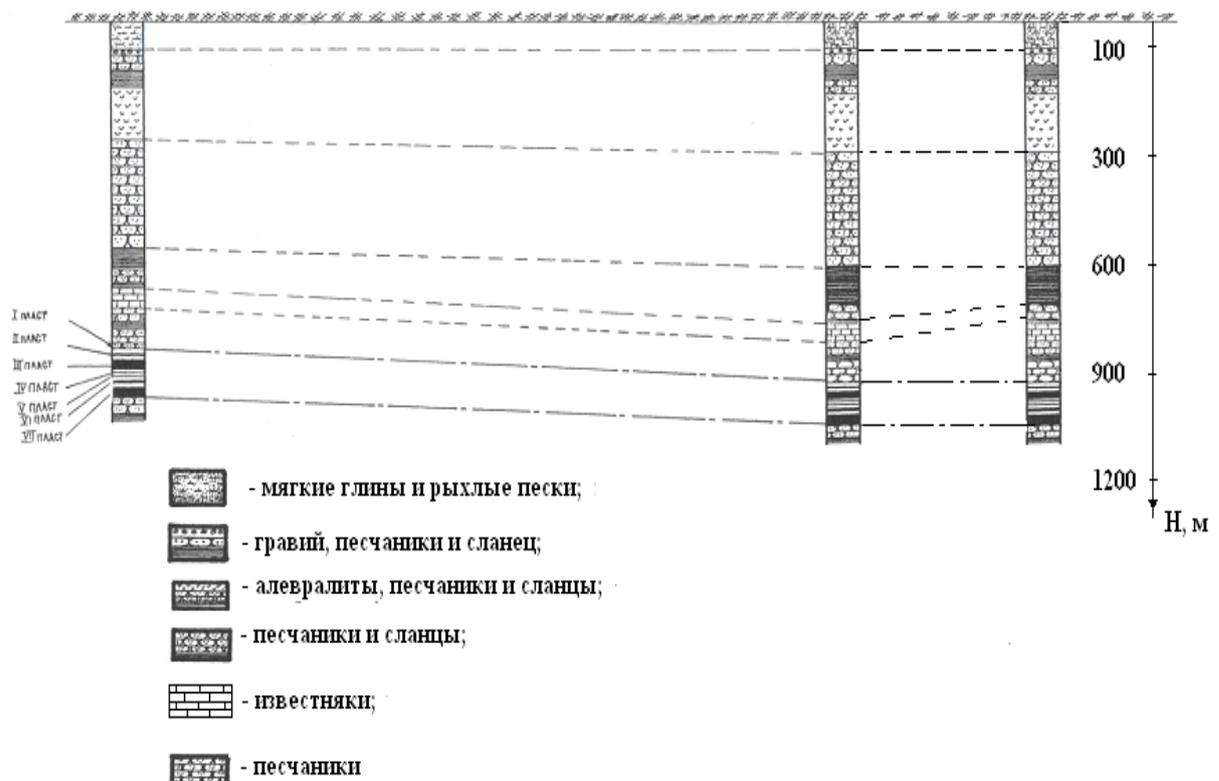


Рис. 3 Стратиграфический разрез толщи угольного месторождения Джамальгондж.

Петрологический анализ показывает, что верхние пласты (I-V) имеют относительно низкое содержание витринита (19.5-44.2%), переменное содержание эксинита (3-22%) и сравнительно высокое содержание инертинита (24-28%) по сравнению с нижними пластами (VI-VII), которые как правило имеют 46.7-61.4% витринита, 5-10% эксинита и 22-22.5% инертинита.

Уголь Джамальгондж классифицируется, как высоко летучий битуминозный уголь. Категории отражения витринита измерены сотрудниками фирм «Фрэд Крупп и Роштаф» и «Робертсон Ресеч

Интернешнл Лтд.». В пределах от 0.66 до 0.84%. отражение витринита показывает, что слои I и V являются высоко летучей битумиозной категорией B и слои VI и VII являются высоко летучей битумиозной категорией A.

