

Щербина К.Г., Кравченко О.В., Кузьмин Д.В., Пода В.Б.

ОБРАБОТКА НЕФТЕНОСНЫХ ПОРОД «ГОРЯЧИМ» ВОДОРОДОМ

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины

Серьезной проблемой в обеспечении долгосрочного функционирования нефтяных, газовых и газоконденсатных скважин является снижение с течением времени проницаемости продуктивных пород. Фильтрационные свойства продуктивных пластов и, прежде всего, призабойной зоны эксплуатационных скважин в значительной степени определяют и величину отбора флюида, т.е. их производительность. Зависимость проницаемости от многих факторов хорошо изучена и описана в работах [1,2].

К настоящему времени существует много методов восстановления и повышения производительности как отдельных скважин, так и всего месторождения [2-5]. Их эффективность достаточно высока. Например, только добыча нефти за счёт внедрения новых физико-химических методов интенсификации добычи по предприятиям ООО «Лукойл – Западная Сибирь» возросла с 9 % в 1995 г до 25 % в 1998 г [6].

Многолетний опыт работы ИПМаш НАН Украины в области водородной энергетики позволил внести свой вклад в проблему увеличения притоков флюида путём воздействия на призабойную зону скважин новыми для нефтегазодобывающей промышленности конверсионными материалами [7].

Интенсификация притоков углеводородов осуществлялась за счёт очистки порового пространства от неорганических и органических включений химически активными газами, которые выделялись горюче-окислительными смесями (ГОС) нового поколения и при горении в воде гидрореагирующих составов (ГРС). Для получения ГОС использовались водные суспензии баллистических порохов и нитрит – нитратных комплексных соединений карбамида с добавками полимерных нитрилсодержащих компонентов и стабилизаторов горения. ГРС получали из борорганических соединений, порошковых материалов бора и алюминия в композиции со щелочными металлами, их гидридами или термитными смесями [8-9].

Химические источники горячего газа в технологии, названной импульсным физико-химическим воздействием (ИФХВ), отличаются от традиционных составов, применяемых в термохимических обработках:

- в экзотермических превращениях участвует несколько окислителей, основной из них – вода;
- рабочим телом процесса является смесь горячих газов, из которых главная роль принадлежит атомарному и молекулярному водороду;
- в предпламенных процессах окисления нитрильных составляющих ГОС образуются активные радикалы атомарного кислорода;
- газы в реакциях газообразования выделяются один за другим – импульсно, а дискретно-импульсная подача энергии во много раз превышает действие любого взрывчатого вещества.

Наличие атомарного водорода и атомарного кислорода зафиксировано методом резонансно-флуоресцентной спектроскопии (РФС), определена концентрация этих активных радикалов [10]. Известно [11], что молекулы при перестройке первичной структуры и в момент образования переходят в электронно-возбуждённое, активное состояние, их энергия активации снижается примерно на 70 %. Поэтому не только водород, но и смесь газов, образующаяся из системы ГОС, химически активна.

Согласно классическим работам, обзор которых дан в [12], крекингу, пиролизу и любой структурной перестройке в первую очередь подвергаются высокомолекулярные углеводороды с длинной и разветвлённой цепью углеродных атомов, т. е. асфальтены, гудроны, смолы и пр. Тепловая волна газов ГОС легко расщепляет эти нестойкие изомерные молекулы, процесс сопровождается дополнительным газообразованием. При этом очищается поровое пространство пласта, расширяются и появляются новые трещины, в итоге фильтрационные свойства породы значительно улучшаются.

На стендах и в условиях месторождений доказано, что новые химические источники энергии системы ГРС - ГОС способны обеспечить внутрипластовую переработку не только асфальто-смолопарафиновых отложений (АСПО), но и конденсата, повышая проницаемость коллекторов и производительность продуктивных скважин [13-14].

