

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-5-64-73

УДК 622. 817.47

**МНОГОСТАДИЙНАЯ ДЕГАЗАЦИЯ УГЛЕМЕТАНОВЫХ ПЛАСТОВ
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗА
И ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД****MULTISTAGE DEGASSING OF COAL-METHANE SEAMS
IN THE INTERACTION OF GAS FILTRATION PROCESSES
AND DEFORMATION OF ROCK MASS****Ширяев Сергей Николаевич,**

первый заместитель технического директора, e-mail: Sergey.Shiryaev2@evraz.com

Sergej N. Shirjaev, first deputy technical director

ООО «Распадская угольная компания», 654027, Россия, г. Новокузнецк, пр. Курако, 33
ООО Rapsadskaja ugoľ'naja kompanija, 33 avenue Kurako, Novokuznetsk, 654027, Russian Federation

Аннотация:

Разработан и реализован методический подход многостадийной дегазации углеметановых пластов, сущность которого состоит в поэтапном искусственном воздействии на массив горных пород с целью повышения его проницаемости, трещиноватости и формирования транспортных потоков водогазо-угольной смеси. На этапе заблаговременной дегазации предлагается использовать плазменно-импульсный способ воздействия на углеметановые пласты, что приводит к раскрытию природных и созданию дополнительных трещин, формированию транспортных потоков флюидов в виде смеси газа, жидкости и угольных частиц при понижении уровня откачиваемой через скважины воды. На следующем этапе предварительной дегазации рекомендуется применение скважин направленного бурения в зоны повышенной проницаемости в пределах обрабатываемого и соседних сближенных пластов. На стадии текущей дегазации используется эффект последовательного изменения состояния угля и пород на стадиях упругого, упругопластического, запредельного деформирования и разрушения угольных пластов и вмещающих пород при направленном изменении напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

Ключевые слова: шахта, дегазация, метан, угольный пласт, скважина, фильтрация, проницаемость, деформации, напряжения, пористость.

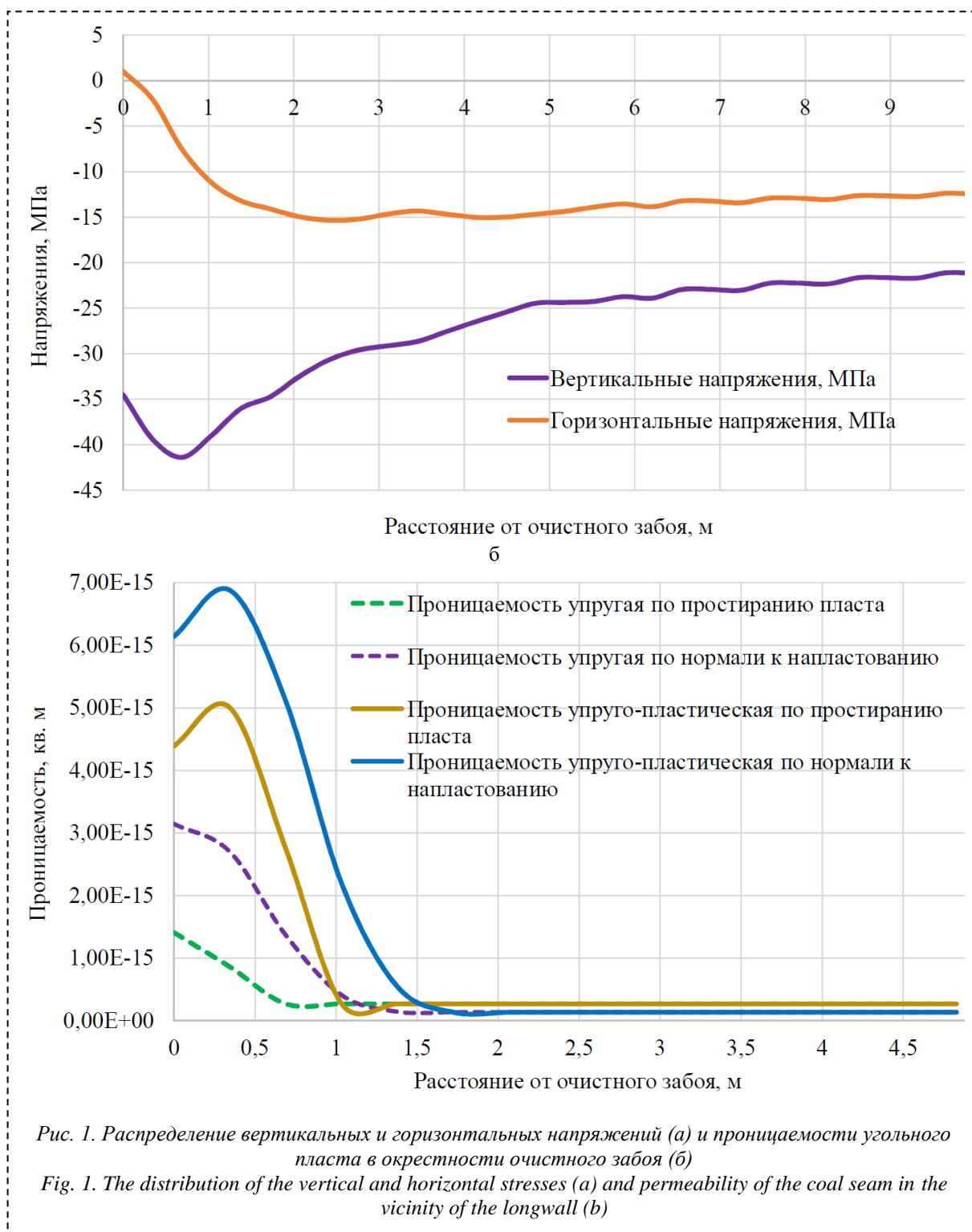
Abstract:

A methodical approach of multistage degassing of coal-methane seams has been developed and implemented. The essence of this approach is in step-by-step artificial impact on the rock mass in order to increase its permeability, fracturing and formation of transport flows of water-gas-coal mixture. At the stage of advance degassing, it is proposed to use a plasma-pulse method of acting on coal-methane seams, which leads to the disclosure of natural and the creation of additional cracks, the formation of fluid transport flows in the form of a mixture of gas, liquid and coal particles when the level of water pumped through the wells decreases. At the next stage of preliminary degassing, it is recommended to use directional drilling wells in the zone of increased permeability within the worked and adjacent formations. At the stage of current degassing, the effect of successive changes in the state of coal and rocks at the stages of elastic, elastic-plastic, beyond deformation and destruction of coal seams and host rocks with a directional change in the stress-strain state of the rock mass is used.

Keywords: mine, degassing, methane, coal seam, well, filtration, permeability, deformation, stress, porosity.

Угольные месторождения в России и за рубежом являются, как правило, высокометанодонными, и при их разработке выделяется в среднем 18,6 м³ метана на тонну добытого угля, что является ограничением по газовому фактору

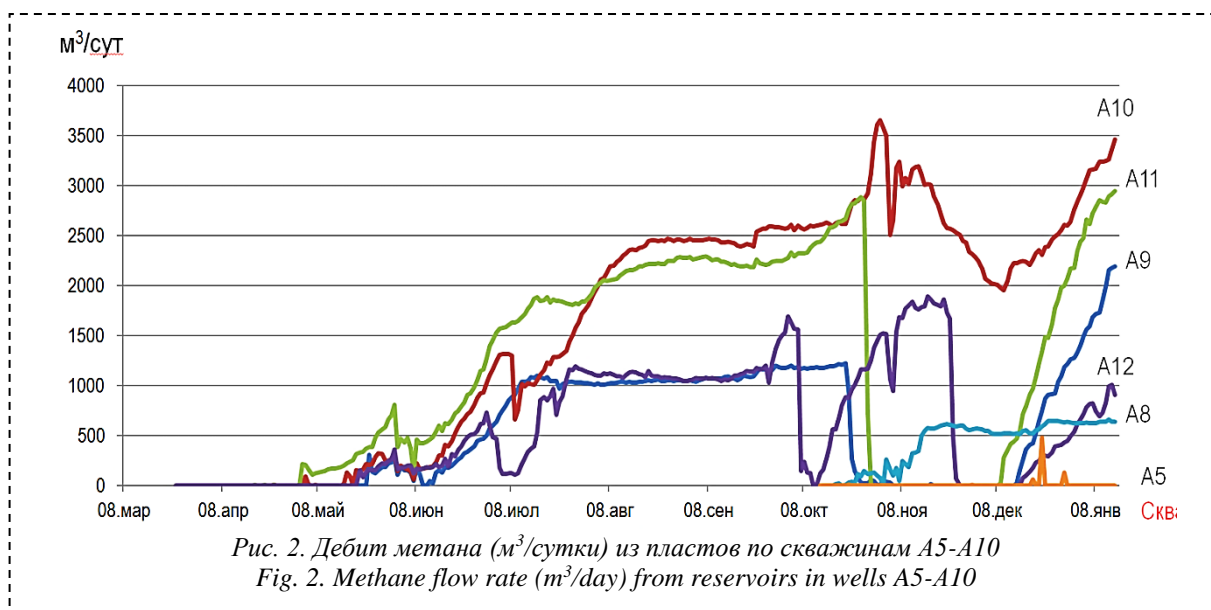
производительности современного высокопроизводительного оборудования в подготовительных и очистных забоях. Обильное выделение метана в горные выработки при определенном сочетании



горно-геологических, горнотехнических и организационных условий приводит к возникновению опасных производственных газодинамических ситуаций в виде загазований выработок и взрывов метановоздушных смесей.

Разработке и реализации высокопроизводительных технологий подготовки, отработки и дегазации углеметановых пластов посвящены работы многих ученых и практиков [1, 2, 7, 9, 11, 16],

однако до сих пор не решены основные актуальные задачи: не доведены до практического применения теоретические исследования по высвобождению (десорбции) метана; достигнутый коэффициент дегазации 0,12-0,40 не обеспечивает устойчивую и безопасную работу очистных и подготовительных забоев; не выявлена однозначно роль метана при внезапном выбросе угля как сложном физико-химическо-механическом явлении; не разработаны



надежные методы количественного прогнозирования параметров внезапных прорывов метана из сближенных пластов, геологических нарушений, выработанного пространства.

