

устье скважины или на зарядную машину, а затем производится засыпка в него ВВ. При необходимости осуществляется догрузка заряда путем заливки воды или раствора веществ одновременно с подачей сыпучего ВВ или путем впуска воды из скважины в заряд через проколы в рукаве.

Освещенные выше технические и технологические рекомендации по подготовке и заряданию в скважины зарядов ВВ в полимерных рукавах успешно внедряются в практику взрывных работ.

1. *Комплекс технических решений по технологии и средствам взрывной подготовки горной массы* / А. Т. Галимуллин, В. С. Прокопенко, Ю. В. Грибков, А. К. Баженов, Ю. Н. Часнык, Л. М. Заболотный // Научно-технические достижения и передовой опыт в угольной промышленности. – М.: ЦНИЭИУголь. – 1980. – С. 8–9.

2. *А.с. 122318 СССР, МКИ F 42 В 3/20. Устройство для зарядания обводненных скважин неводоустойчивыми взрывчатыми веществами* / В. С. Прокопенко, М. И. Абарбарчук, В. Я. Закиев (СССР). – № 3633476; Заявлено 12.08.83. – 3 с.

3. *А.с. 141925 СССР, МКИ F 42 В 3/04. Устройство для дозированной подачи скважинной воды в заряд ВВ* / В. С. Прокопенко, А. А. Анищик, А. Т. Галимуллин, Г. С. Бутейко, Л. М. Заболотный (СССР). – № 4002672; Заявлено 4.01.86. – 4 с.

УДК 622.276:622.235

БЕЗОПАСНЫЕ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДОБЫЧИ ПОДЗЕМНЫХ ФЛЮИДОВ

*Ю. И. Войтенко, докт. техн. наук, Л. А. Митюк, канд. техн. наук,
(ННИИОТ)*

Наведено результати промислових випробувань вибухової та ударно-депресійної технології видобування підземних флюїдів. Намічені шляхи їхнього вдосконалення.

При освоении продуктивных пластов после окончания строительства скважины, при переходе на другой продуктивный горизонт после ее капитального ремонта или в процессе эксплуатации часто требуется не только вскрыть пласт перфорацией, но и увеличить эффективный радиус скважины для повышения ее производительности. В настоящее время разработаны и испытаны различные импульсные методы увеличения проницаемости пород с целью интенсификации гидродинамических процессов вокруг скважины. Конкурируя между собой по экономическим показателям, они практически всегда дают различные результаты в идентичных условиях. Основная причина

этому – несоответствие применяемых технологий объектам, на которых они применяются.

Большинство месторождений природных углеводородов России и Украины характеризуются сложными горнотехническими условиями, а именно: относительно маломощными, разнесенными по высоте скважинами, наличием продуктивных пластов, границ раздела флюидов (вода–нефть, вода–конденсат и др.), резким различием физико-механических свойств пород в соседних пластах, а иногда и в пределах одного продуктивного пласта и т. п. Поэтому использование даже таких энергонасыщенных физических методов интенсификации добычи полезных ископаемых как пороховой разрыв и торпедирование пластов не всегда дает положительный эффект (до 60 % отрицательных результатов при использовании порохового разрыва) [1]. При пороховом и гидравлическом разрывах пласта часто происходит неуправляемое, неконтролируемое разрушение призабойной зоны, распространение трещин по границам пластов, выход трещин в соседние непродуктивные водоносные или газоносные горизонты, разрушение и отслоение затрубного цемента с появлением перетоков и последующей необходимостью проведения изоляционных работ.

Использование взрывного способа интенсификации добычи нефти и газа с использованием мощных скважинных торпед (ТБИ) весом до 2,5...3 тонн [1] и ядерных зарядов приостановилось из-за сложности, неэкономичности и опасности работ, а также отрицательных побочных последствий, в частности из-за поражающего действия подобных взрывов на обсадную колонну скважины и появление перетоков.

Цель настоящей работы – описание новых импульсных и взрывных методов интенсификации работы геотехнологических скважин, анализ механизмов воздействия на породы–коллекторы и описание результатов исследования их эффективности на месторождениях Украины и России.

