

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2019-2-122-131

Оценка эффективности способов и средств дегазации углеметановых пластов

Ширяев С. Н.

ООО «Распадская угольная компания», Новокузнецк, Россия, ✉sn_shir@mail.ru

Аннотация: Представлены результаты анализа перспективных способов и технических средств, обеспечивающих повышение эффективности дегазации углеметановых пластов при их подземной разработке. По результатам анализа выделены традиционные способы и средства дегазации, эффективность которых составляет 12–25 %, и нетрадиционные способы с эффективностью десорбции метана до 40 %. В качестве классификационного признака нетрадиционных способов и средств десорбции метана газа принято условие снижение давления и повышение температуры угольной матрицы твёрдого газового гидрата. Выявлены условия перехода метана из газогидратного состояния в свободное с учётом реальных горнотехнических и техногенных условий шахт. Учитывая сложность подачи дополнительной тепловой энергии в угольный пласт, в качестве основного способа снижения давления в пласте принята разгрузка массива горных пород относительно исходного напряжённого состояния и дезинтеграция угля и пород при переходе от упругого их деформирования к упруго-пластичному и запредельному.

Ключевые слова: угольный пласт, метан, шахта, дегазация, газогидрат, горное давление, десорбция, фильтрация, дезинтеграция пород, газоносность, угольная матрица.

Для цитирования: Ширяев С. Н. Оценка эффективности способов и средств дегазации углеметановых пластов. *Горные науки и технологии*. 2019;4(2):122-131. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-2-122-131.

Assessment of Effectiveness of Methods and Techniques for Degassing Methane-containing Coal Seams

S. N. Shirjaev

LLC "Raspadskaya Coal Company", Novokuznetsk, Russia, ✉sn_shir@mail.ru

Abstract: The findings of review of promising methods and techniques providing increasing effectiveness of degassing of coal seams containing methane in the process of their underground mining are presented. Based on the review findings, traditional methods and techniques of degassing were identified, the effectiveness of which is 12–25 %, as well as unconventional methods providing methane degassing of up to 40%. As a classification feature of the unconventional methods and techniques of gaseous methane liberation, a condition of decreasing pressure and increasing temperature of coal matrix containing solid gas hydrate has been adopted. The conditions for methane transition from gas hydrate to free gas taking into account actual mining and technogenic conditions of the mines have been identified. Given the difficulty of supplying additional thermal energy into a coal seam, as the main way to reduce pressure in the seam, unloading of the rock mass relative to the initial stress state, and disruption of coal and rocks in the course of transition from their elastic deformation to elastic-plastic and out-of-limit deformation are accepted.

Keywords: coal seam, methane, colliery, degassing, gas hydrate, rock pressure, desorption, filtration, rock disruption, gas content, coal matrix.

For citation: Shirjaev S. N. Assessment of effectiveness of methods and techniques for degassing methane-containing coal seams. *Mining Science and Technology*. 2019;4(2):122-131 (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2019-2-122-131.

Введение

Угольные месторождения в России и за рубежом являются, как правило, высокометаносными, и при их разработке выделяется в среднем $18,6 \text{ м}^3/\text{т}$ метана на тонну добытого угля [1–3], что является ограничением производительности современного высокопроизводительного оборудования. Обильное выделение метана в горные выработки при определённом сочетании горно-геологических, горнотехнических и организационных факторов приводит к возникновению инцидентов и опасных производственных газодинамических ситуаций в виде загазований выработок, взрывов метановоздушных смесей.

Для эффективного управления взаимодействующими технологическими, геомеханическими и газодинамическими процессами современной угольной шахты требуется решение комплекса научных и практических задач, включающих разработку и реализацию технологических схем шахт, адаптивных к широкому диапазону горно-геологических и горнотехнических условий угольных месторождений и режимам работы высокопроизводительных технических устройств.

Разработке и реализации высокопроизводительных технологий подготовки и отработки углеметаносных пластов посвящены работы многих учёных и практиков, однако до сих пор не решены основные актуальные задачи: не доведены до практического применения теоретические исследования по высвобождению (десорбции) метана (достигнут коэффициент дегазации 0,12–0,40); не выявлена однозначно роль метана при внезапном выбросе угля как сложном физико-химическо-механическом явлении; не установлены параметры прорывов метана из пластов спутников, 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 дегазации, отличающихся поэтап-

ной дезинтеграцией угля и снижением горного давления.

В этой связи назрела необходимость создания и реализации активных комбинированных способов и средств поэтапной дегазации неоднородного углепородного массива и выработанного пространства для обеспечения эффективной и безопасной подземной разработки высокогазоносных угольных пластов. Для этого проведена оценка эффективности традиционных технологий способов и средств дегазации углеметановых пластов с целью разработки, обоснования параметров и внедрения активных комбинированных способов и средств многостадийной дегазации неоднородного углепородного массива и выработанного пространства для эффективной и безопасной отработки углеметановых пластов.

