

Кравченко О., кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Велигоцкий Д., ведущий инженер
(Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины)
Радченко В., кандидат технических наук
(Институт УкрНИИПроект)
Юшков Е.
(ПрАО «Донецксталь» – металлургический завод»)

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ДОБЫЧИ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЯЕМОГО КОМПЛЕКСНОГО ВОДОРОДНОГО И ТЕРМОБАРОХИМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИЗАБОЙНУЮ ЗОНУ ПЛАСТА

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ВИДОБУТКУ МЕТАНУ ВУГІЛЬНИХ РОДОВИЩ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ КЕРОВАНОГО КОМПЛЕКСНОГО ВОДНЕВОГО ТА ТЕРМОБАРОХІМІЧНОГО ВПЛИВУ НА ПРИВІБІЙНУ ЗОНУ ПЛАСТА

Наведено результати експериментальних досліджень з адаптації технології комплексного водневого і термобарохімічного впливу на привибійну зону пласта з метою інтенсифікації видобутку метану. Генерування водню за даною технологією здійснюється шляхом гідролізу гідрореагуючих речовин на основі алюмінію. Запропоновано технологічні рішення керування процесами генерування водню в залежності від температури в зоні реакції. Результати досліджень підтвердили принципову можливість застосування комплексного водневого і термобарохімічного впливу в свердловинах з горизонтальним закінченням.

STIMULATING METHANE PRODUCTION OF COAL FIELD WITH THE HELP OF CONTROLLED COMPLEX HYDROGEN AND THERMO-BARO-CHEMICAL BOTTOM-HOLE ZONE TREATMENT

The experimental researches results of adaptation of complex hydrogen and thermo-baro-chemical bottom-hole zone treatment to the conditions of coal bed are shown. Hydrogen production is realized by hydrolysis of hydro reactive substances on an aluminum basis in this technology. The methods of controlled hydrogen production depending on temperature in reaction zone are proposed. Research results proved the application of complex hydrogen and thermo-baro-chemical bottom-hole zone treatment in the wells with horizontal borehole.

Ключові слова: гідроліз, гідрореагуючі речовини, термобарохімічний вплив, проникність.

Ключевые слова: гидролиз, гидрореагирующие вещества, термобарохимическое воздействие, проницаемость.

Keywords: hydrolysis, hydro reactive substances, thermo-baro-chemical treatment, permeability.

Введение

Запасы метана в угольных пластах в пересчете на условное топливо занимают среди горючих ископаемых Украины второе место после угля и значительно превышают разведанные запасы природного газа. При этом насыщенность угольных пластов метаном в процессе добычи угля часто является не только источником экологического загрязнения, но и причиной целого ряда катастроф и аварий. Именно поэтому особую актуальность приобретают исследования, направленные на создание технологий, решающих эти две проблемы одновременно: предварительной дегазации угольных шахт и добычи метана как энергоносителя из скважин, пробуренных с поверхности.

На сегодняшний день совершенно очевидным является то, что извлечение метана технологическими методами, которые применяются при добыче

природного газа, практически невозможно. Это связано с тем, что газы в месторождениях природного газа находятся в свободном состоянии под большим пластовым давлением в трещинах, порах и пустотах пород, а основная часть метана, содержащаяся в угольных пластах, пребывает в сорбированном состоянии. Лишь часть газа угольных пластов (20–25% на глубинах до 1000–1500 м) находится в свободном состоянии.

Из этого следует, что для эффективной добычи метана из угленосных массивов требуется применение новых, специально разработанных технологий. А чтобы использовать традиционные в нефтегазодобыче технологии, необходимо их серьезно усовершенствовать с учетом основных особенностей содержания метана в пластах угольных месторождений.

Особенности содержания метана в угольных пластах и пути адаптации термобарохимической технологии интенсификации его добычи

Проницаемость угольных пластов, как правило, на три-шесть порядков ниже проницаемости газовых коллекторов. Низкая скорость метановыделения из угля в скважину определяется наличием у него сорбционных свойств. Благодаря сорбции в одной тонне отбитого угля может содержаться до 8–10 м³ метана, в то время как при этих же условиях в порах и трещинах в несвязанном состоянии в угле находится не более 0,2 м³.

