

*На правах рукописи*

**Сысенко Валентина Алексеевна**

**УДК: 622.8:504.064.4**

**СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГЛЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ  
ГИДРОРАСЧЛЕНЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

Специальность – 25.00.36 «Геоэкология»

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Москва 2005**

Работа выполнена в Московском государственном горном университете

Научный руководитель

доктор технических наук КОЛИКОВ Константин Сергеевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Каледина Нина Олеговна,

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник Забурдяев Виктор Семенович

Ведущая организация:

ННЦ ГП- ИГД им. А.А.Скочинского

Защита диссертации состоится «*29*» декабря 2005 г. в *13* час.

на заседании диссертационного совета Д 212.128.08 при Московском государственном горном университете по адресу: 119991, Москва, Ленинский проспект, 6.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного горного университета.

Автореферат разослан «*29*» ноября 2005 г.

Ученый секретарь диссертационного  
совета Д 212.128.08

доктор технических наук, профессор *Мек* ШЕК Валерий Михайлович

2006-4  
28996

2258428

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Климатологи межправительственной группы экспертов по проблемам изменения климата ИРСС определили, что для стабилизации концентрации парниковых газов (ПГ) на современном уровне необходимо сокращение выбросов диоксида углерода более чем на 60%, метана – на 15-20%, оксида азота – на 70-80%, фторхлоруглеродов – на 70-85%. Оценки специалистов Агенства по охране окружающей среды США (ЕРА) практически совпадают с этими величинами.

В 1992 г. Россия подписала и в 1994 г. ратифицировала Рамочную конвенцию ООН об изменении климата. В 2004 г. был ратифицирован Киотский протокол, согласно которому выбросы CO<sub>2</sub> в период 2008 – 2012 не должны превышать базовый уровень эмиссии 1990 г.

При решении проблемы выбросов парниковых газов в России приоритет следует отдать совершенствованию существующих и развитию малоотходных технологий. С точки зрения развития малоотходных технологий в нашей стране наибольший интерес представляют нефтегазовая и угольная отрасли. Определяется это достаточно простой системой контроля, технологичностью, высоким удельным весом выбросов парниковых газов на единицу генерируемой тепловой энергии. В России эмиссия метана нефтегазового сектора превышает 10 млн. т в год, а добыча угля обеспечивает поступление в атмосферу 2,5 млн. т в год.

Поэтому угольные месторождения нужно рассматривать также с позиции добычи и использования метана, содержание которого в России составляет порядка 50 – 80 трлн. м<sup>3</sup>.

Расширение и развитие заблаговременной дегазации угольных пластов является базой для промышленного использования метана, например, в качестве нетрадиционного энергоносителя. Однако широкое внедрение технологий заблаговременной дегазации угольных пластов сдерживается невысокими дебитами метана из скважин, что обусловлено, в

1

РОС. НАЦИОНАЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА С.Петербург 09 306 207 1002
---

том числе, и недостаточной изученностью физических процессов, происходящих при извлечении газов.

Таким образом, комплексное решение проблемы повышения безопасности подземных горных работ и снижения экологической нагрузки на окружающую среду обеспечивается при реализации технологии с заблаговременным извлечением метана из угольных пластов.

Основой технологии заблаговременной дегазации угленосного массива является гидравлическое расчленение угольных пластов (ГРП).

Для достижения максимальной зоны гидрорасчленения необходимо целенаправленно выбирать параметры процесса. Для этого необходимо установить закономерности газодинамических процессов, протекающих в угольном пласте, использование которых обеспечит совершенствование технологии заблаговременного извлечения метана. Поэтому построение математической модели гидрорасчленения угольных пластов является актуальной научно-технической задачей.

*Целью работы* является установление закономерностей гидравлической обработки неразгруженного угольного пласта в зависимости от его гидромеханических параметров и режимов работы нагнетательного оборудования, обеспечивающих повышение эффективности извлечения метана и снижение его выбросов в атмосферу.

*Идея работы* заключается в оптимизации режима гидравлического воздействия на неразгруженный угольный пласт на основе опытного определения его фильтрационных параметров с учетом изменения свойств угля в процессе гидрообработки и управления технологическим процессом на базе компьютерного моделирования.