С начала 90-х гг. на нефтяных месторождениях Украины испытывается и применяется ударно-депресссионный метод добычи, заключающийся в чередовании импульсов сжатия и разрежения в скважинной жидкости. Ударно-депресссионный метод испытывался на двух месторождениях (НГДУ «Черниговнефтегаз»). Метод реализуется с помощью герметичных стеклянных сосудов, которые разрушаются в зоне перфорации взрывом удлиненного заряда ВВ [2, 3]. Сосуды изготовлены из специального стекла и выдерживают внешнее сжимающее давление до 60 МПа. Вся сборка, включающая заряд, гирлянду сосудов и взрывной патрон, спускалась на каротажном кабеле в зону перфорации и подрывалась. Нестационарные процессы, протекающие в зоне расположения устройства, а именно: ударная волна от взрыва заряда, волна разрежения, возникающая при коллапсе газовой полости, гидроудар, получающийся при соударении столбов жидкости, способствуют очистке стенок скважины и перфорационных отверстий от отложений и расширению существующих микро- и макротрещин. В целом метод дает стабильные результаты, но характеризуется меньшей (по сравнению с другими методами) эффективностью. Это связано со

значительно меньшими энергетическими параметрами воздействия и, как следствие, с меньшей глубиной обработки призабойной зоны.

Нестационарные процессы, сопровождающие коллапс газовой полости в скважине, изучались на экспериментальном стенде. Полученные результаты и их анализ позволили оценить удельную энергию импульсного воздействия на стенки скважины по формуле для упругого потенциала жидкости $E = p^2 / \rho c^2$, где p – давление в жидкости, ρ – плотность жидкости, c – скорость звука в жидкости. Расчеты показали, что энергия воздействия при взрывной обработке на порядок выше, чем при ударно-депресссионной.

Для взрывной обработки призабойной зоны пластов, представленных породами–коллекторами с незначительными пластичными свойствами (песчаники, известняки, алевролиты, доломиты и т. п.) разработана технология, основанная на разупрочнении и разуплотнении пород последовательными взрывами рассредоточенных групп зарядов – секционных торпед [3].

Основные механизмы, по которым происходит необратимое изменение прочностных и фильтрационных свойств пород коллекторов порового и трещинного типов, подробно описаны в работах [3, 4, 5]. Основаны они на действии динамических сдвиговых напряжений на элементы и дефекты структуры породы на различных иерархических уровнях.

Для усиления эффекта разупрочнения пород над очагом взрыва первой торпеды на определенном расстоянии устанавливают вторую секционную торпеду, взрыв которой производит не только разуплотнение породы в месте ее установки, но и увеличивает размеры очагов разрушения и предразрушения вокруг зоны взрыва первой торпеды – микро- и макротрещин, микропустот и микросдвигов [4, 5]. Отсутствие второй стадии обработки (второго торпедирования) является причиной снижения эффекта на 30–50 %. При необходимости, например, при обработке интервала большой мощности (> 10 м), производят третье торпедирование и т. д. Иногда взрывной обработке предшествует химическая кислотная обработка (ванна).

Реализация взрывных технологий обеспечивается использованием торпед нескольких конструкций [3], которые совершенствовались в процессе испытаний.

В качестве взрывчатых материалов в торпедах использовались тротил-гексогеновые и гексогеновые шашки, а в качестве экспериментальных зарядов – твердое ракетное топливо (баллистит).

В качестве устройств, локализирующих распространение гидроударной волны вниз и вверх по скважине [6], использовались сыпучие и гранулированные материалы в герметичной оболочке, жесткие металлические и бетонные цилиндры, которые служили также дополнительными грузами, а также пустотелые стеклянные сосуды.

Результаты испытаний приведены в табл. 1. Приняты следующие обозначения: $p_{пл}$ – пластовое давление, q_0 – дебит нефти (газа) до обработки, q_1 – дебит после обработки, $q_{0в}$, $q_{1в}$ – дебит скважины по воде до и после обработки.