В связи с низкой газопроницаемостью, наличием сорбционных свойств и высокой степенью изменчивости природной системы «пласт – метан – влага» как по площади пласта, так и по стратиграфической глубине его залегания, интенсификация извлечения метана из угленосных толщ целесообразна на основе направленного изменения газогидродинамических свойств и газового состояния массива. С этой точки зрения перспективны физико-химические способы дегазации, которые включают проведение гидроразрыва пласта или нагнетание в пласт различного рода рабочих жидкостей с заданными свойствами, взаимодействие которых с угольным веществом, минеральными включениями и газом приводит к направленному изменению свойств и состояния массива и последующему извлечению метана из недр. Свойства рабочей жидкости выбираются таким образом, чтобы увеличить проницаемость пласта, изменить газоемкость угля и обеспечить интенсивное метановыделение.

Дальнейшее увеличение эффективности дегазации может быть достигнуто на основе более широкого использования известных в комбинации с новыми разрабатываемыми способами направленного изменения газодинамических свойств и газового состояния угольных пластов.

Термобарохимическая технология интенсификации добычи нефти, газа и газового конденсата, разработанная в ИПМаш НАН Украины [4], хорошо зарекомендовала себя на газовых, газоконденсатных и нефтяных скважинах. Необходимое количество водных растворов горюче-окислительных смесей (ГОС) и гидрореагирующих составов (ГРС), выделяющих при реакции с водой водород, нагнетается в призабойную зону пласта (ПЗП). Начало реакции контролируется добавками, которые дают возможность изменять температуру начала реакции, а скорость протекания реакции и максимальная температура зависят от концентрации химических составляющих. Созданные химические источники энергии нового поколения, с точки зрения механизма воздействия на пласт, совмещают в себе все действующие факторы, сопутствующие гидроразрыву и горячей кислотной обработке. Под воздействием внутрислоевого температуры горючие компоненты окисляются, а затем сгорают в несколько стадий. При этом выделяются химически активные газы и тепло, воздействующие

на пласт. Изменению подвергается и порода (увеличивается ее проницаемость, происходит трещинообразование), что способствует более активному оттоку флюида. Проведенные пилотные промысловые испытания показали эффективность применения технологии на метановых скважинах [5].

Адаптацию данной технологии для применения на метановых скважинах проводили с учетом особенностей угольных месторождений [1]. Постановка и проведение экспериментальных исследований выполнялись совместно специалистами ПрАО «Донецксталь – металлургический завод» и ИПМаш НАН Украины.

Учитывалось, что:

- метаноносные угольные пласты в большинстве случаев являются более обводненными по сравнению с эксплуатируемыми месторождениями нефти и газа;

- угольные пласты практически не содержат высокомолекулярных углеводородов, содержащихся в нефти и газоконденсате, сопутствующем природному газу;

- порода продуктивного пласта содержит уголь, т.е. свободный углерод, который при обработке ПЗП может вносить свой вклад в процесс газообразования и повышения внутрислоевого давления;

- как правило, порода обрабатываемого угольного пласта более плотная и менее проницаемая, чем порода нефтеносных и газовых месторождений.

Следует учитывать также широкое применение технологий горизонтального бурения, которое для коллекторов с низкой проницаемостью, в том числе и угольных месторождений, видится более предпочтительным.

Были предложены технологические приемы, обеспечивающие многостадийное термобарохимическое воздействие на пласт, которое достигается применением системы ГОС-ГРС, при этом пластовая вода принимает участие в реакциях гидролиза гидрореагирующих веществ на основе бора с выделением свободного водорода, горение которого в порах пласта обеспечивает парокислородную конверсию углерода. Поджиг водорода предложено осуществлять путем введения в рабочие растворы специально разработанного термита на основе лития и пероксида натрия.

Одним из серьезных ограничений использования ГРС на основе бора является то, что для генерирования водорода необходимо создание особых термохимических условий. Так, изопропилметакрбобран вступает в реакцию с водой только при температурах 260–300 °С. Данное обстоятельство существенно снижает возможности водородного воздействия на пласт, так как водород является активатором процессов диффузии в нефтегазонасыщенных породах и увеличивает их проницаемость даже при пластовых температурах (60–80 °С) [2].

