

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА АМПЛИТУДУ ИМПУЛЬСОВ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ РАЗРЯДАХ

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
пр. Октябрьский, 43 А, г. Николаев, 54018, Украина*

Теоретическими и экспериментальными исследованиями, проведенными в различных странах в последние годы, установлено, что наиболее эффективные технологии разработки трудноизвлекаемых запасов нефти основываются на комбинации известных методов воздействия на нефтяные пласты, например, физико-химических. Основной целью является подбор такого сочетания рабочих агентов, которое обеспечивает наиболее эффективное интегральное проявление факторов увеличения притока нефти, присущих каждому методу отдельно [1, 2].

Известно, что эффективность высоковольтных электрических разрядов в жидкости зависит от свойств рабочей среды [3]. Для электроразрядной технологии воздействия на призабойную зону скважин (ПЗС), которая реализуется при высоких гидростатических давлениях, выбор среды, заполняющей скважину, имеет решающее значение [4]. Как показали результаты лабораторных исследований и обработка ПЗС устройствами типа "Скиф" [5], электроразрядная технология не всегда обеспечивает необходимый положительный эффект, в частности, это относится к низкопроницаемым коллекторам со сниженной проницаемостью за счет выпадения асфальто-смоло-парафиновых отложений (АСПО) и отложения минеральных солей (ОМС). Предложено повысить эффективность электроразрядного воздействия в коллекторах со сниженной проницаемостью от выпадения АСПО и ОМС, совмещая комплексное воздействие электрического разряда и раствора поверхностно-активных веществ (ПАВ) [6].

Известно [7], что искровой разряд в водных электролитах носит случайный характер ввиду большого количества факторов, влияющих на его формирование. Поэтому наблюдается значительный разброс основных характеристик при многочисленном повторении разряда. В [7] показано, что при многократном повторении опыта распределение характеристик разряда подчиняется нормальному закону.

Одним из основных факторов воздействия на ПЗС при электрических разрядах являются импульсы давления, возникающие после искрового разряда в межэлектродном промежутке.

Цель работы – исследование влияния рабочей среды на амплитуду импульсов давления при высоковольтных импульсных разрядах.

Исследования проводились на экспериментальном стенде, схема которого приведена на рис. 1. Стенд состоит из энергетической и технологической частей.

Энергетическая часть стенда предназначена для формирования импульсов тока в разрядном промежутке технологической камеры и включает регулируемый автотрансформатор 1, повышающий трансформатор-выпрямитель 2, блокировки 3, зарядные резисторы 4, емкостный накопитель 5, пульт управления 6, воздушный разрядник 7, шунт 8, осциллограф 9, делитель напряжения 10, киловольтметр 11, электродную систему 12.

Технологическая часть (рис. 1), предназначенная для физического моделирования скважинных условий, содержит камеру высокого давления 13, насос высокого давления 19, манометр 14, вентили для забора проб газов 15 и рабочей среды 16, вентили для слива 21 и сброса давления 17, запорный вентиль 20 и бак с жидкостью 18. Забор проб жидкости производился из зоны разрядного промежутка 12, проб газа (вентиль 15) – из верхней точки и слив жидкости (вентиль 16) – из нижней точки камеры 13. Электродная система 12 повторяет электродную систему устройств "Скиф".

В качестве рабочей среды при электрическом разряде применялись жидкости, которые могут быть использованы для заполнения скважины при ее остановке для ремонта: водный электролит от

0 до 30% (удельное сопротивление дисперсной фазы – водного электролита $\sigma_0 = 1,1 \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$) с ($\sigma_0 = 0,1 \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$); 0,3% водный раствор НМК-21 ($\sigma_0 = 0,1 \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$) и водонефтяная эмульсия обводненностью добавкой 0,3% НМК-21, в дальнейшем ВНЭ+НМК-21.