Диапазон мощности отдельных угольных пластов составляет от 2 и до более 46 метров. Рассматриваемый пласт III распределен на три группы слоев примерно по 10 м каждый слой, глубина первой группы слоев составляет 1000 м.

Проект отработки мощного угольного месторождения Джамальгондж был разработан английской фирмой «Робертсон Ресеч Интернешнл Лтд.», а вариант системы разработки длинные столбы по простиранию с многослойной выемкой закладкой был предложен сотрудниками РУДН. В проекте предусматривалась схема вскрытия шахты комбинированная: в пределах бремсбергового поля - центрально-отнесенная, в пределах уклонного поля – фланговая. Подготовка шахтного поля принята этажная, хотя, в принципе, она может быть и панельная.

Слои отрабатываются в восходящем порядке с гидрозакладкой выработанного пространства в связи с необходимостью строжайшего сохранения земельных угодий на поверхности и большой вынимаемой мощностью. В качестве закладочного материала предлагается использование речного или морского песков. Поэтому для оценки компрессионных свойств закладочного материала были проведены испытания образцов различной по составу закладочной смеси. Результаты приведены на рис.4.

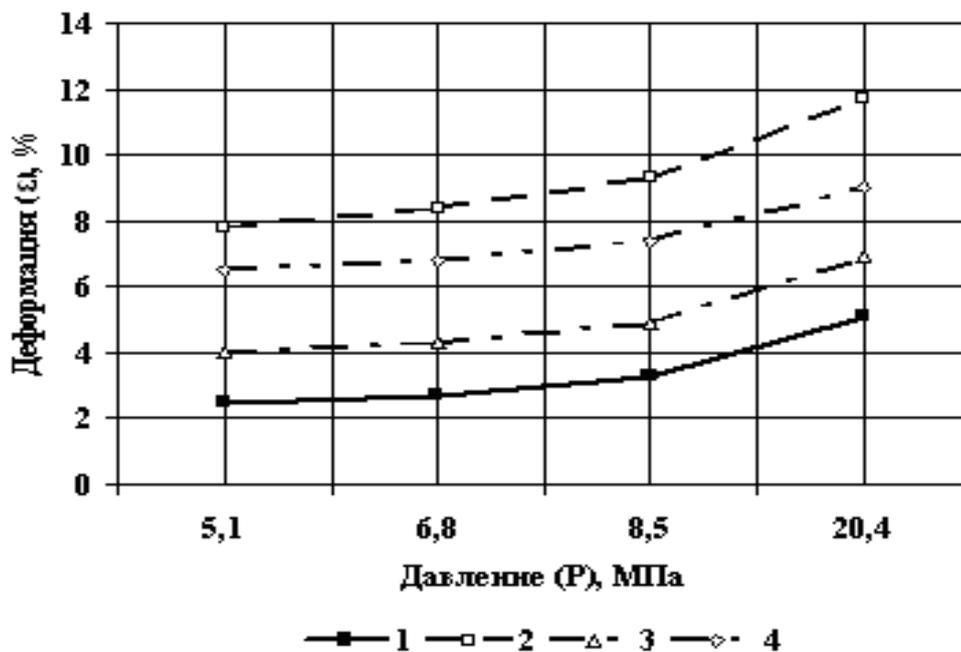


Рис. 4 Графики изменения деформации образцов закладочного материала от нагрузки: 1 – песчано-глинистая смесь (песка - 90%, глины – 10%); 2 - песчано-сланцевая смесь (песка – 80%, сланцев размером фракций 10-25 мм – 20%); 3 - песчано-сланцевая смесь (песка – 60%, сланцев размером фракций 10-25 мм – 40%); 4 - песчано-сланцевая смесь (песка – 40%, сланцев размером фракций 10-25 мм – 60%).