Чтобы максимально использовать потенциалы водородного, теплового и химического воздействий, необходимо организовать процесс с управляемым многостадийным выделением водорода. Далее представлены результаты проведенных исследований в данном направлении.

В первую очередь рассмотрена возможность замены борсодержащих ГРС на алюмосодержащие, в частности, алюмогидрид натрия (АГН) или композитное соединение алюминия и 50-процентного гидрида натрия (АГНК-50). Данные вещества вступают в реакцию с водой с выделением водорода в широком диапазоне температур и давлений и могут с успехом заменить сверхдорогие карбораны [3]. Однако проблема применения этих ГРС состоит в том, что они химически сверхактивны и вступают в реакцию даже с влагой окружающего воздуха.

Поэтому была поставлена задача: найти решение по пассивации поверхностей данных типов ГРС с возможностью разрушения защитного слоя при определенных температурах. Последнее условие позволяет управлять процессом выделения водорода в зависимости от температурного режима. К материалам, пассивирующим реакционную поверхность ГРС, были установлены требования не только замедления реакции, но и ее полного отсутствия до заданных температур.

Температура начала терморазрушения пассивирующих материалов и выделения водорода была определена в 120–130 °С. Это обусловлено тем, что до достижения данного температурного уровня (пластовые температуры обычно ниже) не начнется саморазрушение защитного слоя и несанкционированное выделение водорода. Реакции ГРС при этой температуре приводят к существенному обезвреживанию рабочих смесей в реакционной зоне, при этом повышается реакционная способность ГРС, а выделяющийся водород увеличивает проницаемость пласта и способствует диффузии в него более тяжелых газов и паров.

Были экспериментально испытаны различные методы пассивации поверхности ГРС, в частности, нанесение на поверхность ГРС в нейтральной среде слоя из стеарина, канифоли, различных тяжелых углеводов. Однако положительные результаты не получены по причине хрупкости, отсутствия герметичности, а также непродолжительности достигнутого эффекта.

Положительные результаты были получены только в случае помещения порошкообразного ГРС в специальные мини-контейнеры из различных полимерных материалов. Порошок АГН в среде аргона упаковывали по 1–3 грамма в мини-контейнеры из вакуум-устойчивых полимерных материалов с последующим вакуумированием. Температура термического разрушения такого материала – 120–130 °С. Эксперименты подтвердили герметичность данного типа упаковки ГРС при длительном хранении и ее устойчивость к механическим нагрузкам.

Для упаковки порошка алюмогидрида натрия композита АГНК-50 применяли вакуум-устойчивые многослойные материалы (полиэтилен-полипропилен-полиэстер), разрушение этих оболочек и начало реакции ГРС происходили при температурах 170–180 °С, что подтверждает принципиальную возможность применения таких методов пассивации поверхностей ГРС.

Экспериментальные исследования термохимических процессов с гидролизом ГРС на основе бора и алюминия

Для проведения экспериментальных исследований кинетики и температурных режимов термохимических процессов создана экспериментальная установка (рис. 1.), моделирующая термобарохимические процессы в призабойной зоне скважины.



Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования кинетики термохимических процессов

На рис. 2 представлена схема данной установки. Она представляет собой собственно реактор, а также систему измерения расхода газов и температур. В цилиндрический реактор 1, моделирующий эксплуатационную колонну, через воронку 2 и коаксиально вмонтированную трубу меньшего диаметра 3, моделирующую опущенную в рабочую зону НКТ, последовательно заливаются первый и второй рабочие растворы ГОС-ГРС. Шаровый кран 11 перекрывается и начинается регистрация тепловых и кинетических показателей термобарохимического процесса. Термопары 6, расположенные по высоте реактора, измеряют температуру жидкости, самой колонны, паров и газов, образующихся в результате реакции. Давление в системе контролируется манометром 4. Газовый расходомер 5 измеряет количество выделенного в результате реакции газа, а газовый расходомер барабанного типа 10 измеряет расход газа, выходящего уже после конденсации паров, в водяном затворе устройства 9. Реактор 1 изолирован от внешней среды базальтоволокном и оснащен системой задания начальной температуры в камере при помощи электрического нагрева обмоткой из термокабеля.