Таблица 1. Результаты использования взрывной и ударно-депрессивной технологии на месторождениях нефти и газа Украины и России

Месторождение, № скважины	Вмещающие породы, горизонт	Тип коллектора	P _{пл} , МПа	Производительность		Вид обработки	Примечания
				q ₀ /q _{0*} , м ³ /сутки	q ₁ /q _{1*}		
НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ «АХТЫРКАНЕФТЕГАЗ»							
Бутреватовское, 306 нагн. 309 нагн.	Песчаники плотные, иногда трещиноватые, В-21, В-22.	Трещино-поровый	44,5 – 45,5	/33 /3	/108 /20	2 торпеды двух-трехсекционные	Предварительная кислотная обработка
25 103	Песчаники, В-21, В-22.			1,5/0,05 3,0/0	13,36/0,54 4,5/0,9	1 торпеда двухсекционная	
Анастасьевское 104 53	Песчаники кварцевые, алевролиты с включением сидеритов В-19	Трещино-поровый	27,1	0,3/0,012 1,595/11,24	74,9/3,4 18,19/99,81	2 торпеды трехсекционные	Скв. № 53 – предварительная кислотная обработка
Качановское 209	Песчаники, аргиллиты, Т-1	Поровый		0,039 / 1,86	0,65/0,71	2 торпеды, трехсекционные	
Хухринское Чернечина	Песчаники глинистые В-21	Поровый		1,5/0	29,8/0	2 торпеды, трехсекционные	
НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ «ЧЕРНИГОВНЕФТЕГАЗ»							
Талалаевское 42	Песчаник кварцевый В-16	Поровый	24,3	0,1/0	26 + 7 тонн конд. / 0	1 торпеда двухсекционная	
Скорохоловское 57 203	Песчаники кварцевые В-17	поровый	14,3	0,36/0,6 0,1/0	0,7–7,9 0,3/0	2 торпеды, двухсекционные 1 торпеда серийная	
Богдановское 85	Песчаник В-26			0–0,1		2 торпеды, двухсекционные	Скв. № 85 обводнилась. Расстояние до водовосного пласта – 19 м

Продолжение таблицы

Малодевицкое 13 29	Песчанники кварцевые мелко- и среднесернистые, В-17, В-18	поровый	21,0 20,8	0,9/0,2 1,85/0,09	5,0/1,5 7-9/1,6	1 торпеда, двухсекционная, импланзционный контейнер из специального стекла, разрушен взрывом ДШ.	Работы проводились в 1993-96 гг. Среднее увеличение продуктивности в 1,6-1,9 раз; 10 скв.
Малодевицкое (десять скважин)			22,4-23,6				
НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ «ПОЛТАВАНЕФТЕГАЗ»							
Суходоловское 2	Песчанники Б-13	Поровый	28,4	0,8/0	2,5/0	2 торпеды двухсекционные	
НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ «НАДВОРНАЯНЕФТЕГАЗ»							
Верхняя Луковка, № 35, 79, 58, 59 Быстрицкое № 47	Слоистые песчанники	Поровый					5 скважин, среднее увеличение дебитов в 1,8-2,5 раза [19]
ГАЗОДОБЫВАЮЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «УРЕНГОЙГАЗПРОМ»							
Уренгойское 15284	Песчанник высокопористый слабоцементированный, сеноман	Поровый		4,2/5,0 МПа		2 торпеды трехсекционные	Предварительно закачка в пласт 2 %-го раствора НТФ в метаноле и продавка газовым конденсатом

* давление на устье до обработки (левая) и после обработки (правая).

В геологическом строении нефтяных и газовых залежей месторождений, где проводились работы, принимают участие отложения визейского и серпуховского ярусов нижнего карбона.

Верхневизейский подъярус, в котором выделяется семь продуктивных горизонтов: В-16, В-17, В-18, В-19, В-20, В-21, В-22, В-26, представлены переслаивающимися пачками аргиллитов, алевроитов и песчаников с прослоями известняков. Большинство залежей – пластовые, сводчатые, тектонически экранированные.