Основная идея создания активных комбинированных способов и средств многостадийной дегазации углеметановых пластов состоит в использовании выявленных закономерностей взаимодействия технологических, газодинамических и геомеханических процессов в углепородном массиве для управления дезинтеграцией угольной матрицы, снижения в ней давления и обеспечения перехода метана из гидратного состояния в свободное с учётом реальных горнотехнических условий шахт.

Для достижения поставленной цели осуществляется решение следующих задач:

- синтез альтернативных вариантов активных комбинированных способов искусственной дезинтеграции угольных пластов для их многостадийной дегазации;
- выявление по результатам шахтных исследований закономерностей десорбции метана в широком диапазоне горно-геологических и горнотехнических условий угольных шахт;
- выявление по результатам численного моделирования и шахтных экспериментов эффективных вариантов активных комбини-

рованных способов многостадийной дегазации неоднородного углепородного массива;

– обоснование технологических параметров и реализация активных комбинированных способов и средств многостадийной дегазации высокогазоносных угольных пластов.

Методы исследования. Анализ эффективности традиционных способов и средств дегазации шахт; шахтные эксперименты; численное моделирование взаимодействующих технологических, газодинамических и геомеханических процессов; статистическая оценка и ранжирование вариантов активных комбинированных способов многостадийной дегазации; синтез вариантов технологических схем для подготовки и отработки углегазовых пластов.

Результаты исследования. По результатам анализа эффективности традиционных способов и средств дегазации угольных пластов [1, 3–5] установлено следующее:

– годовой объём извлекаемого метана в период 1990–2009 гг. в Кузбассе средствами дегазации составил 60–330, газоотсоса 120–410, вентиляции 470–600 млн м³ в год;

– доля шахт, применяющих пластовую дегазацию в период 1990–2009 гг. в Кузбассе, составила 0,18–0,33; дегазацию выработанного пространства – 0,21–0,28; газоотсос – 0,28–0,39;

– эффективность дегазации на шахтах Кузбасса составляет 3–44 % и в среднем не превышает 28 %;

– наиболее эффективными являются комбинированные способы дегазации, например, одновременное применение газоотсоса и дегазации позволяет достичь значения коэффициента дегазации 0,55, а только дегазации в аналогичных условиях – 0,28;

– применение комбинированных схем проветривания обеспечивает достижение коэффициента дегазации 0,55;

– использование пробуренных с земной поверхности скважин обеспечивает максимальное извлечение метана, коэффициент дегазации достигает 0,85, а пластовой дегазации в этих же условиях – 0,20.

Приведённые показатели извлечения метана разными способами подтверждают не только относительно низкую эффективность способов и средств дегазации углеметановых пластов, но и отсутствие методов прогноза параметров метановыделения в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях, так как проектные и фактические значения коэффициента дегазации отличаются в 2–3-раза. Для разработки новых методов прогноза параметров дегазации необходимо выявить и использовать закономерности адсорбции и десорбции метана, дезинтеграции угольной матрицы под влиянием давления и температуры выше равновесных параметров газогидратов, что обеспечивает переход метана из гидратного в свободное состояние с учётом реальных горнотехнических условий шахт.

В качестве альтернативных вариантов активных комбинированных способов многостадийной дегазации неоднородного углепородного массива рассмотрены следующие воздействия на угольный массив: электроимпульсное, периодическое плазменно-импульсное, виброволновое, расчленение флюидом, вакуумирование и др. [6, 7, 11, 12].

Теоретические основы формирования углеметановой матрицы изложены в работах [10, 13, 16]. Согласно результатам этих исследований газ в угольном пласте может быть в трёх формах: свободный газ в поровом и трещинном пространстве угля или пород; метан в адсорбированном или газогидратном состояниях. Газогидраты – это твёрдые кристаллические вещества, включающие молекулы воды и газа.

Диаграмма состояния твёрдых углегазовых растворов (ТУГР) представлена на рис. 1.