Исследования выполнялись при исходных параметрах экспериментальной установки, близких к номинальным параметрам устройств типа “Скиф”:

- емкость накопительной батареи конденсаторов $C = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$;
- зарядное напряжение $U = 3 \cdot 10^4 \text{ В}$;
- индуктивность разрядной цепи $L = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$;
- радиус электрода-анода $r = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

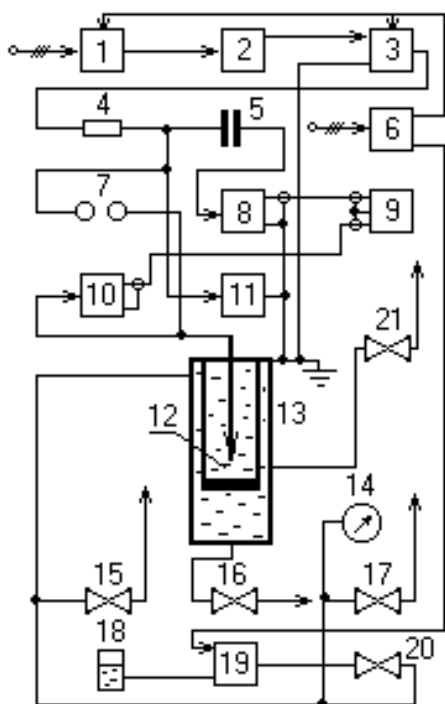


Рис. 1. Структурная схема стенда

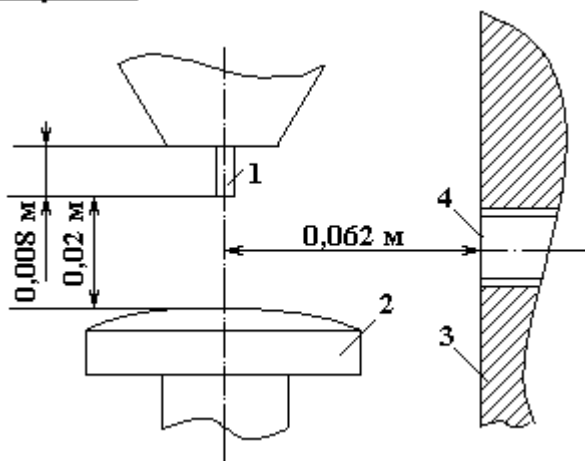


Рис. 2. Расположение волноводного датчика давления: 1 – положительный электрод (анод); 2 – отрицательный электрод (катод); 3 – внутренняя поверхность камеры высокого давления; 4 – расположение приемного доньшка ВДД

Гидростатическое давление P_2 в камере варьировалось в диапазоне 0,1–30 МПа.

Качественная оценка импульсов давления производилась в камере высокого давления (КВД) волноводным датчиком давления (ВДД). На рис. 2 показано расположение датчика в камере относительно элементов электродной системы, которое поддерживалось неизменным для всех сред.

Оценка сигналов с ВДД при электрических разрядах выполнялась на сериях разрядов. Сигналы фиксировались на запоминающем осциллографе (схема приведена на рис. 3).

Типичная форма сигналов регистрируемых импульсов давления представлена на рис. 4.

Периодический контроль характеристик ВДД производился на установке динамической калибровки широкополосных датчиков давления [8].

Форма исследуемого сигнала при разрядах в различных средах при неодинаковых гидростатических давлениях оставалась неизменной. На один канал (рис. 3) подавался сигнал, полученный с помощью коаксиального шунта (импульсный ток), на второй – импульс, снимаемый с ВДД. Производилась серия разрядов и фиксировались сигналы с разбросом амплитудного значения тока $\pm 10\%$. Обработка результатов в каждой точке производилась по 50 измерениям.

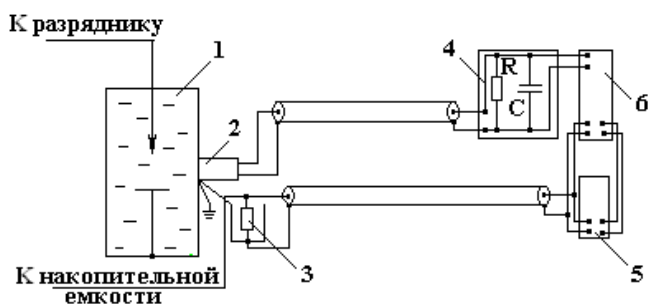


Рис. 3. Схема измерения импульсов давления ВДД: 1 – камера высокого давления; 2 – волноводный датчик давления; 3 – коаксиальный шунт; 4 – RC-цепочка; 5 – генератор импульсов; 6 – запоминающий осциллограф