Песчаники продуктивных горизонтов визейского яруса характеризуются следующими особенностями: открытая пористость изменяется в пределах 9–18 %; газопроницаемость $(40-937) \cdot 10^{-3}$ мкм²; коэффициент нефтегазонасыщенности $K_{нг}$ колеблется в пределах 60–95 %; коэффициенты глинистости $K_{гн}$ – в пределах 2–34 %.

При проведении экспериментальных работ взрывной и импульсной обработкам подвергались пласты, сложенные из песчаников трех типов: кварцевых, полимиктовых и глинистых.

Песчаники – от светлосерых до темносерых, мелко- и среднезернистые, кварцевые, изредка полимиктовые с глинисто-карбонатным цементом. Нередко однородность песчаникового пласта нарушается разделением его пластинами тонкодисперсных аргиллитов, прослоями известняков и включениями сидеритов.

Данные геофизических исследований часто указывали на то, что пласт может быть трещиноватым (табл. 1, графа 2).

Вязкость добываемой нефти лежит в пределах 0,27–0,4 МПа·с (маловязкие) и 1,2–40 МПа·с (вязкие). Данные промышленных испытаний эффективности применяемых технологий, приведенные в табл. 1, позволяют сделать следующие основные выводы:

наилучшие результаты при использовании взрывной и ударно-депресссионной технологии получены в чистых кристаллических песчаниках с минимальным количеством пластичных (глинистых) составляющих, в том числе трещиноватых;

эффективность взрывных технологий мало зависит от конструкции скважин (открытый или обсаженный ствол скважины) при достаточной плотности перфорации обсадной трубы (не менее 18 отверстий/м);

эффективность взрывной обработки пласта практически не зависит от глубины обработки (до глубины 5000 м) при условии использования торпеды оптимальной конструкции и достаточной массы;

прямое использование взрывных импульсных технологий в обводненных скважинах (не менее 30–60 % воды) нежелательно и требует применения комплексных методов с закачкой в водоносные пласты специальных изолирующих композиций;

эффективность взрывных и импульсных технологий при наличии массивных асфальто-смолисто-парафиновых отложений (АСПО) в меньшей степени зависит от энергетического воздействия на пласт и скорости выделения энергии в очаге горения или взрыва, чем от наличия дополнительных физико-

химических эффектов воздействия на АСПО (химических, тепловых, термохимических и т.п.) в процессе разуплотнения, разрыва или очистки призабойной зоны пласта.

Последнее имеет особое значение в условиях добычи высоковязкой, высокопарафинистой нефти. Обращают на себя внимание несколько неожиданные результаты по торпедированию зарядами массой 5–7 кг скважин, в которых расстояние до водоносных горизонтов превышало 15–20 м (табл. 1), но тем не менее скважины обводнились. Это указывает на необходимость разработки новых, более эффективных средств и методов защиты скважинных колонн от действия взрывных гидроударных волн и гидропотока, а также методов водоизоляции в пределах пласта. Роль гидропотока нельзя не учитывать при анализе механизма разрушения горных пород пласта и заколонного цемента при последовательном взрыве зарядов в скважине, наполненной жидкостью. Давление в гидропотоке в ближней зоне действия взрыва (до $10\text{--}20 r_0$, где r_0 – радиус заряда) может достигать 0,1–0,3 ГПа [7], а на расстоянии $500\text{--}600 r_0$ составляют 15–20 ГПа при взрывах зарядов массой 10–15 кг [8]. При этом время действия давления в области гидропотока примерно на два порядка превышает время действия ударной волны [7, 8]. Поэтому гидропоток может быть причиной подрастания радиальных трещин, образованных предыдущими взрывами при последующих, и, наряду с ударной волной, вызвать разрушение затрубного цемента скважины на значительных расстояниях от очага взрыва (до 20–50 м при некачественной цементации заколонного пространства).