*Основные научные положения, выносимые на защиту и их новизна:*

1. Разработан метод оптимизации процесса гидравлической обработки угольных пластов путем регулирования параметров гидродинамического воздействия на основе результатов компьютерного моделирования,

использование которого обеспечивает увеличение объемов заблаговременного извлечения и утилизации шахтного метана.

2. В процессе гидравлической обработки угольного пласта при достижении критического давления жидкости происходит разрыв сплошности пласта, что сопровождается сначала скачкообразным ростом коэффициента фильтрации, затем его монотонным возрастанием по мере роста давления и проявлением гистерезиса при убывании давления. Эта особенность учтена в аналитической и разработанной на ее базе компьютерной модели гидрообработки, построенной на соблюдении закона Дарси с переменным коэффициентом фильтрации и уравнения неразрывности фильтрационного потока.
3. Для моделирования процесса гидрообработки угольного пласта разработан метод определения его фильтрационных параметров на основе решения обратной задачи гидрообработки по сопоставлению расчетных и опытных значений давления рабочей жидкости и выборе на этой базе наиболее вероятных фильтрационных параметров по критерию наименьших квадратов отклонений.

***Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются:***

- использованием фундаментальных законов гидромеханики и численных методов при решении задачи моделирования процесса гидрообработки угольных пластов;
- удовлетворительной сходимостью результатов теоретических исследований с экспериментальными данными (погрешность не более 15%);
- положительными результатами апробации разработанной компьютерной модели процесса гидрорасчленения угольных пластов.

***Научное значение работы*** заключается в разработке методических основ прогнозирования зоны гидрообработки метаноносных угольных пластов в зависимости от горно-геологических и гидромеханических параметров пласта и режима воздействия, позволяющих увеличить

извлечение парникового газа, минимизировать энергетические и материальные затраты при реализации технологии и снизить выбросы метана в атмосферу.

***Практическое значение работы:***

- разработана и апробирована методика определения базовых фильтрационных параметров угольного пласта по принципу обратной связи с учетом известных опытных данных о процессе гидрорасчленения;
- разработана и апробирована методика прогнозирования результатов и оптимизации параметров заблаговременного гидравлического воздействия на метаноносные угольные пласты, основанная на компьютерном моделировании процесса обработки.

***Реализация работы.***

Результаты работы использованы при оптимизации параметров заблаговременного гидравлического воздействия при обработке особовыбросоопасного пласта Д<sub>6</sub> через скважину № 35 на поле шахты «Казахстанская».

***Апробация работы.*** Результаты, изложенные в диссертации, докладывались на научных симпозиумах «Неделя горняка-2000», «Неделя горняка-2002», «Неделя горняка-2003», «Неделя горняка-2004», на 6-ом Всероссийском совещании-семинаре «Инженерно-физические проблемы новой техники», на студенческой Научно-технической конференции Аэрокосмического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана.

***Публикации.*** Основные положения диссертации изложены в 5 научных статьях.

***Объем и структура.*** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 89 наименований, содержит 129 страниц текста, 61 рисунок, 20 таблиц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Добыча угля сопровождается выбросами твердых, жидких и газообразных отходов. Анализируя данные по выбросам парниковых газов,

можно отметить, что угольная промышленность представляет большой интерес с точки зрения сокращения выбросов метана за счет возможности его попутной добычи и утилизации. Определяется это локальностью источников выброса и высоким удельным газовыделением.

В итоге, при дегазации шахт и утилизации метана решаются сразу несколько проблем:

- Снижение объемов выделения метана в горные выработки повышает безопасность ведения горных работ.
- Снижение метанообильности выемочных участков позволяет в 1,3 – 1,8 раз повысить нагрузку на забой, что обеспечивает снижение затрат на добычу угля.
- Дегазация позволяет получать экономический эффект от промышленного использования метана.
- Сокращается эмиссия метана из шахт в атмосферу Земли, что уменьшает опасность глобального потепления.
- При замене части сжигаемого угля шахтным метаном получим значительное сокращение эмиссии двуокси углерода и токсичных веществ.