Перспективным направлением повышения интенсивности освобождения метана из угля (в том числе из газогидратного состояния) является создание и реализация активных комбинированных способов многостадийного воздействия на угольную матрицу, отличающихся дезинтеграцией угля, повышением проницаемости угольных пластов, снижением механического и порового давления, повышением равновесной для газовых гидратов температуры.

В этой связи актуальной научно-практической задачей является создание и реализация методов и средств управления многостадийной дегазацией углеметановых пластов с использованием технологий искусственного повышения их проницаемости и формирования транспортных каналов флюидов посредством направленного изменения механических напряжений и давления метана в угольной матрице для обеспечения эффективной и безопасной подземной разработки углеметановых пластов.

Основная идея многостадийной дегазации углеметановых пластов при взаимодействии процессов фильтрации газа и деформирования массива горных пород заключается в использовании выявленных закономерностей десорбции, фильтрации и диффузии метана в угольной матрице при искусственном повышении проницаемости угольных пластов посредством направленного изменения механических напряжений и трещиноватости угля, создании потока газосодержащих флюидов и реализации обоснованных активных способов управления напряженно-деформированным состоянием массива горных пород [2, 7, 17, 18].

Для решения поставленной задачи используются следующие методы: метод анализа эффективности традиционных способов и средств дегазации

шахт; шахтные эксперименты; численное моделирование взаимодействующих технологических, фильтрационных и геомеханических процессов; метод синтеза вариантов традиционных и перспективных схем извлечения метана; метод статистической оценки и ранжирования вариантов активных комбинированных способов многостадийной дегазации.

Методика количественного прогнозирования параметров взаимодействующих геомеханических и фильтрационных процессов в массиве горных пород при отработке углеметановых пластов включает математическую модель взаимодействия геомеханических и фильтрационных процессов в массиве горных пород в виде уравнений равновесия системы конечных элементов и неразрывности потоков флюида. Модель обеспечивает получение следующих параметров геомеханических и газо-фильтрационных процессов: полный вектор напряжений и деформаций; проницаемость, пористость, остаточную метаносность угольных пластов; давление и градиент давления метана. Указанные параметры определяются для следующих состояний массива горных пород: вне зоны влияния горных выработок на этапе заблаговременной дегазации; в зонах влияния системы горных выработок на этапах предварительной и текущей дегазации при упругом, упруго-пластическом и запредельном деформировании угля и пород, а также с учетом скорости подвигания очистных и подготовительных забоев. Количественное прогнозирование взаимодействующих геомеханических и фильтрационных процессов осуществляется по результатам решения методом конечных элементов двумерных и трехмерных задач механики горных пород.

На рис. 1 в качестве примера показано распределение вычисленных методом конечных элементов вертикальных и горизонтальных напряжений, проницаемости угля в краевой части очистного забоя пласта 48 филиала Шахта «Ерунаковская-

VIII». Результаты моделирования приведены для следующих условий залегания пласта: мощность 2,10 м, глубина разработки $H=445$ м, угол падения $\alpha=0^\circ$.

Шахтные эксперименты включали бурение с земной поверхности вертикальных скважин и скважин направленного бурения из подземных горных выработок для проведения заблаговременной и предварительной дегазации угольных пластов.

До начала заблаговременной дегазации проведено искусственное направленное изменение механических напряжений, пористости и давления метана плазменно-импульсным воздействием (ПИВ) на угольный пласт с использованием результатов исследований и рекомендаций NOVAS ES, ООО «Георезонанс» [15]. Сущность технологии состоит в использовании эффекта П. А. Ребиндера, согласно которому при наличии жидкой и твердой фаз и знакопеременных напряжений среда подвергается диспергированию [20].

Для практической реализации технологии в качестве объекта исследований приняты пласты 48 и 45 филиала Шахта «Ерунаковская-VIII» в Кузбассе. Было пробурено 12 скважин глубиной 554-565 м диаметром при пересечении пластов 200 мм. Зона влияния каждой скважины определена как 200 м, фактически достигнут радиус влияния скважины 400 м. По всей мощности пластов колонна принята стеклопластиковой перфорированной. После геофизического обследования генератор плазменных импульсов спускается в скважину и проводится обработка угольных пластов.

Мониторинг состояния скважины, вывод ее на рабочий режим осуществляются оператором с использованием датчиков, системы автоматизированного сбора и анализа информации. По результатам анализа показателей работы скважин и исследований зависимостей дебита метана от основных горно-геологических и технологических факторов разработаны рекомендации для выбора оптимального режима управления дегазацией и откачки воды насосами. Некоторые результаты применения заблаговременной дегазации с применением плазменно-импульсного воздействия на угольные пласты представлены на рис. 2.