Суммарная дополнительная добыча нефти, газа и газового конденсата за период проведения испытаний взрывной и взрыво-химической технологии с 1996 по 2001 гг. составила примерно 90 тыс. тонн, 26 млн. м³ и 2,5 тыс. тонн соответственно; за время испытаний ударно-депресссионной технологии (1993–1997 гг. и 2000 г.) – около 4,5 тыс. тонн нефти. При этом суммарные затраты на проведение взрывных и ударно-депресссионных обработок скважин не превысили 200–250 тыс. долларов США.

Авторы благодарят за помощь в организации проведения работ на скважинах А. В. Бачерикова, А. Л. Дроздова, Б. Н. Дрозда, В. С. Копычко, С. В. Назарука.

1. Михалюк А. В., Войтенко Ю. И. Импульсный разрыв пород. – Киев: Наук. думка, 1991. – 201 с.

2. Лысюк Н. А., Билован А. Ф., Красько В. И. Создание безопасной депрессивно-ударной технологии интенсификации нефтедобычи: опыт и перспективы внедрения в Украине / Охрана труда в Украине: Состояние, проблемы, перспективы. – Киев: Основа, 1998. – С. 304–306.

3. Пат. 9702 А Украины, МКИ Е 21 В 43/25. Способ депрессивно-ударной обработки пласта и устройство для его осуществления / Билован А. Ф., Лысюк Н. А., Глагола Д. Д., Маряк С. Г., Гушул В. В., Охрименко Г. И. – Заявлено 5.12.94; Опубликовано 30.09.1996, Бюл. № 3.

4. Пат. РФ 2060380, МКИ Е 21 В 43/263. Способ дилатансионного торпедирования скважин и торпеда для его осуществления / Войтенко Ю. И., Михалюк А. В., Чуриков В. А., Кукшин В. Д. – Заявлено 12.04.92; Опубл. 19.06.96, Бюл. № 6.

5. Михалюк А. В. Торпедирование и импульсный разрыв пластов. – Киев: Наук. думка, 1986. – 207 с.

6. Войтенко Ю. И., Ткачук К. Н. Об изменении свойств геофизической среды при подземных взрывах / ФТПРПИ. – 1999. – № 3. – С. 45–50.

7. Лысюк Н. А., Михалюк А. В. Повышение безопасности прострелочно-взрывных работ в скважинах / Информ. бюл. по охране труда. – 2000. – № 3. – С. 20–21.

8. Экспериментальное и теоретическое исследование давления на устье скважины в условиях водяной забойки / Теоретические вопросы физики взрыва / Сб. науч. трудов МИФИ. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – С. 51–59.

УДК 662.221.1: 662.216.1

О СТАРЕНИИ ДЫМНОГО ПОРОХА

М. Ф. Буллер, канд. техн. наук (ГосНИИХП, г.Шостка)

Процес старіння димних порохів розглянуто з точки зору хімічного та фізичного старіння. Хімічне старіння зумовлене взаємодією дерев'яного вугілля з киснем, енергія активації даного процесу – $82,1 \pm 0,2$ кДж/моль. Фізичне старіння зумовлене здатністю димних порохів сорбувати пари води. При вмісті води у порохів більше 1,13 % по масі стає можливою міграція нітрату калію у вигляді розчину усередині його зерна.

Дымный порох (ДП) продолжает до настоящего времени использоваться для взрывных работ на дневной поверхности. В соответствии с ГОСТ 1028-79 гарантийный срок его хранения составляет 20 лет при хранении в герметичной таре и 2 года при хранении в негерметичной таре.

Многолетний опыт эксплуатации ДП показывает, что, как правило, он обладает определенным ресурсом по времени хранения. Целенаправленным изучением закономерностей изменения свойств ДП в процессе хранения ранее не занимались, конкретные данные для составления научно обоснованного прогноза гарантийных сроков хранения отсутствуют.

В соответствии с ГОСТ 1028-79 промышленностью выпускается 17 марок ДП (в том числе и порох для взрывных работ), представляющих собой зерненую или порошкообразную механическую смесь компонентов. Химический состав и соотношение компонентов в смеси одинаковы для всех марок ДП (кроме пороха, предназначенного для огнепроводных шнуров). Пороха разных марок различаются преимущественно размерами зерен и их