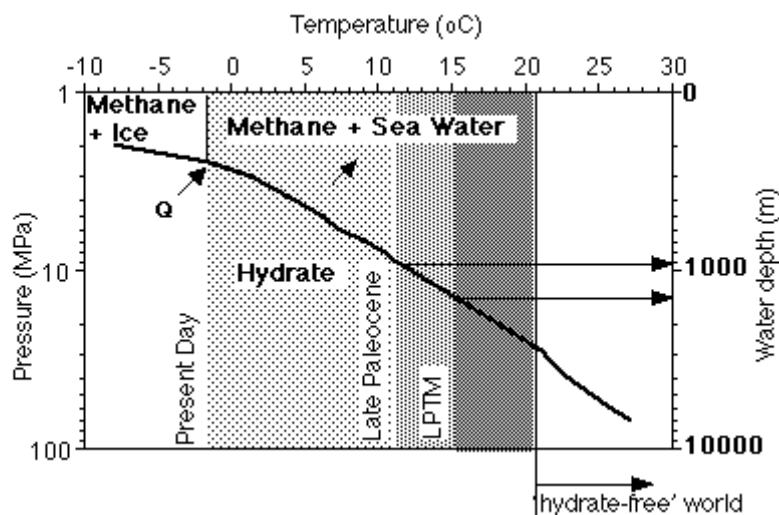


Рис. 1 Диаграмма состояния метана в угольной матрице [18]

Fig. 1. Phase equilibrium diagram of methane in coal matrix [18]

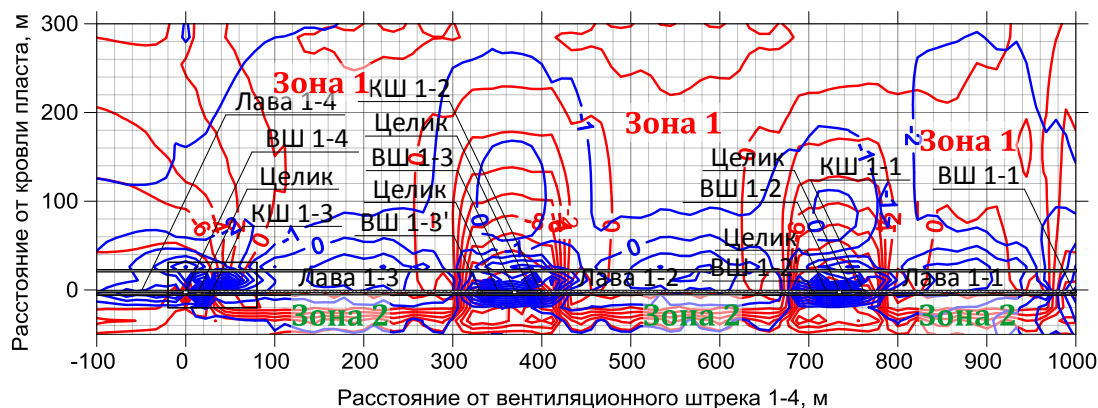


Рис. 2. Вертикальные (красные) и горизонтальные (синие) линии напряжения (МПа) в зоне влияния выработанного пространства трёх выемочных участков

Fig. 2. Vertical (red lines) and horizontal (blue lines) stresses (MPa) in the zone of influence of goaf of three extraction districts

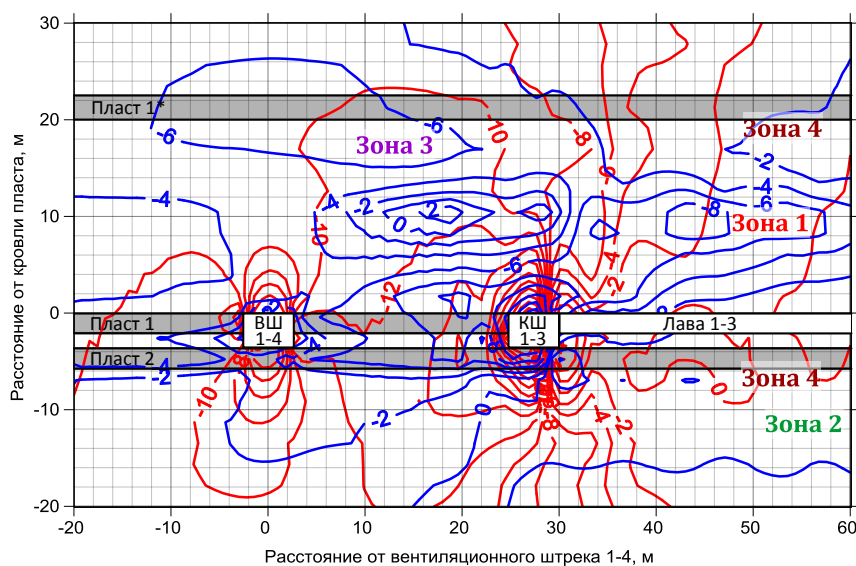


Рис. 3. Вертикальные (красные) и горизонтальные (синие) линии напряжения (МПа) в зоне влияния выработанного пространства трёх выемочных участков, фрагмент рис. 2