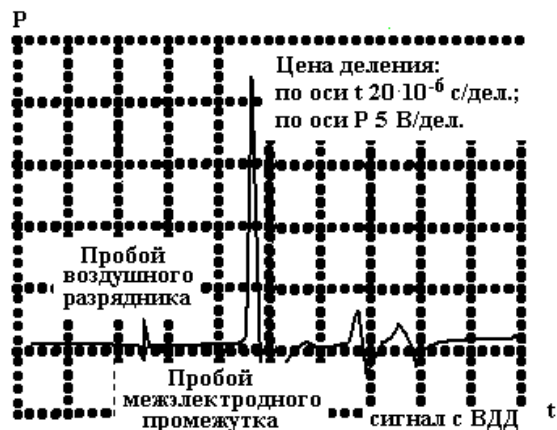


Рис. 4. Импульс, регистрируемый волноводным датчиком давления: 1 – ВНЭ+НМК-21; 2 – водный электролит, $\sigma_0 = 0,1 \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$; 3 – 0,3% водный раствор НМК-21

На рис. 5 представлена зависимость амплитуды импульса давления от гидростатического давления в КВД. В данном случае

$$P_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n P_{mi} / n,$$

где P_{mi} – амплитуды импульса давления в рабочей среде при определенном гидростатическом давлении; n – число импульсов ($n = 50$).

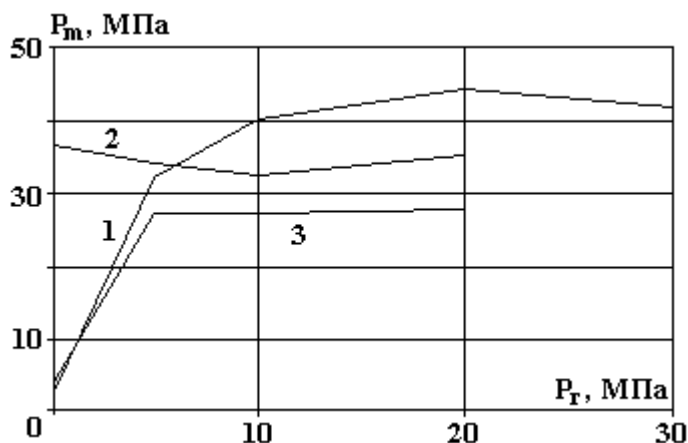


Рис. 5. Зависимость амплитуды импульса давления от гидростатического давления при электроразряде в различных средах: 1 – ВНЭ+НМК-21; 2 – водный электролит, $\sigma_0 = 0,1 \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$; 3 – 0,3% водный раствор НМК-21

При атмосферном давлении в камере (рис. 5) наибольшие значения импульсного давления были зафиксированы при разряде в водном электролите (кривая 3). Практически на порядок меньшие значения импульсного давления наблюдались при разряде в водном растворе НМК-21 и ВНЭ+НМК-21. Это объясняется наличием в составе НМК-21 пенообразующих компонентов, которые в районе межэлектродного промежутка образуют большое количество газожидкостной смеси с газовыми пузырьками диаметром от 3 до 5 мм [9]. Это приводит к увеличению времени задержки t импульса давления относительно момента начала активной стадии пробоя (резкого нарастания тока) и, следовательно, уменьшению скорости распространения волн давления в среде. Так, если при разряде в водном электролите при всех значениях гидростатического давления, время задержки доста-

точно стабильно: значение $\tau \approx 4 \cdot 10^{-5}$ с, то при атмосферном давлении в водном растворе НМК-21 $\tau = 9,5 \cdot 10^{-5}$ с, а в ВНЭ+НМК-21 τ составляло от $1 \cdot 10^{-4}$ до $1,7 \cdot 10^{-4}$ с (рис. 6).

При увеличении гидростатического давления P_r до 5 МПа ситуация изменилась. Среднее значение амплитуды импульса давления P_m в водном растворе НМК-21 достигло величины ~ 28 МПа и в дальнейшем слабо зависело от изменения P_r , при этом $\tau \cong 4 \cdot 10^{-5}$ с, что свидетельствовало об уменьшении размеров газовых включений (от 70 до 45 мкм [9]). С увеличением P_r до 5 МПа существенно (с 3 до 32,5 МПа) возрастает P_m при разряде в ВНЭ+НМК-21 (рис. 5 кривая 1), а τ уменьшается до $4,5 \cdot 10^{-5}$ с. При более высоких P_r кривые 1 и 2 для ВНЭ+НМК-21 практически совпадают, достигая максимума ($P_m \approx 45$ МПа) при $P_r = 20$ МПа.