Наибольший интерес с учетом использования добытого метана представляет технология заблаговременного извлечения метана угольных пластов, обеспечивающая полностью кондиционную газовую смесь, пригодную к утилизации. Базовым элементом технологии является гидрорасчленение угольных пластов. Ее сущность заключается в том, что в пласт через скважины закачивают рабочую жидкость с темпом, превышающим естественную приемистость пласта. В результате происходит раскрытие, расширение и соединение пластовых трещин. Этот способ заблаговременной дегазации, предложенный Н.В. Ножкиным, в дальнейшем получил свое развитие в работах С.А.Ярунина, Ю.Ф.Васючкова, С.В.Сластунова, К.С.Коликова и др. Способ стал применяться в широких промышленных масштабах в США только через 20 лет и сейчас используется целым рядом горнодобывающих стран.

Технология гидрорасчленения должна обеспечивать выполнение следующих условий:

- Глубокая дегазация угольных пластов для снижения газоносности до безопасного уровня;
- Равномерная обработка угольного пласта на больших площадях;
- Уменьшение способности угольного массива накапливать потенциальную энергию.

Следует отметить, что для некоторых горно-геологических и горнотехнических условий только путем гидрорасчленения угольного пласта невозможно обеспечить выполнение указанных требований. Поэтому необходимо совершенствовать метод гидрорасчленения.

На этом пути одна из важнейших задач – это теоретическое исследование процесса гидравлического расчленения. Необходимо правильно определять темп нагнетания воды для достижения наилучшего результата. Эта задача обусловлена следующими факторами:

1. В некоторых случаях, например при обработке свиты угольных пластов К1, К10, К11, К12 на поле шахты «Сокурская» ПО «Карагандауголь» (скв. № 15 – 24), режим ГРП не был реализован, хотя проектные параметры были выполнены.
2. Необходимо оценить нужное количество нагнетательной техники в условиях ее дефицита.

Поэтому требуется разработка аналитической модели процесса гидравлического расчленения угольных пластов, которая позволит корректно подбирать параметры процесса.

Процесс гидрорасчленения обладает рядом особенностей, усложняющих поиск метода решения:

1. Фильтрационные свойства угольного пласта анизотропны.
2. Коэффициент фильтрации угольного пласта является сложной функцией давления. При достижении некоторого критического давления и разрыве

микротрещин он скачкообразно возрастает. График зависимости коэффициента фильтрации от давления представлен на рис. 1.

3. При нагнетании воды в угольный пласт присутствуют потери воды в кровлю и почву, которые зависят от давления.

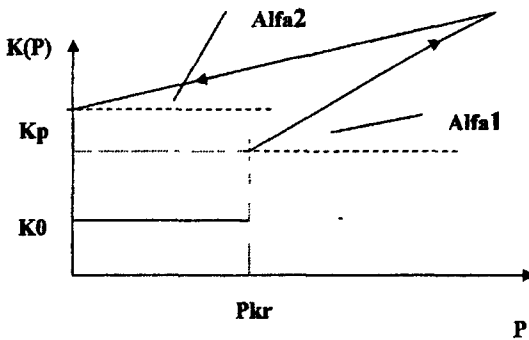


Рис. 1. Принципиальная зависимость коэффициента фильтрации от давления.

### Основные гипотезы, предположения, допущения, априорная информация о протекании процесса

На основе проведенных экспериментов имеется следующая априорная информация о процессе гидрорасчленения:

1. Угольный пласт незначительно анизотропен, т. е. коэффициенты фильтрации по разным направлениям мало различаются.

2. При давлении порядка 100 атм зависимость плотности воды от давления:

$$\rho = \rho_0 [1 + \beta_s (P - P^*)], \quad P^* = 10^5 \text{ Па}, \quad (1)$$

где параметры определены в табл. 1.

3. Зависимость пористости от давления запишется аналогично:

$$n = n_0 + \beta_c (P - P^*), \quad (2)$$

где параметры определены в табл. 1.

4. Угольный пласт имеет постоянную толщину.

5. Потери воды в кровлю и почву линейно зависят от давления.