Максимальное расчетное давление в установке 1,5 МПа. При превышении данного показателя избыточное количество газов и паров стравливается

в конденсационную камеру 9 при помощи крана 12. Все показания температур с термопар 6 обрабатываются в устройстве (ТМ) 7 и передаются на компьютер 8, где они фиксируются и строится график их зависимости от времени.

Для экспериментов были синтезированы рабочие смеси двух типов. Первый тип (базовый) – это рабочие смеси, рекомендуемые для применения в вертикальных скважинах с активаторами и микродобавками на основе бора. Второй – с микродобавками ГРС на основе алюмогидрида натрия и с пассивированной поверхностью по описанной выше методике. Графики характерных экспериментальных зависимостей температур во времени с применением химических систем двух типов представлены на рис. 3 и 4.

На графиках по вертикали представлены температуры в реакторе, по горизонтали – реальное время в часах с минутами.

На рис. 3 показано изменение температур в реакторе во времени при использовании рабочих смесей с ГРС на основе бора. Как видно из графика, основной набор температуры, а соответственно и основное газовыделение, происходит в течение первых трех минут от начала процесса химической реакции. Рост температур происходит за короткое время, практически отсутствует период ожидания. Данный

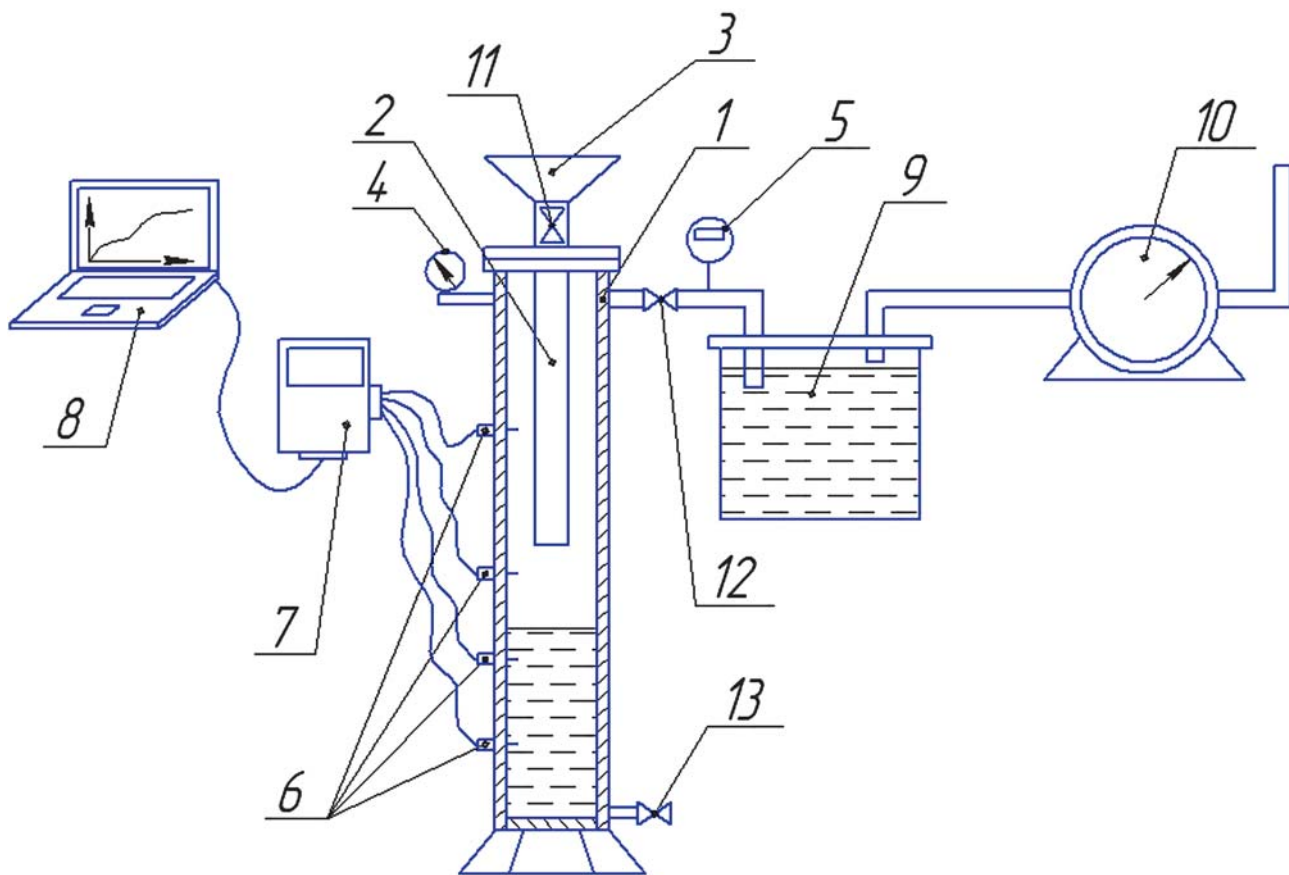


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для исследования кинетики термохимических процессов

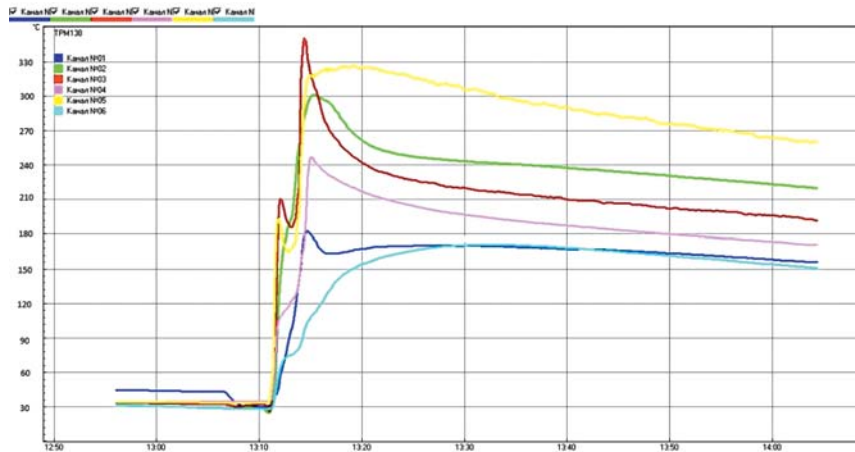


Рис. 3. Изменение температур в реакторе во времени при использовании рабочих смесей на основе бора

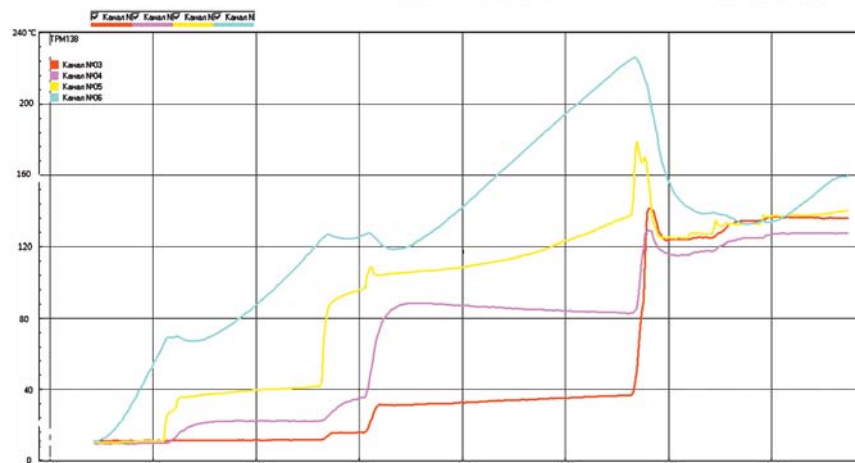


Рис. 4. Изменение температур в реакторе во времени при использовании рабочих смесей с алюмогидридом натрия

режим срабатывания химических систем характеризуется резким повышением давлений и температур, термодинамический потенциал системы реализуется в течение первых 2–3 минут с последующим снижением температур и давления. Процесс в данном случае будет проходить в локальной области их перемешивания, и только в этой области будет характеризоваться высокими показателями температуры и газовыделения. Очевидно, что данный режим не подходит для метановых скважин с горизонтальным окончанием, которым необходим режим с временной задержкой начала реакций, чтобы обеспечить закачку рабочих жидкостей и предварительный прогрев призабойной зоны с последующим нарастанием температуры.