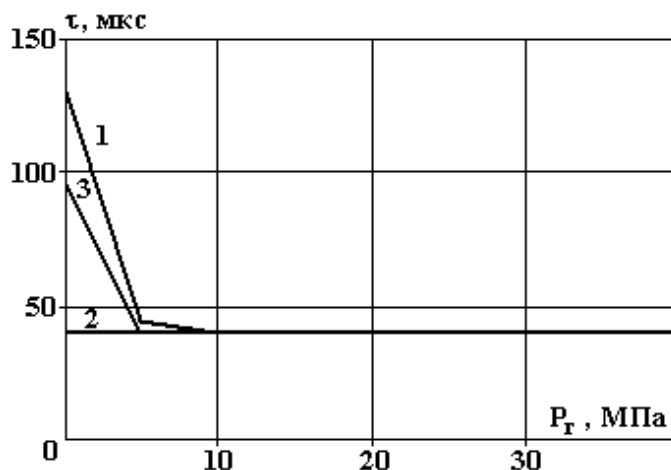
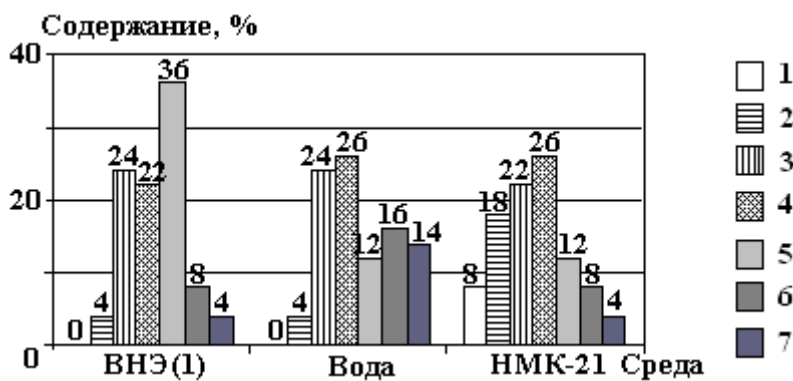
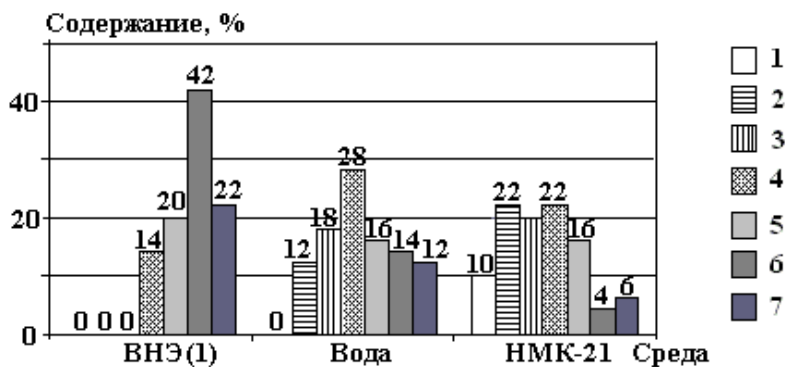


Рис. 6. Зависимость времени задержки импульса давления относительно момента начала активной стадии пробоя при изменении гидростатического давления в различных средах: 1 – ВНЭ+НМК-21; 2 – водный электролит, $\sigma_0 = 0,1 \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$; 3 – 0,3% водный раствор НМК-21

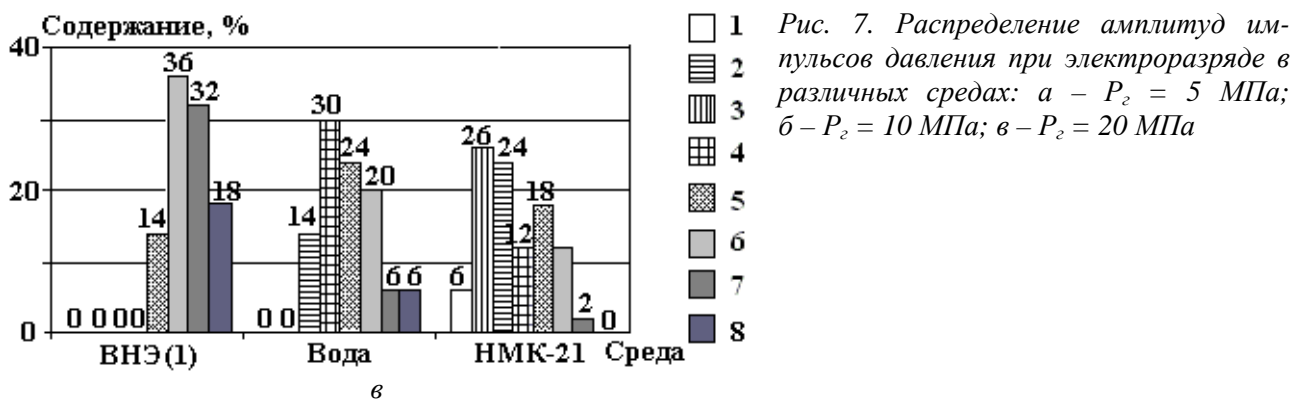
Необходимо отметить, что при разряде в различных средах наблюдался некоторый статистический разброс в показаниях ВДД, связанный с комплексным влиянием ряда факторов. Оценим разброс с помощью приведенных на рис. 7 гистограмм.