Для реализации процесса ИФХВ на забой скважины доставляют суспензионный раствор системы ГОС-ГРС плотностью 1,2-1,3 г/см³. Доставку осуществляют путём закачки через насосно-компрессорные трубы (НКТ) или затрубное пространство. Затем НКТ поднимают на 20-30 м выше кровли продуктивного пласта и в буферной жидкости закачивают второй раствор системы ГОС-ГРС плотностью 1,4-1,6 г/см³. При соприкосновении двух химических систем возникает первая тепловая волна экзотермических реакций, инициирующая предпламенное окисление ГРС. Начинается выделение активных радикалов атомарного водорода, которые становятся источником цепных процессов горения и перехода всех компонентов в газовую фазу. Многостадийное горение различных составляющих создает импульсы изменения давления и волновые тепловые потоки. Скорость и полнота реализации термодинамического потенциала энергоёмких топливных систем регулируется составом и соотношением исходных компонентов, которые варьируются от положительного до отрицательного баланса по кислороду. Температура и давление может регулироваться в пределах от 473 до 2000 К и от 8 до 900 МПа, продолжительность обработки – от секунд до часов. Соответственно изменяется функциональное назначение обработки: от крекинга – пиролиза высокомолекулярных углеводородных соединений (с образованием газовых и бензиновых фракций) или выжигания АСПО до создания условий быстрого подъёма внутрипластового давления, в итоге – эффективного трещинообразования и разрыва пласта. В зависимости от состояния скважины и ее физико-технических параметров выбирается технологический режим обработки призабойной зоны пласта (ПЗП) и готовятся химические составы для реализации выбранного режима.

Технология ИФХВ прошла успешные испытания на ряде газовых и нефтяных месторождений Украины и России, позволила возобновить функционирование одних скважин и увеличить производительность других от 3 до 30 раз.

Особая роль в ИФХВ принадлежит водороду. Проникающая способность водорода в плотные среды общеизвестна, а для образующегося атомарного водорода в зоне вторичного вскрытия пласта преград практически нет. Водород всегда первым фильтруется в пласт, даже находясь в смеси различных газов. В то же время доказано, что эффективный коэффициент диффузии других газов в среде водорода почти на порядок больше, чем в азоте, аргоне или парах воды [15]. В результате скорость подачи и поток сильных окислителей при ИФХВ (кислород, хлор, азотная кислота) к горючим компонентам в скважине резко возрастает.

Благодаря водороду в технологии ИФХВ практически реализуется один из приёмов классической баллистики: оптимизация метания системой двух газов [16]. Известно, что если впереди движется лёгкий газ, а за ним – тяжёлый, то чем больше разница между молекулярными массами этих газов, тем выше скорость метания. Поэтому при использовании ГРС скорость движения фронта внутрипластового горения увеличивается в 7-8 раз по сравнению с традиционным «влажным» горением, лимитирующей

стадией которого является скорость подачи окислителя к реакционной поверхности горячего.

В процессе реакции высокоэнергетических ГРС с водой помимо смеси газов выделяется достаточно большое количество тепловой энергии (6,8-22,4 МДж/кг), образуется перегретый водяной пар. Ряд ГРС при избытке воды образует щелочные растворы, что расширяет функциональные возможности технологии при обработке коллекторов терригенного типа.

Аномальные значения степени проницаемости, теплоемкости и теплопроводности молекулярного и атомарного водорода позволяет существенно расширить, по сравнению с традиционными методами, радиус химически обрабатываемой зоны пласта и распространения тепловой энергии.

Цель настоящей работы – экспериментально изучить влияние «горячего» активного водорода, получаемого в результате реакции высокоэнергетического ГРС с водой, на характеристики нефтеносной карбонатной породы. В качестве ГРС использовался композиционный состав АГНК-50, представляющий собой спрессованную смесь алюминия и гидрида натрия в соотношении 1:1.

Любое химическое или физическое изменение породы, так или иначе, ведёт к изменению прочностной характеристики образца. Это послужило критерием выбора названного доступного и простого для определения параметра, при оценке степени изменения породы до и после воздействия водорода.

Экспериментальная установка по обработке образцов нефтеносной породы «горячим» водородом (рис. 1) представляла собой камеру высокого давления емкостью 4 л, герметично закрывающуюся нижней крышкой. В полости камеры на крышке размещался термостойкий стакан с водой, куда сбрасывался образец ГРС, висящий на токопроводящей нити. Начало реакции осуществлялось подачей напряжения на нить с помощью ЛАТРа. Модели искусственных кернов крепились над потоком выделяющегося водорода. При этом одновременно обработке подвергались три образца. На рис. 2 представлена фотография крышки камеры при подготовке к работе.