Анализируя графики можно сделать вывод, что под действием нагрузки деформации растут по степенному закону, причем величина деформации песчано-глинистой смеси в 1,5 – 2 раза меньше, чем у песчано-сланцевых смесей с различным составом закладочного материала. Таким образом, целесообразно в качестве гидрозакладочного материала использовать песчано-глинистую смесь с меньшим диапазоном её деформирования под давлением налегающих пород.

В связи с тем, что закладочный массив частично воспринимает давление выше расположенных горных пород, то очевидно величина устойчивого пролета и пролета первичного шага обрушения и т.д. должны увеличиться в зависимости от усадки (деформирования) закладочного массива.

Это можно учесть, введя в формулы, предложенные Мурашевым В.И. коэффициент относительного изменения мощности заполненного закладочным материалом массива, выражаемый:

$$= \frac{(h_{\text{к}} + h_{\text{г}}')}{m} \cdot (1 - \dots) + 1, \quad (2)$$

где  $h_{\text{к}}$  - величина сближения кровли с почвой (конвергенция) до возведения закладочного массива при отставании формирования закладочного массива от забоя на 8-25м  $h_{\text{к}} = 0,15 \text{ м}$ ;  $h_{\text{г}}'$  - неполнота заложения (среднее расстояние от верха закладочного массива до кровли пласта: при механизированной выемке пластов длинными столбами по восстанью с гидравлической закладкой)  $h_{\text{г}}' = 0,01$ .

Тогда величина устойчивого пролёта кровли при гидрозакладке массива примет следующий вид:

$$L_{\text{к}} = \hat{A} \cdot \eta \cdot \sqrt{\frac{(1 + \sin \alpha) \cdot \sigma_0 \cdot \sqrt{l_{\text{л}}}}{\sigma_0 \cdot \sqrt{D_0}}}, \text{ м} \quad (3)$$

где  $B$  - размерные параметры равные соответственно 23 м,  $\alpha$  - угол падения пласта, град;  $\theta$  - безразмерная скорость подвигания очистного забоя, равная среднесуточной скорости подвигания отнесенной к 1 м/сут;  $\sigma_0^0$  - предел прочности на одноосное сжатие пород основной кровли, МПа;  $\sigma_0$  - вертикальная составляющая природного поля напряжений, МПа;  $l_{\text{л}}$  - длина лавы по падению пласта, м;  $D_0$  - параметр, равный 3,5 м.

В табл. 1 приведены результаты расчетов по различным методам оценки напряженно-деформированного состояния горных пород основной кровли на призабойную часть пласта.

В результате расчета по предлагаемой методике для условий разработки угольного пласта III на месторождении Джамальгондж мощностью слоя  $m = 10 \text{ м}$  на глубине 1000 м с использованием в качестве закладочного материала – песчано-глинистую смесь с деформацией его

усадки  $\varepsilon = 0,07$  значение  $L_{кр}$  по методике Мурашева В.И. следует увеличить в 3 раза.

Таблица 1

Основные геомеханические параметры	Методика расчета (автор)			
	Белавенцев Л.П.	Калинин С.И.	Мурашев В.И.	Предлагаемая
Величина устойчивого пролета кровли, м	-	-	8,4	25,2
Величина первичного шага обрушения основной кровли, м	1,73	6,85	6,85	20,55
Величина вторичных шагов обрушения основной кровли, м	-	-	5,63	16,89
Величина зоны разрушения кровли над пластом, м	-	-	9,03	27,09

Таким образом, *величина устойчивого пролета кровли при гидрозакладке массива зависит обратно пропорционально от усадки (деформирования) закладочного массива, выражаемой коэффициентом относительного изменения мощности пласта, заполненного закладочным материалом массива, представляющий собой отношения суммы величины сближения кровли с почвой (конвергенция) до возведения закладочного массива при отставании формирования закладочного массива от забоя и неполнотой заложения закладочного материала к вынужтой мощности пласта* (второе научное положение).