На рис. 4 представлено термометрирование химического процесса при реакции горюче-окислительных смесей и гидрореагирующих составов на основе алюминия. В данном случае ГРС капсулирован в полиэтиленовые мини-контейнеры с темпера-

турой плавления 120–130 °С. Как видно из графика, процесс плавного нарастания температуры происходит ступенчато в течение 55 минут. На отметке 12 ч. 56 мин. наблюдается резкое возрастание температур жидкой фазы во всех точках.

Такой ход процесса объясняется разрушением пассивирующих мини-контейнеров с ГРС при достижении температуры жидкости 125–130 °С, началом гидролиза ГРВ и выделением водорода. Реакция с выделением водорода в данном случае экзотермическая и сопровождается последующим горением последнего в кислороде, выделившемся из нитрата аммония.

Времени до резкого возрастания температуры достаточно, чтобы выполнить в скважине все технологические операции, связанные с перемешиванием реагирующих смесей, удалением из реакционной зоны НКТ или колтюбинга, герметизацией устья и т.п.

Таким образом, данной серией экспериментов подтверждена возможность организации комплексного

водородного и термобарохимического процесса с применением ГРС на основе алюминия на метановых скважинах, в том числе с горизонтальным окончанием. При этом термохимический потенциал реализуется не в начале закачки ГРС-ГРС, а с задержкой во времени.

Выводы

Представлены результаты экспериментальных исследований по адаптации технологии водородного и термобарохимического воздействия на призабойную зону угольного пласта с целью интенсификации добычи метана. Генерирование водорода согласно данной технологии осуществляется путем гидролиза гидро реагирующих веществ. Показаны пути замены бор-содержащих гидро реагирующих составов на ГРС на основе алюминия, помещенных в полимерные мини-контейнеры с заданной температурой термического разрушения. Экспериментально подтверждены технологические решения управления процессами генерирования водорода в зависимости от температуры в зоне реакции. Результаты исследований подтверждают принципиальную возможность применения комплексного водородного и термобарохимического воздействия в скважинах с горизонтальным окончанием.

1. *Адаптация термобарохимической технологии интенсификации добычи нефти и газа для дегазации угольных месторождений / Щербина К. Г., Кравченко О. В., Строгий Е. Н. и др. // Инновационный дайджест. Донецк: ПрАО «ДМЗ», 2012. – С. 28–31.*

2. *Кравченко О. В. Водородная активация в процессах повышения проницаемости нефтегазоносных пород // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 1/6(61). – С. 21–25.*

3. *Кравченко О. В., Велигоцкий Д. А., Пода В. Б. Физическое моделирование тепломассообмена при термохимической водородной обработке призабойной зоны пласта нефтяной или газовой скважины // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – № 1. – С. 27–35.*

4. *Патент на корисну модель № 31028. Україна. МПК⁶Е21В 43/00, Е21В 43/16, Е21В43/25. Спосіб збільшення довжини перфораційних каналів продуктивного пласта / К. Г. Щербина, О. В. Кравченко, В. В. Касьянов, Б. І. Лелик, Е. М. Строгий (Україна). – № 200711948; заяв. 29.10.2007; опубл. 25.03.2008. – Бюл. № 6. – 4 с.*

5. *Пілотний проект: особливості випробування комплексу методів вивчення та видобутку метану вугільних родовищ Донбасу / Автономов К. В., Лелик Б. І., Храпкін С. Г. та ін. // Видобуток та використання газу метану: залучення інвестицій. – Геолог України. – 2009. – № 3. – С. 74–82.*