Fig. 3. Vertical (red lines) and horizontal (blue lines) stresses (MPa) in the zone of influence of goaf of three extraction districts, a portion of Fig. 2

Согласно диаграмме переход метана из твёрдых углегазовых растворов и адсорбированного состояния в газообразное возможен при снижении давления и повышении температуры угольной матрицы. Возможность повышения температуры углеметановых пластов ограничена в шахте требованиями пожарной безопасности и санитарно-гигиеническими условиями [19, 20]. Поэтому основным параметром, обеспечивающим интенсификацию перехода метана в газообразное состояние, является снижение механических напряжений, которое сопровождается распадом ТУГР и увеличением давления метана в природных и техногенных трещинах. Существует несколько гипотез перехода метана в газообразное состояние и миграции его по трещинам и порам, однако эффективность реализации этих механизмов на практике не всегда подтверждается [5, 9, 11, 12, 14–16].

На рис. 2 приведены результаты численного моделирования распределения вертикальных и горизонтальных напряжений после отработки трёх выемочных участков в условиях Ерунаковского месторождения Кузбасса. Мощность отрабатываемого пласта 1 равна 2,48 м, надрабатываемого пласта 1* и подрабатываемого пласта 2 при моделировании принята равной 2 м.

На рис. 3 показан фрагмент рис. 2 в виде выреза в крупном масштабе с целью детального описания характера распределения напряжений в массиве горных пород окрестности вентиляционного штрека 1–4, конвейерного штрека 1–3 и очистного выработанного пространства выемочного участка 1–3. Знаки напряжений на рис. 2 и 3 следующие: сжатие $\sigma < 0$; растяжение $\sigma > 0$.

По результатам анализа вертикальных и горизонтальных напряжений в массиве горных пород при взаимном влиянии выработанного пространства нескольких соседних выемочных участков, разделённых угольными целиками, выделены следующие зоны, в пределах которых следует ожидать снижение механических напряжений и интенсивное

разложение газогидратов с выделением свободного метана:

1) Зона разгрузки (на рис. 2 и 3 Зона 1) подработанных породных слоёв и угольных пластов. Подтверждением перехода твёрдых углегазовых растворов в газообразное состояние в этих зонах подтверждается величиной коэффициента дегазации до 0,85 при использовании пробуренных в выработанное пространство с земной поверхности или подземных выработок скважин [5].

2) Зона разгрузки (на рис. 2 и 3 Зона 2) надработанных пород в почве отрабатываемого пласта. Интенсивность перехода метана из ТУГР в сорбированное состояние подтверждается на практике периодическими прорывами метана из почвы выработок, что сопровождается разломами пород почвы и повышением концентрации метана.

3) Зона частичного снижения горизонтальных напряжений в краевых участках отрабатываемого пласта (на рис. 2 и 3 Зона 3), что подтверждается отжимом угля в забое, образованием вывалов пород кровли и увеличением выделения метана. Особенностью этой зоны является деформирование породных слоёв и угольных пластов по их природным контактам и техногенным трещинам. Под влиянием касательных и знакопеременных нормальных напряжений в этих зонах формируются блоки и кососекущие трещины, по которым происходит миграция метана.

4) Зона снижения вертикальных напряжений (на рис. 2 и 3 Зона 4), возникающая вследствие расширения подрабатываемых или надрабатываемых угольных пластов. Так как предел прочности угля в 10–15 раз меньше предела прочности при сжатии, то происходит интенсивная дезинтеграция угля и переход метана в свободное состояние согласно диаграмме на рис. 1.

5) Зона знакопеременных напряжений и деформаций, возникающая под влиянием геологических нарушений, границ геотектонических блоков [21].

б) Зона перетока метановоздушной смеси между выработанными пространствами соседних выемочных столбов. Согласно рис. 2 над угольными целиками между соседними выемочными участками возникают зоны растягивающих горизонтальных и больших сжимающих напряжений. Под влиянием знакопеременных напряжений и деформаций, происходит формирование техногенных трещин, по которым метановоздушная смесь мигрирует в выработки обрабатываемого столба.

Как следует из диаграммы рис. 1 и характера распределения напряжений в массиве горных пород на рис. 2 и 3, в угольных пластах вне зоны влияния горных выработок или геологических нарушений не следует ожидать интенсивного выделения метана, так как все механические напряжения являются сжимающими, то есть снижают пористость угля и интенсивность фильтрации метана, что подтверждается на практике при пластовой дегазации, где коэффициент дегазации в среднем составляет 0,20.