Для решения следующей поставленной задачи обоснование влияния геомеханических процессов в подрабатываемом массиве горных пород на газокинетическое состояние призабойной части пласта необходимо дать оценку значимости установленных волнообразных изменений горного давления на призабойную часть пласта

На основании методики расчета параметров напряженно-деформированного состояния призабойной части пласта, основанных на оценке величин напряжений в массиве горных пород и шагов обрушений основной и непосредственной кровли были построены прогнозные графики изменения состояния пласта впереди очистного забоя для условий III пласта на угольном месторождении Джамальгондж (рис. 5)

Анализируя графики можно отметить, что при волнообразном изменении напряжений по длине выемочного столба аналогично изменяется газоносность пласта только в отличие от графиков, полученных Шинкевичем М.В. для угольных месторождений Кузбасса, разрабатываемых на средних глубинах (300-350 м), имеет более плавный вид, т.е. больший период волны обрушения, что характерно, если применяются система с закладкой, которая уменьшает деформирование окружающего массива и здесь скорее сказывается принцип упругого последействия, когда быстро происходит разгрузка массива после расслоения

и частичного обрушения кровли в пределах свода давления.

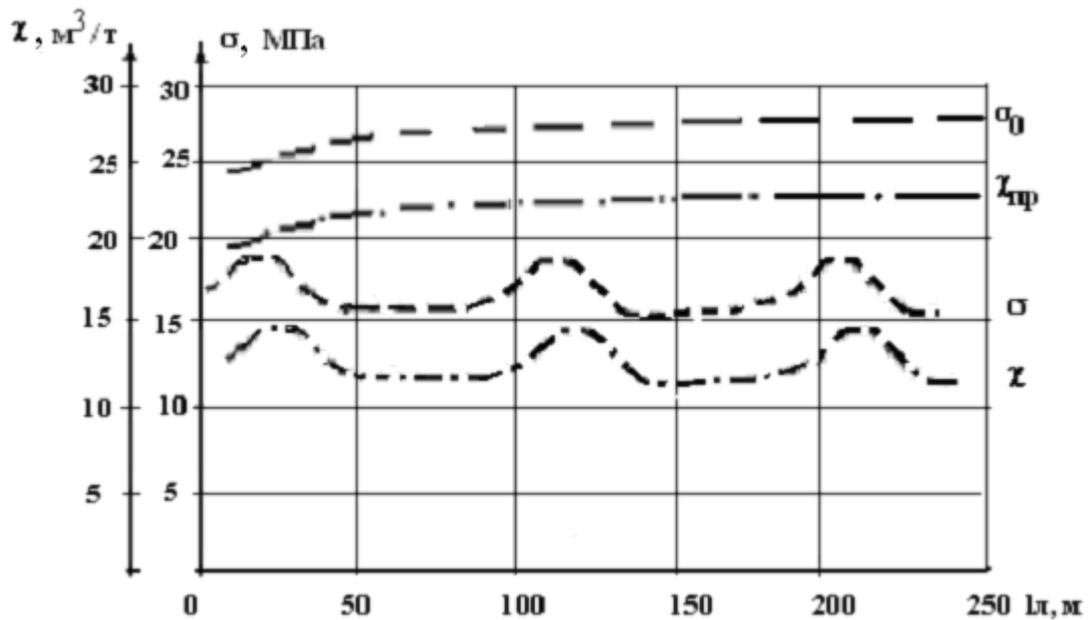


Рис.5 Прогнозные графики изменения состояния пласта впереди очистного забоя для условий III пласта на угольном месторождении Джамальгондж