Рисунок 1 – Экспериментальная установка по обработке образцов нефтеносной породы «горячим водородом»

Контроль температуры и давления в камере осуществлялся соответственно термомпарой типа ХА и датчиком давления типа МП мод. 22517 с пределом измерений 0-16 кгс/см², который дублировался показывающим мановакууметром типа МО с пределом измерений 1-16 кгс/см². Модели искусственных кернов представляли собой ци-

линдров диаметром $36,2 \pm 0,5$ мм и высотой $31 \pm 1,5$ мм, выточенные из нефтеносной породы карбонатного типа, взятой с глубины 2580-2588 м скважины № 126 Вишанского месторождения (Белоруссия). При определении их прочностных характеристик горизонтальные торцевые поверхности цилиндров шлифовали до максимального отклонения от вертикали на 0,4 мм. Наличие трещин и неизбежных неоднородностей состава, влияющих на физико-химические свойства породы, обычно корректируются количеством исследуемых образцов [17]. Поэтому для определения пределов прочности было отобрано 18 искусственных кернов. Исследовано 9 холостых и 9 подвергаемых обработке «горячим» водородом. Работы проводились на универсальной испытательной машине «INSTRON-1186». Скорость изменения нагрузки до разрушения образцов составляла 0,5 мм/мин. Перед началом работы камера продувалась аргоном с последующей откачкой газа вакуумным насосом до давления 0.03-0,02 МПа.



Рисунок 2 – Крышка камеры

В таблице 1 приведены среднестатистические данные, полученные при обработке результатов измерений прочности образцов в зависимости от условий проведения экспериментов.

Таблица 1

Условия проведения обработки образцов						Результаты измерения прочности образцов			
						Необработанных		Обработанных	
Скорость подъема давления, МПа/с	Максимальное давление, МПа	Установившееся давление, МПа	Максимальная температура, К	Средняя за время выдержки температура, К	Время выдержки, мин	Напряжение предела прочности, МПа	Среднее квадратичное отклонение, МПа	Напряжение предела прочности, МПа	Среднее квадратичное отклонение, МПа
0,037	1,1	0,8	413	343	60	47,4	1,67	27,1	2,76

Диаграмма, приведенная на рис.3, наглядно показывает изменение пределов прочности образцов испытываемой породы после их обработки.

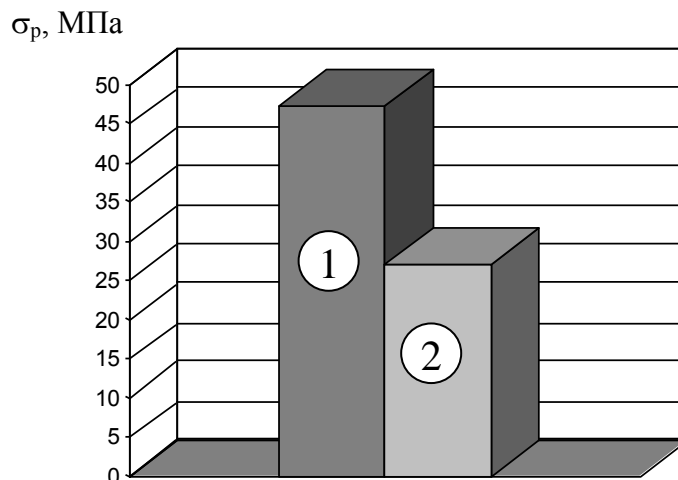


Рисунок 3 – Диаграмма изменения предела прочности образцов нефтеносной породы после их обработки «горячим» водородом:
1 – необработанные образцы, 2 – обработанные

Как видно из полученных данных, обработка нефтеносной карбонатной породы активным «горячим» водородом снижает предел прочности искусственных кернов в 1,75 раза по сравнению с контрольными образцами, способствует их «охрупчиванию», что свидетельствует об изменениях структуры и физико-химических свойств этих пород. Визуальные наблюдения даже при небольшом увеличении (просмотр поверхности через лупу) указывают на увеличение трещинообразования обработанных образцов.

Таким образом, использование только реакции высокоэнергетических ГРС с водой дает возможность проводить обработку призабойной зоны пласта посредством:

- инициирования реакций крекинг-пиролиза АСПО и химического преобразования некоторых компонентов породы;
- термофизического воздействия для увеличения количества микротрещин в породе;
- перегретого пара и щелочных растворов для изменения химической и физической структуры породы.

Дальнейшее изучение влияния «горячего» водорода на отдельные характеристики породы требует сравнительных измерений её проницаемости, исследования скорости диффузии газа и толщины диффузионного слоя, оптимизации таких параметров воздействия, как температура, давление и время обработки для разных типов пород.