Развитие научной идеи многостадийного управления процессами деформирования углеметановых пластов и фильтрации газа и состоит в формировании новых и сохранении существующих транспортных потоков газосодержащей жидкости посредством создания градиента давления флюида, удаления тонкодисперсных частиц, разложения газогидратов. При этом возможно многократное плазменно-импульсное воздействие на массив горных пород и активизация транспортных потоков флюидов, в которых пузырьки метана в виде «наездников» по мере отбора воды из скважин перемещаются к устью скважины [19]. Эффективность проведения указанных мероприятий доказана по результатам шахтных измерений:

установлено, что при пластовой дегазации с вакуумированием скважин дебит метана снижается по обратно экспоненциальной зависимости через 30-40 суток в интервале 0,040-0,005 м³/мин. При активном управлении процессами дегазации, например, с применением плазменно-импульсного воздействия на массив горных пород, выделение метана продолжается в течение 6-12 месяцев с повышением дебита метана до 0,29 м³/мин, то есть в семь раз интенсивнее по сравнению с традиционными способами дегазации. В отдельные периоды заблаговременной дегазации достигнут дебит метана 1200-4000 м³/сутки – это объем, достаточный для промышленного использования метана как энергетического продукта.

Для расширения области применения способа многостадийной дегазации углеметановых пластов [19, 21] был проведен натурный эксперимент по использованию результатов плазменно-импульсного воздействия на угольный пласт для дегазации остаточного метана через скважины направленного бурения из подземных выработок. Всего с помощью бурильного агрегата dhDL5 пробурено 20 скважин по пласту 48 на филиале «Шахта «Ерунаковская-VIII» с вентиляционного штрека 48-6. Максимальная длина скважин 380 м. Общая длина скважин составила 17173 м, дебит метана из всех скважин 3,033 м³/мин, удельный дебит метана из скважины $(1,0-2,7) \cdot 10^{-4}$ (м³/мин)/м [13].

Особенностью залегания сближенных угольных пластов на указанных участках является изменчивость мощности пород между пластами. Минимальная мощность пород между пластами в пределах 0,70-1,00 м выявлена в окрестности монтажных камер выемочных столбов 48-5, 48-6 и фланговых стволов. Толщина породного слоя между пластами постепенно увеличивается в юго-западном направлении и в районе уклонов и демонтажных камер достигает 7 м. Графики изменения мощности пород между пластами 48 и 45, результаты шахтных измерений основных показателей экспериментального участка 48-5 приведены на рис. 3. По графикам выявлены зависимости абсолютной газообильности и среднесуточной добычи от мощности пород между весьма сближенными пластами 48 и 45.

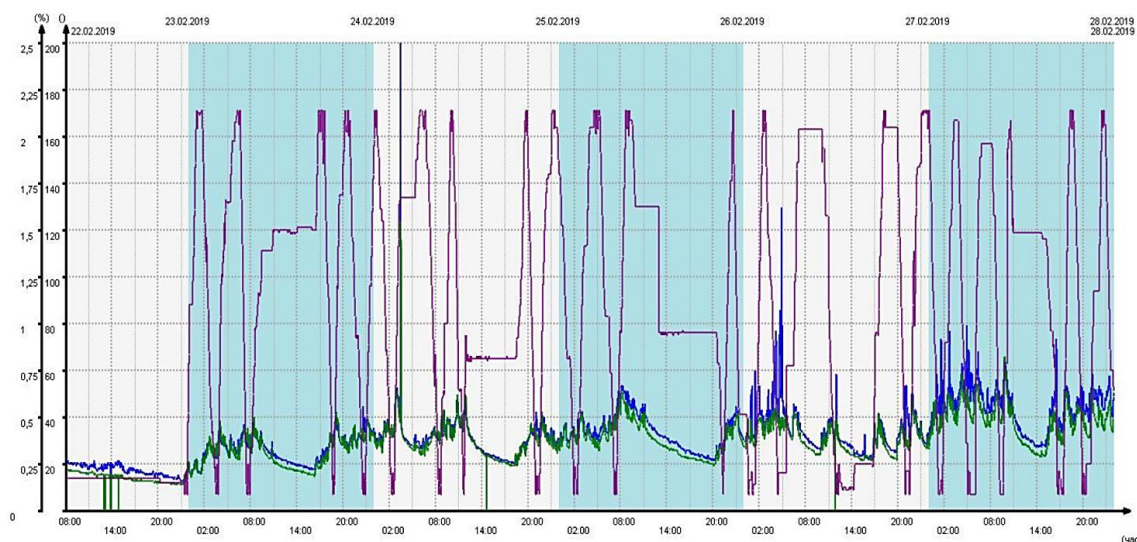
Сравнение дебита метана из дегазационных скважин направленного бурения в зоне с предварительным проведением ПИВ и без применения этой технологии подтвердил эффективность разработанного способа многостадийной дегазации углеметановых пластов. Реализация этого способа в условиях Ерунаковского угольного месторождения Кузбасса (природная газоносностью – более 20 м³/т) обеспечила снижение метанообильности проводимых подготовительных выработок и содержание метана в исходящей струе воздуха из подготовительного забоя в пределах установленных норм (согласно требованиям Федеральных норм и правил в области промышленной