Но выделение газа из призабойной части ведет к усадке забоя угля, его разгрузки в процессе ведения очистных работ, т.е. происходит газоистощение пласта. Все это ведет к его деформированию (усадке) при постоянной скорости движения комбайна. Но это явление должно отразиться на процессе обрушения кровли непосредственной и основной в пределах свода обрушения. Для обоснования величины шага обрушения кровли выработанного пространства необходимо определить величину усадки призабойной части угольного пласта. На основании газокинетических характеристик метана в призабойной части угля и зависимости выхода летучих  $V(\%)$  и метаноёмкости  $S$  угля,  $\text{м}^3/\text{т}$  с учетом напряженного состояния призабойной части, была предложена следующая формула:

$$n = \frac{\ddot{a}}{A} \cdot S^{3,84} \cdot (v^4 - 47,76 \cdot v^2 + 690,2) \cdot 10^{-4}, \quad (4)$$

где  $E$  – модуль деформации угля, МПа;  $\sigma_{di}$  - действующие напряжения в пласте с учетом сводообразования при движении очистного забоя:

$$\ddot{a}_{,i} = \gamma \cdot \left( h_{\ddot{e},i} + (h_i - h_{\ddot{e},i}) \cdot \left( 1 - \frac{h_{\ddot{e},i}}{h_i} \right) + (H - h_i) \cdot \left( 1 - \frac{h_i}{H} \right) \right), \text{МПа} \quad (5)$$

где  $h_{\ddot{e},i}$  - высота свода полных сдвижений по длине очистного забоя в каждой точке длины выемочного столба, м;  $h_i$  - высота внешнего свода сдвижений по длине выемочного столба, м.

Учитывая, деформирование налегающего массива горных пород на закладку (') и усадку пласта от горного давления (") полная деформация составит:

$$= ' + " , \quad (6)$$

Тогда с учетом полного деформирования массива закладки и усадки пласта величину шага обрушения следует рассчитывать по формуле:

$$r_0 = \hat{A}_1 \cdot \left[ \frac{(h_{\hat{e}} + h_{\hat{i}}')}{m \cdot (' + ")} [1 - (' + ") + 1] \right] \cdot \sqrt{\frac{(1 + \sin i) \cdot \frac{0}{\hat{n}} \cdot \sqrt{\dots}}{0 \cdot \sqrt{\frac{l_{\hat{e}}}{D_0}}}}, \quad (7)$$

$B_1 = 28$  - размерный параметр, м.

Остальные параметры соответствуют формуле (3)

Таким образом, *длина шага обрушения кровли при движении забоя вдоль линии выемочного столба угля зависит от прочностных характеристик и деформирования налегающей толщи пород и угля вследствие ведения закладочных работ и истощения угля при выделении метана, а также от скорости подвигания забоя и параметров лавы и изменяется от этих показателей по степенному закону* (третье научное положение).

Но в процессе ведения очистных работ и газовыделения метана могут быть произвольно в зависимости от концентрации метана созданы условия динамического разрушения призабойной части пласта, особенно, когда подрабатывается массив угля с этой целью необходимо рассмотреть условия возникновения таких явлений.

Известно, что выброс угля происходит только при активном технологическом вмешательстве (бурение, выемка угля, взрыв и т. д.) в процессы, происходящие в горном массиве. Нарушение установившегося равновесного состояния и условия формирования нового состояния определяют динамические условия разрушения угля. Формирование последних можно оценить по динамике изменения состояния пласта с привлечением основ теории распространения ударных волн как поверхностей сильного разрыва. Общая теория такой оценки отражена в работах Г. П. Черепанова, Л. И. Слепяна, С. С. Григоряна и др. Применительно к горному массиву условия распространения волны дробления под действием градиента давления газа рассмотрены С.А. Христиановичем, а с учетом пористости А. М. Линьковым. Но критерий оценки проявления динамических условий разрушения угля не был разработан. На основании того, что характер динамических условий разрушения угля подчиняется импульсному или скачкообразному изменению напряжений (волны дробления) в скелете угля можно определить критерий напряженности, выражающийся зависимостью:

$$\sigma_r = \frac{1}{\delta} \cdot \left\{ \gamma \hat{I} \cdot \left[ 1 + (\hat{E} - 1) - 2 \frac{\delta}{a} \right] - p \right\} - N_1^2 \cdot (k_\delta - 1) \cdot \sigma_c - r, \quad (8)$$