а



б



Таким образом, по результатам исследования импульсов давления электрических разрядов можно сделать следующие выводы:

- при низких значениях гидростатического давления наибольшие амплитуды импульсного давления отмечаются при разряде в водном электролите, однако наблюдается статистический разброс в показаниях ВДД, что можно объяснить нестабильностью пространственного положения канала разряда по отношению к местоположению датчика;

- значительный объем газовых включений диаметром до 5 мм, образующихся при разряде в водном растворе НМК-21 и ВНЭ+НМК-21 в условиях низкого гидростатического давления, практически на порядок уменьшает амплитуду давления по сравнению с разрядом в водном электролите; с ростом P_r при снижении размера пузырьков возрастает P_m , однако в водном растворе НМК-21 гидродинамические возмущения все-таки не достигают соответствующих значений для разрядов в водном электролите;

- при гидростатическом давлении $P_r \geq 5$ МПа лучшими показателями, с точки зрения гидродинамических характеристик, обладает разряд в водонефтяной эмульсии, что, по всей видимости, связано с благоприятным влиянием мелкодисперсных газовых пузырьков на стадию пробоя в практически обладающей высокими диэлектрическими показателями среде;

- для увеличения гидродинамического воздействия на ПЗС целесообразно в качестве рабочей среды при электрическом разряде использовать водонефтяные эмульсии с обводненностью до 30%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сургучев М.Л., Кузнецов О.Л., Симкин Э.М. Гидродинамические, акустическое, тепловое циклические воздействия на нефтяные пласты. М., 1975.
2. Тагиев Э.И., Палий П.А., Гадиев С.Н. Виброкислотная обработка эксплуатационных и нагнетательных скважин // Нефтяное хозяйство. 1968. № 2. С. 42–45.
3. Наугольных К.А., Рой Н.А. Электрические разряды в воде. М., 1971.
4. Сизоненко О.Н., Швец И.С. О возможностях использования высоковольтного электрического разряда для интенсификации притока нефти в скважину // Геотехническая механика. 2001. Вып. 25. С. 79–85.
5. Сизоненко О.Н., Швец И.С. Особенности электроразрядной технологии интенсификации фильтрационных процессов в нефтяных коллекторах // Современные проблемы электрофизики и электродинамики жидкостей. Санкт-Петербург. НИИ. 1988. С. 137–139.
6. Сизоненко О.Н., Шерстнев Н.М. Особенности изменения фильтрационных характеристик пород-коллекторов при реагентно-импульсном воздействии // Нефтяное хозяйство. 2001. № 4. С. 49–51.
7. Жекул В.Г., Загребнюк В.И., Мурзаев А.В., Хаскина Л.С. Статистическое исследование времени запаздывания пробоя при разряде в воде // Физико-механические процессы при высоковольтном разряде в жидкости. Киев, 1980. С. 13–18.
8. Теляшов Л.Л., Чеканов Ю.С., Гнатенко Е.К. Установка для динамической калибровки широкополосных датчиков давления // Физические основы электрогидравлической обработки материалов. Киев, 1978. С. 160–165.
9. Аммян В.А., Аммян А.В., Васильева Н.П. Вскрытие и освоение нефтегазовых пластов. М., 1980.

Поступила 02.07.04

Summary

The technique and the results of experimental research of amplitude of pulses of pressure by waveguide sensor at high-voltage pulse discharges in various liquid environments and hydrostatic pressure are resulted.