С целью повышения интенсивности пластовой дегазации с помощью системы

скважин некоторые авторы [3, 7, 11, 12] предлагают различные способы дезинтеграции угля и повышения коэффициента фильтрации. В стадии экспериментальной проверки испытываются следующие способы воздействия на массив горных пород: электроимпульсный, периодический плазменно-импульсный, виброволновой, расчленение флюидом, вакуумирование пласта и др. Однако, как показывают расчёты, приведённые в статье [14], при увеличении пористости угольного массива без снижения механических напряжений происходит заполнение пустот газом и повышение давления в угольной матрице. В этом случае необходимо создать поверхность, свободную от механических напряжений, через которую происходит сток метана в горные выработки или скважины.

Согласно графикам рис. 4 и исследованиям [6] на первом этапе после подключения скважины к дегазационной системе интенсивность дегазации высокая, а через несколько суток плавно снижается.

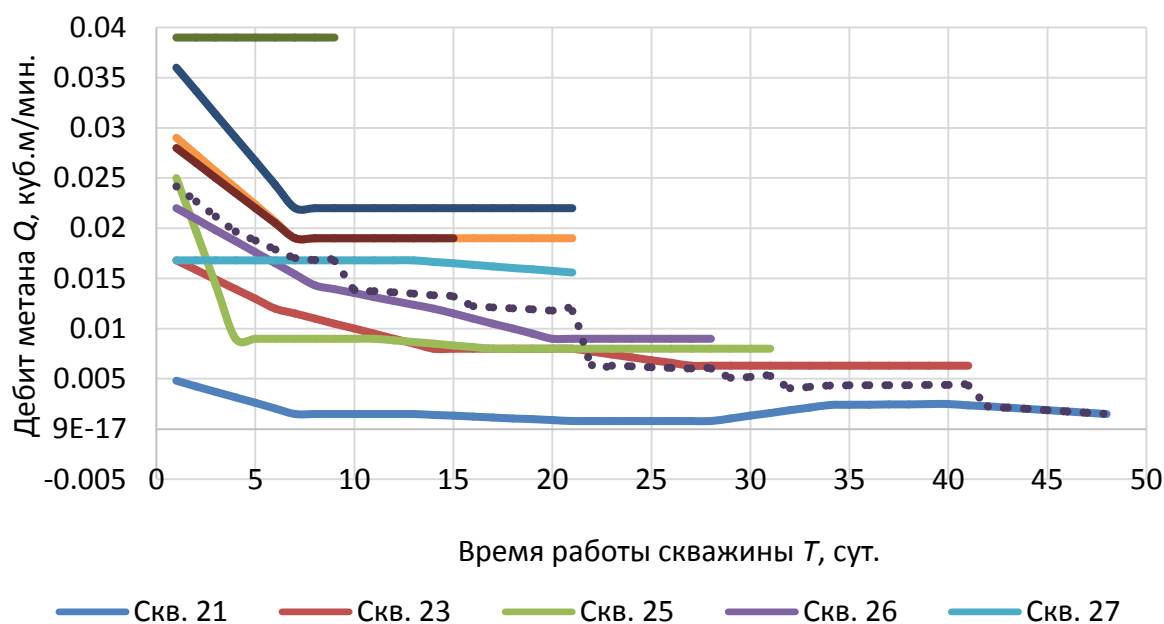


Рис. 4. Графики изменения дебита метана из дегазационных скважин при пластовой дегазации, пласт 16, шахта «Абашевская», Кузбасс

Fig. 4. Plot of methane flow rate from degassing boreholes during seam degassing as function of the borehole operation, seam 16, Abashevskaya mine, Kuzbass

Причинами снижения дебита метана из скважин замедления является разрушение угля и заполнение скважины. На шахте им. С.М. Кирова были проведены опыты по активизации дегазации в окрестности скважин посредством техногенного воздействия на скважины, однако результаты несущественно отличаются от приведённых на рис. 4.

Новые технологические решения по извлечению метана из углепородного массива предложены в статье учёных Республики Казахстан [17]. Авторы утверждают, что применение нескольких техногенных воздействий на породы через скважины, пробуренные с земной поверхности, не обеспечивает проектного дебита метана. Из 150 скважин в Карагандинском угольном бассейне только одиночные скважины давали приток газа 3–4 тыс. м³ в сутки. Отмечается высокая трудоёмкость и энергоёмкость применения гидравлического разрыва пласта при низкой эффективности способа. Причинами снижения газоотдачи пласта после его гидрорасчленения являются блокирование метана в порах и запираание трещин набухающими глинистыми частицами.

Таким образом, традиционные способы дегазации угольных пластов, регламентированные действующими документами, не обеспечивают эффективность дегазации пластов выше 0,4.

Поэтому предлагается расширить научные исследования для развития нового на-

правления с целью создания и реализации комбинированных способов поэтапной дегазации с использованием способов снижения механических напряжений в угольной матрице с предварительным увеличением её пористости.