где  $\hat{I} = \frac{\hat{h}}{\delta}$ ;  $\sigma_p$  — предел прочности на растяжения;  $\sigma_c$  — предел

прочности при сжатии;  $K$  — коэффициент концентрации напряжений в зоне опорного давления;  $a$  — ширина панели, м;  $x$  — координата по простиранию пласта, м;  $H$  — глубина разработки, м;  $\gamma$  — удельный вес пород в основной кровле пласта угля, кН/м<sup>3</sup>.  $N_1$  — некоторая постоянная, скоростная характеристика материала, равная предельной скорости движения трещин;  $\sigma_r$  — нагрузка на забой со стороны обрушенного угля, МПа;  $\rho_0$  — плотность угля, кг/м<sup>3</sup>.

С целью предотвращения динамических проявлений в виде выброса угля в очистное пространство и возникновения и распространения в массиве волны дробления в качестве безопасного мероприятия, предлагается применить способ предварительной гидрообработки слоя угольного пласта через скважины, пробуренные вместе с дегазационными. При этом, имея полные данные о системе трещин и напряженном состоянии массива, можно определить критическую величину давления в трещине с помощью выражения:

$$N_{\delta\theta} = \sigma_1 \cdot (\sin^2 \theta + \lambda \cos^2 \theta) + \sqrt{\frac{E \cdot \gamma}{\pi \cdot b \cdot (1 - \nu^2)} - \frac{(1 - \lambda)^2}{4} \cdot \sigma_1^2 \cdot \sin^2 2\theta}, \quad (9)$$

где  $\lambda = \frac{2\nu}{1 - \nu}$  и  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  — соответственно вертикальная и горизонтальная

составляющие горного давления, МПа;  $\theta$  — угол ориентации трещины, град.;  $E$  — модуль Юнга, МПа;  $\gamma$  — плотность энергии на разрыв, МПа·м;  $\nu$  — коэффициент Пуассона

На основании решенных задач поставленных в работе необходимо была разработана методика прогнозной оценки метановыделения из мощных угольных пластов при очистных работах, учитывающая напряженное состояние горного массива применительно к условиям отработки мощных угольных пластов, расположенных на больших глубинах с применением системы разработки длинные столбы по простиранию с гидрозакладкой выработанного пространства.

С этой целью порядок выполнения расчета по предлагаемой методике принимать следующий:

1. Определить физико-механические и газокинетические свойства угля и вмещающих пород массива.
2. Выбрать и обосновать системы разработки мощных угольных пластов, конструктивные особенности варианта системы разработки и системы вентиляции.
3. Установить прогнозное количество метана по структурным формам

использовав распределение по рис. 2 или зависимость для определения количества метана в закладочном массиве по формуле (1).

4. Определить компрессионные свойства закладочного материала. В зависимости от состава закладочного материала по графикам рис.4 определяют деформацию усадки закладочного массива.

5. Установить коэффициент относительного изменения мощности заполненного закладочным материалом массива по формуле (2).

6. Для установления величины устойчивого пролёта кровли при гидрозакладке массива необходимо воспользоваться формулой (3).

7. Выразить величину усадки угля по формуле (4)

8. Определить шаг обрушения кровли пласта с учетом закладки выработанного пространства и коэффициента ( $\eta$ ), по зависимостям (5,6, 7)

9. Проверить характер динамических условий разрушения угля по импульсному или скачкообразному изменению напряжений в скелете угля, можно по критическому значению критерия напряженности (8)

10. Критическую величину давления в трещине следует определить по формуле (9).