Таблица 1. Газовый баланс по выемочным участкам 48-5 и 48-6

Table 1. Gas balance on extraction panel 48-5 and 48-6

Показатель	Единицы измерения	Всего входящая струя	Пластовая дегазация	Газоуправление	Дегазация выработанного пространства
Выемочный участок 48-5					
Объем воздуха	м ³ /мин	2591	72	1027	106
Содержание метана	%	0,06	26,47	1,22	28,46
Объем метана	м ³ /мин	1,66	19,0	12,6	30,2
Удельный объем метана	%	2	27	18	45
Выемочный участок 48-6					
Объем воздуха	м ³ /мин	2840	47	1117	55
Содержание метана	%	0,10	31,75	2,01	40,20
Объем метана	м ³ /мин	2,84	14,9	22,4	22,1
Удельный объем метана	%	4	21	31	30



Список датчиков

	ЛАВА 48-6.К/ш.9 \ М243-010 КУТОК
	ЛАВА 48-6.К/ш.9 \ М245-010 Исходящий лавы
	Очистной комбайн Joy \ Номер секции

Рис. 4. Показания датчиков метана в лаве 48-6

Fig. 4. Readings of methane sensors in longwall 48-6

безопасности). В соответствии с разработанными рекомендациями до начала отработки выемочного столба 48-6 были в течение 13 месяцев проведены работы по дегазации пластов 48 и 45 и получены следующие результаты:

- пробурено 326 скважин общей длиной всех скважин 85,1 км;
- средний дебит метана из всех скважин составил 18,8 м³/мин, а из одной скважины – 0,058 м³/мин;
- объем извлеченного метана составил

10 млн. м³, а остаточный объем газа составил 4210 млн. м³;

- остаточная газоносность получена 16,2 м³/т, то есть снижение природной газоносности произошло на 3,8 м³/т;

- доля предварительной дегазации составила 21%;

- на этапе отработки выемочного участка доля дегазации выработанного пространства достигла 31%.

Газовый баланс по выемочному участку 48-6

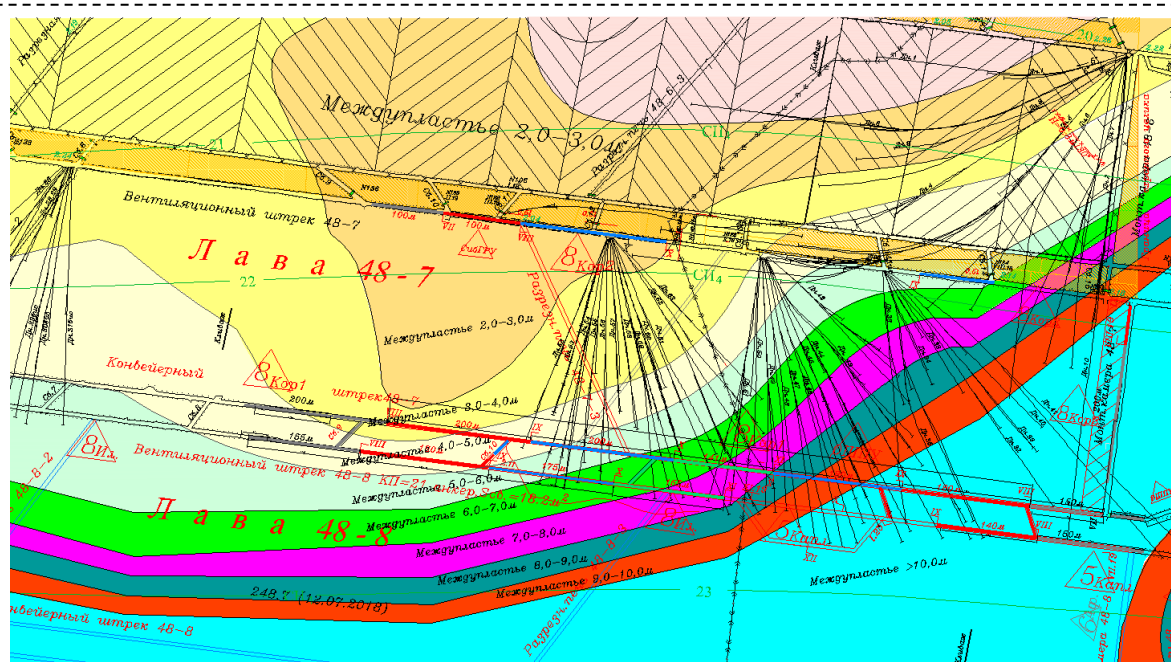


Рис. 5. Схема расположения скважин направленного бурения на выемочных участках 48-6 и 48-7 флюиала Шахта «Ерунаковская-VIII»

Fig. 5. The scheme of location of directional drilling wells on extraction panel 48-6 and 48-7 of branch "Mine "Erunakovskaya-VIII"

представлен в табл. 1.

При натурных исследованиях использованы графики изменения концентрации метана по показаниям датчиков на нижнем и верхнем сопряжении лавы 48-6 со штреками и в зоне выемки угля по длине лавы (рис. 4).