6. Параметры, описывающие процесс, не зависят от вертикальной координаты  $z$ .

При моделировании процесса рассмотрены две теории в зависимости от учета роли газового давления:

1) Первая из них состоит в том, что в угольном пласте существует ненулевое давление порядка 20 – 30 атм. Поэтому после начала процесса закачивания воды сразу имеет место напорная фильтрация. Кроме того, сторонники этой теории считают, что даже при нулевом начальном давлении процесс заполнения пор протекает настолько быстро, что фильтрацию можно считать напорной.

2) Вторая теория предполагает отсутствие влияния газового давления на динамику гидорасчленения, что соответствует допущению об отсутствии давления газа в порах пласта и поэтому в процессе фильтрации воды в угольном пласте выделяются два различных процесса.

Первый, когда вода частично заполнила поровое пространство. В этом случае имеет место безнапорная фильтрация.

Второй, когда вода полностью заполнила поровое пространство угля. В данном случае имеет место напорная фильтрация.

У обеих теорий есть сторонники, поэтому в диссертационной работе рассмотрены обе модели и определено, какая из них наилучшим образом согласуется с экспериментальными данными. В построении математической модели используются параметры и функции, представленные в табл. 1:

Таблица 1

Величина	Физический смысл	Размерность	Диапазон значений
$P = P(x, y, t)$	давление воды	атм	0 – 400
$P_i$	среднее значение давления	атм	200 – 300
$P_0 = P(x, y, 0)$	давление в пласте в начальный момент времени	атм	0 – 35
$P_{кр}$	критическое давление, при котором происходит гидрорасчленение пласта	атм	60 – 100
$Q$	потери воды из пласта в почву при давлении 100 атм	кг/м <sup>2</sup> с	0 – 0.009
$f(P)$	зависимость потерь воды в кровлю и почву от давления газа	кг/м <sup>2</sup> с	
$H$	мощность пласта	м	3 – 6
$g$	ускорение свободного падения	кг*м/с <sup>2</sup>	9.8
$K_x$	коэффициент фильтрации по направлению x		1
$K_y$	коэффициент фильтрации по направлению y		1,5
$K_0$	коэффициент фильтрации до гидроразрыва	м/сут	0,01 – 1
$K_p$	коэффициент фильтрации сразу после гидроразрыва	м/сут	1 – 10
$tg(\alpha_1)$		м/сут*Па	$(3 - 9) \cdot 10^{-8}$
$tg(\alpha_2)$		м/сут*Па	$(1 - 5) \cdot 10^{-8}$
$\rho_0$	плотность воды при атмосферном давлении	кг/м <sup>3</sup>	1000
$\rho(P)$	зависимость плотности воды от давления	кг/м <sup>3</sup>	
$n_0$	пористость пласта при атмосферном давлении		0.015 – 0.04
$n(P)$	зависимость пористости пласта от давления		
$L$	глубина залегания угольного пласта	м	300 – 650
$r_0$	радиус скважины	м	0.3 – 1
$\beta_b$	коэффициент сжимаемости воды	Па <sup>-1</sup>	$4.5 \cdot 10^{-10}$
$\beta_c$	показатель удельного сжатия	Па <sup>-1</sup>	$2.5 \cdot 10^{-11}$
$Q2(t)$	зависимость расхода воды от времени	л/с	0 – 100

## Математическая модель

### гидравлической обработки угольных пластов

На основе использования закона Дарси и уравнения неразрывности уравнение фильтрации жидкости в угольном пласте для **напорной фильтрации** имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r K(P) \frac{\partial P}{\partial r} \right) + f(P) = c \frac{\partial P}{\partial t}, \\ - \frac{2\pi_0 H}{\rho g} K(P) \frac{\partial P}{\partial r} \Big|_{r=r_0} = Q_3(t), \\ P|_{r=\infty} = P_0, \\ P(r, t)|_{t=0} = P_0. \end{array} \right. , \quad (3)$$

здесь  $f(P) = a + bP$ , (4)