В связи с изложенным разработана программа исследований, которая включает выполнение следующих видов работ:

1) Плазменно-импульсное воздействие на угольные пласты через скважины, пробуренные с земной поверхности [22]. В основу технологии положен эффект воздействия на горные породы мощной волны сжатия, возникающей в результате интенсивного расширения плазменного канала, образующегося между специальными электродами. В результате замыкания проводников происходит взрыв, формируется мощная ударная волна, сжимающая и растягивающая окружающую среду. Возникают микротрещины, которые заполняются метаном.

Этот способ реализуется при проведении заблаговременной дегазации в условиях участка Ерунаковский Восточный шахты «Ерунаковская-VIII» Кузбасса, пробурены четыре вертикальные скважины с поверхности. Глубина вертикальных скважин для рассматриваемых условий – до 700 м. Угольные пласты 48 и 45 средней мощности ленинской свиты (P2ln), с газоносностью около 25 м³/т с.б.м. Планируемые объёмы буровых работ показаны в табл 1.

Таблица 1

Объёмы буровых работ

Scope of drilling

Скважина	Проектная глубина, м	Назначение скважины	Технология бурения	В контуре выемочного участка
1	580	Дегазационная	Бескерновая	48–5
2	550	Дегазационная	Бескерновая	48–5
3	600	Дегазационная	Бескерновая	48–6
4	630	Дегазационная	Бескерновая	48–6

2) Плазменно-импульсное воздействие на угольные пласты через скважины, пробуренные с земной поверхности из подземных выработок. Технология разрабатывается в части возможности применения технических средств в подземных условиях.

3) Бурение для предварительной пластовой дегазации угольных пластов в контуре планируемых к отработке выемочных столбов длинных (до 1200 м) дегазационных скважин направленного бурения. Способ реализуется в условиях шахт Кузбасса.

4) Бурение дегазационных скважин по падению пласта с вводом в скважину на всю её глубину полиэтиленовой трубы для осушения скважины и дренажа газа от дна скважины (происходит увеличение скорости движения газовой смеси).

Реализация комбинированных способов поэтапной дегазации с использованием способов снижения механических напряжений в угольной матрице с предварительным увеличением её пористости позволит увеличить выход метана до 90%.

Выводы

По результатам проведённого анализа способов и направлений повышения эффективности дегазации углеметановых пластов установлено:

1) Традиционные способы и средства дегазации, регламентированные действующими нормативными документами, обеспечивают достижение коэффициента дегазации в пределах: 0,03–0,44, в среднем по Кузбассу не более 0,28; при комбинированных способах дегазации с одновременным газоотсосом и пластовой дегазацией – до 0,55; из пробуренных с земной поверхности скважин коэффициент дегазации достигает 0,85.

2) Перспективным направлением повышения эффективности дегазации углеметановых пластов является развитие теории и практики комбинированной поэтапной дезинтеграции угольной матрицы с целью создания условий перехода метана из гидратного в газообразное состояние посредством снижения механических напряжений в массиве горных пород.

3) Основными направлениями повышения эффективности дегазации угольных пластов в ближайшие годы являются: плазменно-импульсное воздействие на угольные пласты через скважины, пробуренные с земной поверхности из горных выработок; дегазация угольных пластов через длинные скважины (до 1200 м) с использованием в них полиэтиленовых труб для осушения скважин и дренажа газа от дна скважины.

Библиографический список

1. Рубан А. Д. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов / А. Д. Рубан, В. Б. Артемьев, В. С. Забурдяев [и др.]. М.: Горная книга, 2010. 500 с.
2. Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений [Текст] / В. И. Клишин [и др.]; под ред. Ю. Н. Малышева. Новосибирск: Издательский дом «Новосибирский писатель», 2011. 524 с.
3. Дегазация газа метана из угольных пластов и вмещающих пород на шахтах Кузбасса. История. Действительность. Будущее // А. В. Ремезов [и др.] Кемерово, 2012. 848 с.
4. Пучков Л. А. Извлечение метана из угольных пластов / Л. А. Пучков, С. В. Сластунов, К. С. Коликов. М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2002. 383 с.
5. Родин Р. И. Эффективность дегазации шахт Кузбасса / Р. И. Родин // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2011. № 2. С. 116-119.
6. Плаксин М. С. Газокинетическая реакция углеметанового пласта при создании в нём трещин посредством нагнетания флюидов [Текст] / М. С. Плаксин, Р. И. Родин, В. И. Альков // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. ст. Новокузнецк: СибГИУ, 2017. С. 63-67.
7. Пашенко А. Ф. Плазменно-импульсная технология повышения нефтеотдачи: оценка параметров механического воздействия [Текст] / А. Ф. Пашенко, П. Г. Авдеев // Наука и техника в газовой промышленности, 2015. № 3(63). С. 17-26.