Полученные графики выделения метана в зоне работы очистного комбайна подтверждают результаты численного моделирования (см. рис. 1): наиболее интенсивно метан выделяется из краевой части пласта шириной до одного метра, где проницаемость угольного пласта увеличивается в 5-6 раз по сравнению с проницаемостью в зоне упругого деформирования пласта.

По итогам натурного эксперимента способа многостадийной дегазации углеметановых пластов, анализа положительных результатов их дегазации при отработке выемочных столбов 48-5 и 48-6, а также результатам численного моделирования методом конечных элементов геомеханических и газодиффузионных процессов в сближенных угольных пластах была разработана проектная документация дегазации нижележащего выемочного столба 48-7 (рис. 5). Результаты применения разработанного способа многостадийной дегазации углеметановых пластов при отработке выемочного столба 48-7 будут представлены в следующей статье автора.

Выводы:

1. Разработана методика количественного прогнозирования параметров взаимодействующих геомеханических и фильтрационных процессов при отработке углеметановых пластов, включающая алгоритмы и компьютерные программы

решения методом конечных элементов системы уравнений равновесия гравитационных сил и сплошности потоков флюидов, с определением напряжений, деформаций, проницаемости, пористости и давления газа в окрестности подземных горных выработок.

2. Выявлены закономерности изменения газодиффузионных параметров углеметановых пластов под влиянием напряженно-деформированного состояния массива горных пород в окрестности подземных выработок: отношение проницаемости по нормали к напластованию и по простиранию пласта при упругом деформировании угля составляет 2,2, а при упругопластическом состоянии угля это отношение снижается до 1,4 за счет дезинтеграции угля.

3. Установлено, что ширина зоны повышенной проницаемости до $7 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ в краевой части пласта прямо пропорционально зависит от отношения вертикальных напряжений и предела прочности угля при сжатии; при переходе угля из упругого состояния в упруго-пластическое ширина зоны увеличивается в 1,5 раза и достигает 0,8 вынимаемой мощности пласта.

4. Установлено, что при плазменно-импульсном воздействии на угольный пласт с высвобождением накопленной энергии в течение от 9 до 55 мкс и распространением сдвиговых колебаний с частотой 4-9 Гц под влиянием знакопеременных напряжений происходит раскрытие природных трещин и формирование сети новых ортогональных трещин шириной 15-30 мкм, вследствие чего повышается пористость и проницаемость угольного пласта.

5. Доказано, что эффективность дегазации

угольного пласта после плазменно-импульсного воздействия повышается при следующих условиях: снижение давления флюида в транспортном потоке, формирование и разрыв газовых пузырьков, вымывание из трещин тонкодисперсных частиц, наложение зон влияния дегазационных скважин, пройденных с земной поверхности и из горных выработок.

6. На угольных шахтах Кузбасса разработана и внедрена технология многостадийной дегазации углеметановых пластов, включающая

заблаговременное повышение проницаемости посредством плазменно-импульсного воздействия на пласт с расстоянием между скважинами до 400 м, применение скважин направленного бурения длиной до 700 м в зоны заблаговременной дегазации, использование закономерностей циклического изменения метановыделения под влиянием геомеханических и техногенных процессов.

7. Результаты исследований в виде рекомендаций включены в проекты дегазации шахт «Ерунаковская VIII», «Алардинская» и «Распадская».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов / Рубан А.Д., Артемьев В.Б., Забурдяев В.С., Захаров В.Н., Логинов А.К., Ютяев Е.П. – М.: Горная книга, 2010. – 500 с.
2. Дегазация газа метана из угольных пластов и вмещающих пород на шахтах Кузбасса. История. Действительность. Будущее / А.В. Ремезов, В.Г. Харитонов, А.И. Жаров, Д.И. Жмуровский, В.О. Торро, Н.В. Рябков. – Кемерово: КузГТУ, 2012. – 848 с.
3. Смирнов В.Г. Энергия активации процесса разложения и образования гидратов метана в порых природного угля / В.Г. Смирнов, А.Ю. Манаков, В.В. Дырдин // Вестник КузГТУ. – 2014. - №3. – С. 24-28.
4. Скрицкий В.А. О взрывоопасности технологических схем многоштрековой подготовки и отработки пологих угольных пластов / В.А. Скрицкий // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. Научный журнал. – Новокузнецк: СибГИУ. – 2017. - №3. – С. 365-371.
5. Говорухин Ю.М. Управление метановыделением в шахтах / Ю.М. Говорухин, В.Г. Криволапов. - Новокузнецк: СибГИУ, 2017. – 154 с.
6. Плаксин М.С. Особенности развития динамических газопроявлений при проведении подготовительной выработки / М.С. Плаксин, А.А. Рябцев // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. ст. - Новокузнецк: СибГИУ, 2017. - С. 67-73.
7. Метан и выбросоопасность угольных пластов / С.А. Шепелева, В.В. Дырдин, Т.Д. Ким, В.Г. Смирнов, Т.Н. Гвоздкова. - Томск: ТГУ, 2015. - 180 с.
8. Применение параметрической модели развития иерархии геоструктур в массиве горных пород для проектирования параметров выемочных участков / Е. Н. Козырева, Е.В. Леонтьева, С.П. Буланчикова, С.Ф. Ослаповский // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. Научный журнал. – Новокузнецк: СибГИУ. – 2016. - №2. – С. 54–63.
9. Интенсификация дегазации угольного пласта на основе учета его геомеханического состояния в условиях нестационарных механических и сорбционных деформаций / Г.Г. Каркашадзе, С.В. Сластунов, Г.П. Ермак, Е.В. Мазаник // Уголь. – 2015. - №11. – С. 62-65.
10. Полевщиков Г.Я. Исследования газодинамики разрабатываемых угольных месторождений / Г.Я. Полевщиков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. - №5. – С. 252-258.
11. Качурин Н.М. Аэрогазодинамика очистных и подготовительных участков при отработке мощных пологих пластов / Н. М. Качурин, А. Ю. Ермаков, Вал. В. Сенкус. – Кемерово: А.И. «Кузбассвуиздат», 2017. – 287 с.
12. Кулак В.Ю. Прогнозирование горных ударов при отработке склоновых к газодинамическим явлениям угольных пластов / В.Ю. Кулак, А.А. Черепов, С.Н. Ширяев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – №3. – С. 328-336.
13. Ширяев С.Н. Применение современных методов дегазации при отработке пласта 48 в условиях филиала «Шахта «Ерунаковская-VIII» / С.Н. Ширяев, А. М. Никитина, Р.А. Дадынский // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2018. – №3 (25). – С. 41-47.
14. Обоснование направлений развития способов и средств дегазации угольных шахт / С.Н. Ширяев, П. Г. Агеев, А. А. Черепов, О. А. Петрова, В. Н. Фрянов // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2018. – №3 (25). – С. 28-32.