11. Критический темп нагнетания  $q'_{кр}$ , при достижении которого происходит переход диффузионного режима нагнетания к напорной фильтрации дает следующее значение:

$$q'_{\text{кр}} = \frac{2\pi \cdot h \cdot n \cdot b \cdot m \cdot K \cdot \Delta N}{2\sqrt{m \cdot K \cdot \Delta N \cdot \mu \cdot t - \mu \cdot B}}; \quad (10)$$

$t \geq \frac{2\mu \cdot B^2}{m \cdot K \cdot \Delta N}$  è  $N \geq N_{\text{кр}}$ , где  $q_0$  — расход рабочей жидкости, отнесенный к полоске боковой поверхности трещины единичной ширины;  $m$  — пористость пласта;  $K$  — проницаемость пласта;  $\Delta N = N_T - N_{пл}$ ;  $N_T$  - давление на стенке трещины;  $N_{пл}$  — пластовое давление жидкости, примерно равное давлению газа;  $\mu$  — вязкость рабочей жидкости.;  $t$  — время нагнетания;  $B$  — среднее раскрытие трещины.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена задача по разработке метода прогнозной оценки метановыделения из мощных угольных пластов при очистных работах, учитывающего напряженное состояние горного массива, и имеющая большое значение для горнодобывающей отрасли, в частности, подземной разработки угольных месторождений, отрабатывающих мощные пласты на больших глубинах, что характерно для условий угольного месторождения Джамальгодж в Бангладеш.

Основные научные и практические результаты исследований заключаются в следующем:

1. Наиболее эффективной для разрабатываемого месторождения

Джамальгондж является система разработки длинными столбами по простиранию с многослойной выемкой мощного пологого пласта III группами по три слоя в восходящем порядке с полной гидрозакладкой выработанного пространства.

2. Волнообразные изменения метанообильности выработанного пространства увязаны с положением очистного забоя по длине выемочного столба и газокинетический паттерн отражает реакцию вмещающего массива на момент подработки, а сходимост параметров динамической составляющей с контурами сводов полных сдвижений указывает, что даже на первых метрах формирования очередной полуволны геомеханический процесс связан со свойствами пород не только над забоем, но и на значительном удалении от него.

3. Симметрия полуволн динамической составляющей метанообильности выемочного участка указывает, что в пределах свода полных сдвижений массива горных пород выделяется метан из углеметанового пласта, а за его контуром сохраняется природная газоносность.

4. Метаносодержание закладочного массива будет зависеть не только от опорного давления на груди забоя угля, но и от давления обрушенных горных пород в пределах свода давления в зависимости от шага обрушения кровли на закладочный материал, а также от наличия метаносодержания в твердом углегазовом растворе, сорбционной и свободной формах, причем от этих показателей изменяется по степенному закону.

5. Аналитические исследования, проведенные на угольных месторождениях Кузбасса, и исходя из регламентирующей структуры пластов, и при применении системы длинные столбы по простиранию с гидрозакладкой выработанного пространства величина адсорбированного метана в закладочном массиве будет колебаться в пределах 8-12%. Структура газоносности угольного пласта на месторождении в Джамальгондж (Бангладеш) выглядит следующим образом: растворенный газ - 76%; адсорбированный газ в угольном пласте - 12%, адсорбированный газ в закладке - 8%; свободный газ - 4%.

6. На основании лабораторных испытаний на образцах различных по составу закладочного материала, пригодного для закладки выработанного пространства гидравлическим способом на месторождении Джамальгондж была определена зависимость усадки (деформация) песчано-глинистой и песчано-сланцевой смесей от веса вышележащих пород, которая имеет степенную зависимость.

7. Величина устойчивого пролета кровли при гидрозакладке массива зависит от усадки (деформирования) закладочного массива, выражаемой коэффициентом относительного изменения мощности пласта, заполненного закладочным материалом массива, представляющий собой отношения суммы величины сближения кровли с почвой (конвергенция) до возведения закладочного массива при отстаивании формирования закладочного массива от забоя и неполнотой заложения закладочного материала к вынужтой

мощности пласта.