8. Манаков А.Ю. Клатратные гидраты при высоких давлениях: структура, состав, свойства [Текст]: автореф. дис. ... докт. хим. наук / А. Ю. Манаков; Институт неорг. химии СО РАН. Новосибирск: 2007. 33 с.
9. Shuqiang G. Investigation of Interactions between Gas Hydrates and Several Flow Assurance Elements [Текст] / G. Shuqiang // *Energy and Fuels*, 22 (5), 3150-3153, 2008.
10. Макогон Ю. Ф. Газовые гидраты, предупреждение их образования и использование [Текст] / Ю. Ф. Макогон. М.: Недра, 1985. 232 с.
11. Плаксин М. С. Особенности развития динамических газопроявлений при проведении подготовительной выработки [Текст] / М. С. Плаксин, А. А. Рябцев // *Наукоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. ст. Новокузнецк: СибГИУ, 2017. С. 67-73.*
12. Метан и выбросоопасность угольных пластов [Текст] / С. А. Шепелева, В. В. Дырдин, Т. Д. Ким, В. Г. Смирнов, Т. Н. Гвоздкова. Томск: Изд-во Томского ун-та, 2015. 180 с.
13. Эттингер И. Л. Растворы метана в угольных пластах [Текст] / И. Л. Эттингер // *Химия твердого тела*. 1984. № 4. С. 28-35.
14. Журавков М. А. Газодинамическая реакция горных пород на проведение подготовительных выработок / М. А. Журавков, Г. Я. Полевщиков // *Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. 2011. № 2. С.39-52.
15. Каркашадзе Г. Г. Интенсификация дегазации угольного пласта на основе учёта 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.
16. Беспятов Г.А. Синергетика выбросоопасной горной среды [Текст] / Г.А. Беспятов, В.Н. Вылегжанин, С.С. Золотых. Новосибирск: Наука, 1996. 191 с.
17. Вареха Ж. П. Технологические решения по извлечению метана из углепородного массива / Ж. П. Вареха, С. Н. Лис // *Горный журнал Казахстана*. 2016. №2. С. 6-9.
18. Dickens G. R., O'Neil J. R., Rea D. K., and Owen R. M. Dissociation of oceanic methane hydrate as a cause of the carbon isotope excursion at the end of the Paleocene. *Paleoceanography*, 1995, No. 10, Pp. 965-971.
19. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по предупреждению эндогенных пожаров и безопасному ведению горных работ на пластах угля, склонного к самовозгоранию». М.: ЗАО «Научно-технический центр исследования проблем промышленной безопасности», 2016. Сер. 05. Вып. 46. 52 с.
20. Методика прогнозирования с использованием геофизических методов исследований и выбора мер по снижению эндогенной пожароопасности наклонных вскрывающих выработок, проводимых по угольному пласту / Кол. авторов / Кемерово: НЦ ВостНИИ, 2007. 34 с.
21. Петухов И. М. Геодинамика недр [Текст] / И. М. Петухов, И. М. Батугина. М.: Недра коммюни- кейшн ЛТД, 1999. 256 с.
22. Агеев П. Г. 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, Н. П. Агеев, Д. П. Агеев, А. С. Десяткин, А. Ф. Пашенко // *Бурение и нефть*. 2016. № 7-8. С. 34-40.

References

1. Ruban A. D. Preparation and excavation of coal seams with high gas content. / Ruban A.D., Artemyev V. B., Ziburdaev V. S. [et al.]. Moscow, Gornaya Kniga [Mining Book] Publ., 2010, 500 p. (in Russ.).
2. Klishin V. I. [et al.]. Safety problems and new technologies for underground coal mining [Text]. Ed. Malyshchev, Yu.N. Novosibirsk, "Novosibirsk Writer" Publishing House, 2011, 524 p. (in Russ.).
3. Remezov A. V. et al. Methane liberation from coal seams and host rocks at Kuzbass mines. History. Present day. Future. Kemerovo, 2012, 848 p. (in Russ.).
4. Puchkov L. A. Extraction of methane from coal seams./ Puchkov, L.A., Slastunov, S.V., Kolikov K.S. Moscow, Publishing House of Moscow State Mining University, 2002, 383 p. (in Russ.).
5. Rodin R. I. Effectiveness of Kuzbass mines degassing. Bulletin of Scientific Center for Work Safety in Coal Industry, 2011, no. 2, pp. 116-119 (in Russ.).
6. Plaksin M. S. Gas-kinetic response of methane containing coal seam when producing fractures in it by fluid injection [Text]. / Plaksin M. S., Rodin R. I., Alkov V. I. High-end technologies for development and use of mineral resources. Collector of scientific articles, Novokuznetsk, SibGIU Publ., 2017, pp. 63 - 67 (in Russ.).
7. Pashchenko A. F. Plasma Pulse Technology for enhancing oil recovery: estimation of mechanical effect parameters [Text]. / Pashchenko A. F., Avdeev P. G. Science and technology in gas industry, no. 3 (63), 2015, pp. 17-26 (in Russ.).