15. Плазменно-импульсное воздействие – инновационный подход к добыче традиционных и нетрадиционный подход к добыче традиционных и нетрадиционных углеводородов и заблаговременной дегазации угольных пластов / П.Г. Агеев, Д.П. Агеев, А.С. Десяткин, А.Ф. Пащенко // Бурение и нефть. 2016. №7-8. - С. 34 – 40.
16. Espinoza, D.N. Desorption-induced shear failure of coal bed seams during gas depletion / D.N. Espinoza, J.-M. Pereira, M. Vandamme, P. Dangla, S. Vidal-Gilbert // International Journal of Coal Geology 137. 2015. pp.142-151.
17. Bo, Li. A method of determining the permeability coefficient of coal seam based on the permeability of loaded coal / Li Bo, Wei Jianping, Wang Kai, Li Peng, Wang Ke // International Journal of Mining Science and Technology. 2014. Issue 5. Vol. 24. pp. 637-641.
18. Xue S., Wang J., Yuan L., Wang Y., Xie J. A coupled dem and lbm model for simulation of outbursts of coal and gas // International Journal of Coal Science and Technology. – 2015. – V. 2. – № 1. – PP. 22–29.
19. Romanov V.N., Graeser L.C., Jikich S.A., Soong Y., Irdi G.A. Coal–gas interaction: implications of changes in texture and porosity // International Journal of Coal Science and Technology. – 2016. – V. 3. – № 1. – PP. 10–19.
- i. 20. Boyer, G. Vent Flow/Gas Migration Data Trends in the Western Provinces, Society of Petroleum Engineers/Canadian Society for Gas Migration GeoConference, Canada, March 2016.
20. Lu S., Cheng Y., Ma J., and Zhang Y. Application of in-seam directional drilling technology for gas drainage with benefits to gas outburst control and greenhouse gas reductions in Daning coal mine, China // Natural Hazards. -2014. - Vol. 73. -№ 3. - pp. 1419-1437.