где  $a = -\frac{qP_0}{P_1 - P_0}$ ,  $b = \frac{q}{P_1 - P_0}$ ,  $q = \frac{Q_1 + Q_2}{H} g$ ,  $Q_3(t) = \sqrt{\frac{K_y}{K_x}} Q_2(t)$ ,

для **слабонапорной фильтрации**:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r K_2(P) \frac{\partial P}{\partial r} \right) + F(P) = C(P) \frac{\partial P}{\partial t} \\ - \frac{2\pi_0 H}{\rho g} K(P) \frac{\partial P}{\partial r} \Big|_{r=r_0} = Q_3(t) \\ P|_{r=\infty} = P_0 \\ P(r, t)|_{t=0} = P_0 \end{array} \right. , \quad (5)$$

где  $K_2(P) = \begin{cases} \frac{K_0 P}{\rho g H}, & P \leq \rho g H \\ K(P), & P > \rho g H \end{cases}$ ,  $F(P) = \begin{cases} 0.5 f(P), & P \leq \rho g H \\ f(P), & P > \rho g H \end{cases}$ ,  $C(P) = \begin{cases} \frac{n}{H}, & P \leq \rho g H \\ (\beta_c + n\beta_0)\rho, & P > \rho g H \end{cases}$ .

Уравнения напорной и слабонапорной фильтрации решены численно с использованием безусловно устойчивой разностной схемы. Для этого созданы две компьютерные программы расчета на ЭВМ, которые для каждой модели позволяют получить:

- ✓ распределение давления в пространстве в различные моменты времени;
- ✓ распределение давления во времени в заданной точке плоскости

пласта.

По результатам исследований сделан вывод, что модель слабонапорной фильтрации позволяет получить результаты, хорошо сочетающиеся с экспериментальными данными.

Главная проблема при реализации построенной математической модели заключается в том, что значения параметров коэффициента переноса довольно сложно определить. Поэтому возникает необходимость решения обратной задачи гидрорасчленения угольного пласта для определения неизвестных значений параметров. Неизвестные параметры определяются на основе экспериментальных данных, а именно на основе известного темпа закачки воды и соответствующего ему изменения давления на границе скважины во времени. При решении обратной задачи для минимизации выбирается среднеквадратичное отклонение фактического и численного давления на границе скважины.

Определяются такие параметры  $tg\alpha_1$ ,  $tg\alpha_2$ ,  $Q$ ,  $P_k$ ,  $K_0$  и  $K_p$ , которые обеспечивали бы минимум функционала

$$S(K_0, K_p) = \left\| \bar{P} - \tilde{P}(tg\alpha_1, tg\alpha_2, Q, P_k, K_0, K_p) \right\|^2 \rightarrow \min_{K_0, K_p}, \quad (6)$$

где  $\|P\|^2 = \int_0^T P^2(t) dt$  - норма,

$\bar{P}(t)$  - экспериментально определенное изменение давления на границе скважины во времени;

$\tilde{P}(t, tg\alpha_1, tg\alpha_2, Q, P_k, K_0, K_p)$  - изменение давления на границе скважины, полученное численно с параметрами  $tg(\alpha_1)$ ,  $tg(\alpha_2)$ ,  $Q$ ,  $P_k$ ,  $K_0$  и  $K_p$ .

Для численного решения задачи минимизации функции  $S(tg\alpha_1, tg\alpha_2, Q, P_k, K_0, K_p)$  создана компьютерная программа. В качестве исходных данных пользователь задает интервалы изменения параметров поиска, а также некоторые параметры пласта (глубина залегания, пористость, начальное давление в пласте и т. п.), расход воды и соответствующее ему

изменение давления на границе скважины.

Полученные значения параметров коэффициента переноса используются для моделирования процесса гидрорасчленения (5).

В результате построения математических моделей прямой и обратной задачи ГРП создана следующая схема управления процессом гидрорасчленения:

1. На начальном этапе нагнетания воды в пласт (1-2 часа), используя полученные результаты решения обратной задачи, определяются параметры коэффициента переноса, представляющего собой сложную зависимость от локального давления в пласте.
2. Осуществляется моделирование процесса ГРП с использованием найденных значений параметров коэффициента переноса. и прогнозируется распределение давления в угольном пласте и зоны ГРП для заданного темпа закачки воды.