8. Manakov A. Yu. Clathrate hydrates at high pressures: structure, composition, properties [Text]: Extended Abstract of Doctoral (Chemistry) Dissertation, Institute of Inorg. Chemistry of SB RAS, Novosibirsk, 2007, 33 p. (in Russ.).
9. Shuqiang G. Investigation of Interactions between Gas Hydrates and Several Flow Assurance Elements [Текст] / G. Shuqiang // Energy and Fuels, 22 (5), 3150-3153, 2008.
10. Makogon Yu. F. Gas hydrates: prevention of their formation and their use [Text]. Moscow, Nedra Publ., 1985, 232 p. (in Russ.).
11. Plaksin M. S. Features of dynamic gas shows during development working driving [Text]. / Plaksin M. S., Ryabtsev A. A. High-end technologies for development and use of mineral resources. Collector of scientific articles. Novokuznetsk. SibGIU Publ., 2017, pp. 67-73 (in Russ.).
12. Shepeleva S. A., Dyrdin V. V., Kim T. D., Smirnov V. G., Gvozdkova T. N. Methane and outburst hazard of coal seams [Text]. Tomsk, Publishing House of Tomsk University, 2015, 180 p. (in Russ.).
13. Ettinger I. L. Methane Solutions in Coal Seams [Text]. Solid State Chemistry, 1984, no. 4, pp. 28-35 (in Russ.).
14. Zhuravkov M. A., Polevshchikov G.Ya. Gas-dynamic response of rocks to construction of development workings. Bulletin of Scientific Center for Work Safety in Coal Industry, 2011, no. 2, pp. 39-52 (in Russ.).
15. Karkashadze G. G. Intensification of coal seam degassing based on its geotechnical conditions under nonsteady mechanical and sorption strains. /Karkashadze, G.G., Slastunov, S.V., Ermak, G.P., Mazanic, E.V. Coal, 2015, no. 11, pp. 62-65 (in Russ.).
16. Bespyatov G. A. Synergetics of outburst-prone mining environment [Text]. / Bespyatov G. A., Vylegzhanin V. N., Zoloyikh S. S. Novosibirsk, Nauka Publ., 1996, 191 p. (in Russ.).
17. Varekha Zh. P. Technological solutions for extraction of methane from coal-rock mass./ Varekha, Zh.P., Lis, S.N. Mining Journal of Kazakhstan, 2016, no. 2, pp. 6-9 (in Russ.).
18. Dickens G. R., O'Neil J. R., Rea D. K., and Owen R. M. Dissociation of oceanic methane hydrate as a cause of the carbon isotope excursion at the end of the Paleocene. Paleoceanography, 1995, No. 10, Pp. 965-971.
19. Federal rules and regulations for industrial safety "Instructions for prevention of endogenous fires and safe mining of coal seams prone to spontaneous combustion" Series 05. Number 46. Moscow, CJSC Scientific and Technical Center for Study of Industrial Safety Problems, 2016, 52 p. (in Russ.).
20. Composite authors. Forecasting technique using geophysical exploration methods and selection of measures to decrease endogenous fire hazard in inclined openings within coal seam. Kemerovo, SC VostNII Publ., 2007, 34 p. (in Russ.).
21. Petukhov I. M. Subsoil geodynamics [Text] / Petukhov, I.M., Batugina, I.M., Moscow, Nedra Communication LTD Publ., 1999, 256 p. (in Russ.).
22. Ageev P. G. Plasma Pulse Technology – innovative approach to the production of traditional hydrocarbons and unconventional approach to production of traditional and unconventional hydrocarbons and early degassing of coal seams./ Ageev P. G., Ageev N. P., Ageev D. P., Desyatkin A. S., Pashchenko A. F. Drilling and Oil, 2016, no. 7-8, pp. 34-40 (in Russ.).

Информация об авторе

Ширяев Сергей Николаевич – первый заместитель технического директора ООО «Распадская угольная компания», Новокузнецк, Россия, sn_shir@mail.ru.

Information about the author

Sergey N.Shirjaev – Deputy Technical Director, LLC "Raspadskaya Coal Company", Novokuznetsk, Russia, sn_shir@mail.ru.