REFERENCES

1. Podgotovka i razrabotka vysokogazonosnyh ugol'nyh plastov / Ruban A.D., Artem'ev V.B., Zaburdjaev V.S., Zaharov V.N., Loginov A.K., Jutjaev E.P. – M.: Gornaja kniga, 2010. – 500 p.
2. Dегазация газа метана из угольных пластов и вмещающих пород на шахтах Кузбасса. Историја. Дејствителност. Будущее / A.V. Remezov, V.G. Haritonov, A.I. Zharov, D.I. Zhmurovskij, V.O. Torro, N.V. Rjabkov. – Kemerovo: KuzGTU, 2012. – 848 p.
3. Smirnov V.G. Jenergija aktivacii processa razlozhenija i obrazovanija gidratov metana v porah prirodnogo uglja / V.G. Smirnov, A.Ju. Manakov, V.V. Dyrdin // Vestnik KuzGTU. – 2014. - №3. – Pp. 24-28.
4. Skrickij V.A. O vzryvoopasnosti tehnologicheskikh shem mnogoshirekovoј podgotovki i otrabotki pologih ugol'nyh plastov / V.A. Skrickij // Naukoјomkie tehnologii razrabotki i ispol'zovanija mineral'nyh resursov. Nauchnyj zhurnal. – Novokuzneck: SibGIU. – 2017. - №3. – Pp. 365-371.
5. Govoruhin Ju.M. Upravlenie metanovydeleniem v shahtah / Ju.M. Govoruhin, V. G. Krivolapov. - Novokuzneck: SibGIU, 2017. – 154 p.
6. Plaksin M.S. Osobennosti razvitiја dinamicheskikh gazoproјavlenij pri provedenii podgotovitel'noj vyrabotki / M.S. Plaksin, A.A. Rjabcev // Naukoјomkie tehnologii razrabotki i ispol'zovanija mineral'nyh resursov: sb. nauch. st. - Novokuzneck: SibGIU, 2017. - Pp. 67-73.
7. Metan i vybrosopasnost' ugol'nyh plastov / S.A. Shepeleva, V.V. Dyrdin, T.D. Kim, V.G. Smirnov, T.N. Gvozdkova. - Tomsk: TGU, 2015. - 180 p.
8. Primenenie parametricheskoј modeli razvitiја ierarhii geostruktur v massive gornyh porod dlја proektirovaniја parametrov vyemochnyh uchastkov / E.N. Kozyreva, E.V. Leont'eva, S.P. Bulanchikova, S.F. Oslapovskij // Naukoјomkie tehnologii razrabotki i ispol'zovanija mineral'nyh resursov. Nauchnyj zhurnal. – Novokuzneck: SibGIU. – 2016. - №2. – Pp. 54-63.
9. Intensifikacija dегазации ugol'nogo plasta na osnove uchјota ego geomechanicheskogo sostojanija v usloviјah nestacionarnyh mehanicheskikh i sorbcionnyh deformacij / G.G. Karkashadze, S.V. Slastunov, G.P. Ermak, E.V. Mazanik // Ugol'. – 2015. - №11. – Pp. 62-65.
10. Polevshnikov G.Ja. Issledovanija gazodinamiki razrabatyvaemyh ugol'nyh mestorozhdenij / G.Ja. Polevshnikov // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. – 2013. - №5. – Pp. 252-258.
11. Kachurin N.M. Aјerogazodinamika ochistnyh i podgotovitel'nyh uchastkov pri otrabotke moshnyh pologih plastov / N.M. Kachurin, A.Ju. Ermakov, Val.V. Senkus. – Kemerovo: A.I. «Kuzbassvuzizdat», 2017. – 287 p.

12. Kulak V.Ju. Prognozirovanie gornyh udarov pri otrabotke sklonnyh k gazodinamicheskim javlenijam ugol'nyh plastov / V.Ju. Kulak, A.A. Cherepov, S.N. Shirjaev // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal). – 2017. – №3. – Pp. 328-336.
13. Shirjaev S.N. Primenenie sovremennyh metodov degazacii pri otrabotke plasta 48 v uslovijah filiala «Shahta «Erunakovskaja-VIII» / S.N. Shirjaev, A.M. Nikitina, R.A. Dadynskij // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta. – 2018. – №3 (25). – Pp. 41-47.
14. Obosnovanie napravlenij razvitija sposobov i sredstv degazacii ugol'nyh shaht / S.N. Shirjaev, P.G. Ageev, A.A. Cherepov, O.A. Petrova, V.N. Frjanov // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta. – 2018. – №3 (25). – S. 28-32.
15. Plazmenno-impul'snoe vozdejstvie – innovacionnyj podhod k dobyche tradicionnyh i netradicionnyj podhod k dobyche tradicionnyh i netradicionnyh uglevodorodov i zablagovremennoj degazacii ugol'nyh plastov / P.G. Ageev, D.P. Ageev, A.S. Desjatkin, A.F. Pashhenko // Burenje i nef't'. 2016. №7-8. - S. 34-40.
16. Espinoza, D.N. Desorption-induced shear failure of coal bed seams during gas depletion / D.N. Espinoza, J.-M. Pereira, M. Vandamme, P. Dangla, S. Vidal-Gilbert // International Journal of Coal Geology 137. 2015. pp.142-151.
17. Bo, Li. A method of determining the permeability coefficient of coal seam based on the permeability of loaded coal / Li Bo, Wei Jianping, Wang Kai, Li Peng, Wang Ke // International Journal of Mining Science and Technology. 2014. Issue 5. Vol. 24. pp. 637-641.
18. Xue S., Wang J., Yuan L., Wang Y., Xie J. A coupled dem and lbm model for simulation of outbursts of coal and gas // International Journal of Coal Science and Technology. – 2015. – V. 2. – № 1. – PP. 22-29.
19. Romanov V.N., Graeser L.C., Jikich S.A., Soong Y., Irđi G.A. Coal–gas interaction: implications of changes in texture and porosity // International Journal of Coal Science and Technology. – 2016. – V. 3. – № 1. – PP. 10-19.
20. Boyer, G. Vent Flow/Gas Migration Data Trends in the Western Provinces, Society of Petroleum Engineers/Canadian Society for Gas Migration GeoConference, Canada, March 2016.
21. Lu S., Cheng Y., Ma J., and Zhang Y. Application of in-seam directional drilling technology for gas drainage with benefits to gas outburst control and greenhouse gas reductions in Daning coal mine, China // Natural Hazards. -2014. - Vol. 73. -№ 3. - pp. 1419-1437.

Поступило в редакцию 06.10.2019
Received 06 October 2019