Следовательно, путем определения темпа закачки с учетом возможностей оборудования, выбирается такая зависимость расхода воды от времени, которая обеспечивает максимальный радиус зоны ГРП. Это важно как с точки зрения снижения выбросов парникового газа, так и с точки зрения безопасности разработки угольного пласта.

Установлено, что оптимальным режимом нагнетания воды при заданном объеме будет режим со ступенчатым возрастанием расхода воды до максимального темпа и дальнейшим чередованием временных участков с максимальным и сниженным темпом нагнетания. Применение подобного режима позволяет увеличить радиус гидрорасчленения на 10 – 20 % (рис. 2).

Значительное увеличение радиуса гидрорасчленения при оптимальном режиме закачки воды в угольный пласт обеспечивает повышение эффективности заблаговременного извлечения метана и, как следствие, снижение его выбросов в атмосферу за счет утилизации. Так как получаемая в результате гидрорасчленения концентрация метано-воздушной смеси является высокой (почти 100%) и стабильной, то она пригодна для

промышленного использования. Кроме того, такие смеси успешно используются в сочетании с МВС, полученными при вентиляции и дегазации, обеспечивая стабильную кондиционную смесь всей дегазационной сети.

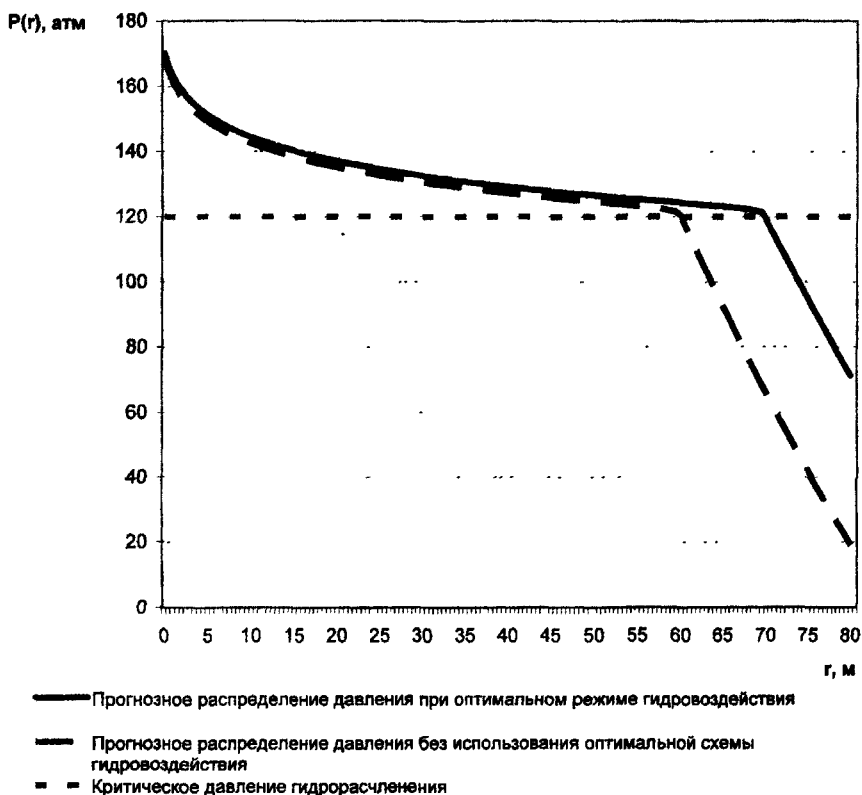


Рис. 2 Увеличение радиуса гидрорасчленения при использовании оптимального режима нагнетания воды в угольный пласт.