8. При волнообразном изменении напряжений по длине выемочного столба аналогично волнообразно изменяется газоносность мощного пласта только в отличие от мало мощного графики имеют более плавный вид, т.е. больший период волны обрушения, что характерно, если применяются системы с закладкой, которая уменьшает деформирование окружающего массива и здесь скорее сказывается принцип упругого последействия, когда быстро происходит разгрузка массива после расслоения и частичного обрушения кровли в пределах свода давления.

9. Получена зависимость усадки угля по двум переменным (выход летучих и метаноёмкости угля вследствие его истощения) и напряженного состояния массива и прочностных свойств угля, причем эта зависимость имеет параболический вид.

10. Длина шага обрушения кровли при движении забоя вдоль линии выемочного столба угля зависит от прочностных характеристик и деформирования налегающей толщи пород и угля вследствие ведения закладочных работ и истощения угля при выделении метана, а также от скорости подвигания забоя и параметров лавы и изменяется от этих показателей по степенному закону.

11. В зависимости от характера поступления и фильтрационных свойств пород принципиально возможны четыре характерных варианта изменения концентрации метана в глубине выработанного пространства. При схемах проветривания, значительно искривляющих траекторию утечек, а также при разгрузке угленосной толщи изменение концентрации метана может иметь полиэкстремальный характер.

12. Основанный на современных представлениях о свойствах и состояниях углеметанового вещества рассмотрен вопрос метановыделения из отбитого угля, который может обеспечить определение основных характеристик процесса с учетом технологического режима работы забоя, газоносности пласта и его вынимаемой мощности, глубины стружки, рабочей скорости комбайна и времени транспортирования угля.

13. С целью предотвращения динамических проявлений в виде выброса угля в очистное пространство и возникновения и распространения в массиве волны дробления в качестве безопасного мероприятия, предлагается применить способ предварительной гидрообработки слоя угольного пласта через скважины, пробуренные вместе с дегазационными. При этом имея полные данные о системе трещин и напряженном состоянии массива, можно с помощью предложенных выражений рассчитать зависимость числа развивающихся трещин от давления нагнетания, т. е.  $n = n(N)$ , и определить критическое давление и темп нагнетания жидкости  $q'_{кр}$ .

14. Разработана методика прогнозной оценки метановыделения из мощных угольных пластов при очистных работах, учитывающего напряженное состояние горного массива применительно для разработки мощных пластов угольного месторождения Джамальгондж (Бангладеш).

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Кхан Фаррух, И.А. Ковалев Проблема использования метана, как энергетического сырья при разработке месторождений Бангладеш /Материалы IX Международной конференции «Новые идеи в науках о земле» апрель 2009 год, РГГРУ, с.167.

2. И.А. Ковалев, Кхан Фаррух Время релаксации как характеристика метанопереноса в углях /Материалы VI Международной научно-практической конференции «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых, 6-9 апреля, М., 2010, с.92.

3. Кхан Мд.Форрукх. Хоссайн Перспективное применение метана в условиях разработки месторождений в Бангладеш //Горно-информационно-аналитический бюллетень, №6, 2011, с. 185-186

4. Кхан Мд. Форрукх. Хоссайн Обоснование проницаемости пластов метаном при разработке угольных месторождений в Бангладеш //Горно-информационно-аналитический бюллетень, №7, 2011, с. 101-102.

5. Кхан Мд. Форрукх Хоссайн Изменение напряженно-деформированного состояния газаносыщенного угольного пласта с глубиной разработки //Горно-информационно-аналитический бюллетень, №6, 2011, с. 183-185.

6. Кхан Мд. Форрукх Хоссайн Геоэкологическая оценка использования шахтного метана из угольного месторождения Баракупурия (Бангладеш) /Материалы X Международной конференции «Новые идеи в науках о земле» апрель 2011 год, РГГРУ, с.258.