Литература

1. Басниев К.С. Подземная гидравлика / К.С. Басниев, А.М. Власов, И.Н. Кочина, В.М. Максимов. – М.: Недра, 1986. – 303 с.
2. Проблемы увеличения производительности скважин / П.Н. Демченко, Б.В. Зарицкий, В.М. Светлицкий. – Киев: Паливода, 2002. – 228 с.
3. Яремчук Р.С. Повышение производительности скважин при освоении и эксплуатации месторождений парафинистых нефтей / Г.П. Савьюк, В.М. Светлицкий, Р.С. Яремчук. – Киев: Укрпипроиннефть, 1993. – 225 с.

4. Михалюк А.В. Импульсный разрыв пород /Ю.И. Войтенко, А.В. Михалюк.— Киев: Наук. дума, 1991. – 204 с.
5. Смоловик Л.Р. Интенсифікація розробки нафтових родовищ шляхом проведення внутрішньопластового горіння в циклічному режимі /Л.Р. Смоловик, Ю.О. Зарубін // Нафт. та газова пром-сть. – 1995. – № 3. – С. 22-24.
6. Вайншток С.М. Анализ экономической эффективности физических, химических и гидродинамических методов увеличения нефтеотдачи пластов /С.М. Вайншток, В.М. Тарасюк. – М.: ВНИИОЭНГ. Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. – 1999. – № 8.– С. 33-37.
7. Щербина К.Г. Хімічні джерела енергії нового покоління для нафтогазовидобувної промисловості / Нафта і газ України: Матеріали 7-ї Міжнар. наук.-практ. конф., Київ– 2002. – Т. 2. – С. 69.
8. Щербина К.Г. Гидрореагирующие составы для внутрислоевой термохимической обработки нефтегазоконденсатных скважин // Вестн. Харьк. ун-та. – 1998. – № 402. – С. 85 – 88.
9. Щербина К.Г. Про новий підхід до засобу внутрішньопластової обробки свердловини // Нафт. і газова пром-сть. – 1998. – № 1. – С. 26-28.
10. Щербина К.Г. Новый аспект использования парацана и механизм его действия /Е.Н. Александров, Л.В. Процицкая, К.Г. Щербина // Вестн. науки и техники. – 1998. – Вып. 2. – С. 55-57.
11. Кондратьев В.Н. Константы скорости газофазных реакций: Справочник. – М.: Наука. 1971. – 352 с.
12. Лебедев Н.Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза. – М.: Химия. 1971. – 840 с.
13. Щербина К.Г. О возможности внутрислоевого крекинг-пиролиза легких нефтей и конденсата / К.Г. Щербина, И.И. Рыбчич, Б.Б. Синюк // Intern. Sci-ic and Techn. Conf. Mineral resources and Man, 17 – 19, IX, Varna – 2002. – Vol. 2. – С. 204-206.
14. Щербина К.Г. Высокоэнергетическое воздействие на пласты с трудно извлекаемыми и высоковязкими нефтями / К.Г. Щербина, Е.Ф.Зубков, А.Т. Лобойко, В.Ю. Липинский, А.А. Сахаров // Нефт. хоз-во. – М., 2000. – №4.- С. 30-32.
15. Грачухо В.П. Горение частицы магния в водяном паре / В.П.Грачихо, Е.С. Озеров, А.А.Юринов // Физика горения и взрыва. – 1971. –7. – № 2. – С. 232-236.
16. Андрианов Э.И. Оптимизация метания системой двух газов /Э.И. Андрианов, Р.Н. Воробьев, А.А. Глебов// Физика горения и взрыва – 1987. - №7. – С. 97-99.
17. Кингери У.Д. Введение в керамику. – М.: Стройиздат, 1967. – 499 с.

УДК 661.96:622.276.6

Щербина К.Г., Кравченко О.В., Кузьмин Д.В., Пода В.Б.

ОБРОБКА НАФТОНОСНИХ ПОРІД «ГАРЯЧИМ» ВОДНЕМ

Досліджено комплексний вплив активного «гарячого» водню на моделі кернів нафтоносних карбонатних порід. Водень одержували з води шляхом її хімічного розкладання високоенергетичними гідрореагуючими складами. Проведено порівняльний аналіз характеристик зразків до і після обробки. Установлено, що під впливом водню відбувається помітне зниження межі міцності кернів і їхній «охрупчивание», це свідчить про зміни структури і фізико-хімічних властивостей нафтоносних порід.