Расчеты показывают, что при оптимизации процесса гидрорасчленения на 30-40% снижаются выбросы метана для условий шахт Карагандинского бассейна. Даже применение факельной утилизации обеспечит снижение выбросов парниковых газов на 8,4-21 тыс. т в углеродном эквиваленте при добыче 1 млн. т угля.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научной квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной для угольной отрасли задачи установления закономерностей гидравлической обработки угольных пластов в зависимости от режимов работы нагнетательного оборудования и гидромеханических параметров пласта, определяемых на основе решения обратной задачи по опытным данным, что обеспечивает увеличение съема и утилизации парникового газа и снижение его выбросов в атмосферу.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации, полученные лично автором, заключаются в следующем:

1. Совершенствование способа гидрорасчленения угольных пластов осуществляется на базе оперативного уточнения фильтрационных параметров угольных пластов с помощью компьютерного моделирования процесса, что обеспечивает снижение экологической нагрузки на окружающую среду при последующей шахтной добыче угля.

2. Выбросы метана в атмосферу при использовании усовершенствованной схемы гидровоздействия снизятся в среднем на 35 %, причем даже применение факельной утилизации обеспечит снижение выбросов парниковых газов на 8,4 – 21 тыс. т в углеродном эквиваленте при добыче 1 млн. т угля, т. е. наблюдается значительный экологический эффект.

3. Увеличение экономического эффекта от использования метана дегазационной сети при оптимизации режима гидравлической обработки угольных пластов составляет в среднем 27 %.

4. Разработаны две математические модели процесса гидрообработки угольных пластов для граничных условий второго рода (задан расход жидкости на границе скважины) с учетом нелинейной зависимости коэффициента фильтрации от давления рабочей жидкости и пространственной анизотропии фильтрационных характеристик пласта.

5. Выбраны численные решения для обеих моделей процесса, построены дискретные модели на основе нелинейной абсолютно устойчивой разностной

схемы и созданы компьютерные программы, моделирующие процесс гидрорасчленения угольных пластов.

6. Для практических расчетов выбрана модель слабонапорной фильтрации, так как на основании численных и натуральных экспериментов показано, что она более адекватно описывает процесс гидрорасчленения.

7. Разработана математическая модель обратной задачи гидрорасчленения угольных пластов для определения фильтрационных параметров пласта. Заданные в широком диапазоне значений, неизвестные параметры уточняются на основе опытных данных о темпе закачки воды в пласт и соответствующего ему изменения давления на границе скважины во времени.

8. Создана компьютерная программа для численного решения обратной задачи модифицированным методом покоординатного спуска, который работает быстро, прост в реализации и дает удовлетворительные результаты.

9. Разработана общая схема оптимизации режима гидровоздействия по заданному критерию на основе построенной модели гидрорасчленения угольного пласта, использующей параметры угольного пласта, полученные в результате решения обратной задачи гидрорасчленения.

10. Установлено, что оптимальным режимом нагнетания воды при заданном объеме будет режим со ступенчатым возрастанием расхода воды до максимального темпа и дальнейшим чередованием временных участков с максимальным и сниженным темпом нагнетания.

*Основные положения диссертации опубликованы в следующих научных работах:*

1. Алексеева В.А., Алехнович В.И. Моделирование процессов фильтрации в повреждаемых пористых средах. – М., Материалы 6-го Всероссийского Сопещания-семинара «Инженерно-физические проблемы новой техники», 2001. С. 18-19.

2. Каркашадзе Г.Г., Коликов К.С., Алексеева В.А. Разработка аналитической модели гидрорасчленения угольного пласта. – М., МГГУ, ГИАБ, 2002, №6. С. 50-54.

3. Сысенко В.А. Рекомендации по совершенствованию технологии гидрорасчленения угольных пластов на основе его математической модели. – М., МГГУ, ГИАБ, 2004, №8. С. 114 - 117.

4. Сысенко В.А. Совершенствование технологии гидравлического расчленения для повышения безопасности горных работ и снижения выбросов парниковых газов. – М., МГГУ, ГИАБ, 2004, №8. С. 40 – 43.

5. Коликов К.С., Сысенко В.А. Оценка снижения выбросов парниковых газов при заблаговременной дегазации угольных пластов. – М.: 2005, изд-во МГГУ. Депон. рук. – 11 с.

Подписано в печать 25.11.2005 г.

Формат 60x90/16

Объем 1 п.л.

Тираж 100 экз.

Заказ № 1195

---

Типография Московского государственного горного университета

Ленинский проспект, д. 6

"25045

РНБ Русский фонд

2006-4

28996