

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН ПОСРЕДСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ

*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,  
ул. Лоцманская, 3, г. Санкт-Петербург, 190008, Россия, [eaivliev@mail.ru](mailto:eaivliev@mail.ru)*

**Введение.** Одной из основных проблем нефтедобывающей промышленности является неполная (как правило, не более 40%) добыча нефти первичными методами из нефтяного пласта. Для некоторых нефтяных пластов, содержащих запасы высоковязкой нефти, за счет собственной потенциальной энергии пласта удается добыть не более 10–15%. В последующем на нефтяной пласт, для повышения эффективности нефтяного коллектора, осуществляется дополнительное воздействие вторичными методами. Основные из них связаны с вытеснением нефти путем закачки в пласт через дополнительные скважины-инъекторы различных водных растворов, которые позволяют повысить нефтедобычу еще на 15–20% [1].

В нефтяных пластах нефть насыщает пустоты, трещины и каверны между твердыми фракциями породы, слагающими нефтеносные пласты. Большинство нефтяных месторождений расположено в осадочных породах, которые являются хорошими коллекторами нефти. В продуктивной зоне пласта кроме нефти находится также и связанная вода. В большинстве коллекторов она составляет 20-30% от объема порового пространства [2].

Во всем мире существует большое количество заброшенных или законсервированных коллекторов, в которых остается еще достаточное количество нефти. Повышение нефтеотдачи всего на 1% равносильно открытию нового месторождения.

В физико-химическом отношении нефть представляет собой смесь углеводов и органических соединений. Плотность нефти 820–950 кг/м<sup>3</sup>, электропроводность колеблется в широких пределах 10<sup>-6</sup>–10<sup>-14</sup> См/м, электрокинетический потенциал составляет обычно 40–150 мВ [3].

Помимо гидравлических методов исследуются возможности вторичного воздействия на пласт различными физическими полями - тепловыми, ультразвуковыми, магнитными, высокочастотными, электромагнитными, а также их комбинациями [1]. Наряду с традиционными вторичными методами повышения эффективности нефтяных коллекторов несомненными перспективами обладают методы, основанные как на электрической обработке коллекторов в целом, так и призабойной зоны, непосредственно прилегающей к нефтедобывающей скважине [4].

**Анализ известных технических решений.** Выполненный анализ литературной и патентной информации позволяет выделить следующие способы и методы электрической обработки нефтяных коллекторов.

Использование постоянного, переменного и высокочастотного тока для прогрева нефтяного пласта и создания явлений электрофореза. При наличии пластов с кварцевым песком при пропускании высокочастотного тока возникает пьезоэффект, то есть колебания кварцевых песчинок и соответственно повышенное выделение из нее нефти [5].

Воздействие на зону около добывающей скважины однополярным электрическим током перед началом эксплуатации. Положительный результат достигается за счет комплекса электрокинетических эффектов. При этом увеличенная проницаемость пласта сохраняется и после прекращения действия электрического тока [6].

Воздействие на зону около добывающей скважины электрическим током для разогрева этой зоны до температуры, исключающей кипение поровой влаги [7].

Использование совместного электроосмотического и теплового действия постоянного электрического тока для создания в нефтесодержащем пласте минерализованного канала, для чего после подключения скважин к источнику питания в катодную скважину подается минерализованная жидкость, а величина тока ограничивается температурой кипения минерализованной жидкости [8].

Использование явления электрофореза, для чего к добывающей скважине подключается положительный полюс источника питания, а к дополнительному электроду – отрицательный [9].

Посредством пропускания ниже призабойной зоны переменного электрического тока грунт разогревается до 130–150<sup>0</sup>С, и образованный температурный фронт вытесняет нефть в направлении добывающей скважины [10].

Управление проницаемостью прилегающей к добывающей к скважине призабойной зоны импульсным током. Увеличение проницаемости достигается за счет механического разрушения цементирующих веществ в тонких капиллярах, лимитирующих скорость фильтрации [11].

Воздействие на призабойную зону добывающей скважины электрическим разнополярным импульсным током с амплитудой до 3000А со скважностью импульсов 1–3 и крутизной заднего фронта импульса 10–150 мкс. Положительный эффект достигается не только за счет электрокинетических и термодинамических эффектов, но и за счет резонансных свойств нефтесодержащего пласта [12].

За счет создания между анодным электродом и добывающей скважиной (катодом) напряжения постоянного тока 150–450 В и плотности тока 0,1–10 А/см<sup>2</sup> вызываются химические и ионно-плазменные процессы, в результате которых на обсадной трубе (катоде) выделяются водород и щелочь, способствующие снижению поверхностного натяжения нефтяной пленки и растворению остаточных нефтебитумов [13].

Совместное действие постоянного и переменного тока с амплитудой, обеспечивающей иницирование в нефти окислительно-восстановительных реакций для разложения содержащихся в ней полициклических соединений, на соединения с низкой молекулярной массой и гидрирование нефти [14].

Совместное действие постоянного электрического тока и подаваемого в перфорированные электроды аноды под давлением 1,5–5 атм раствора электролита (водный раствор NaCl или неорганических кислот) [15]. Данный способ позволяет выполнить электроосмотическое вытеснение нефти в направлении к добывающей (катодной) скважине в нефтяных пластах с малым водонасыщением.

Выполненный анализ показывает многообразие методов и способов электрической обработки. Каждый из них требует дополнительного исследования эффективности и практической реализуемости, что, естественно, невозможно осуществить в рамках одной статьи. Поэтому в дальнейшем ограничимся методами, основанными на использовании электроосмотических сил, которые возникают в капиллярно пористых средах при воздействии на них постоянного электрического поля. В ряде случаев эти методы могут оказаться более эффективными, чем гидравлические.

#### **Электроосмотическое воздействие на призабойную зону нефтяного коллектора.**

Положительный эффект от использования электроосмоса для вытеснения нефти водой по сравнению с гидравлическим вытеснением может наблюдаться тогда, когда нефтяной коллектор является мелкопористым.

Поровая влага представляет собой водный раствор электролита. При этом на границе капилляров образуется двойной электрический слой, диффузионная часть которого состоит, как правило, из положительных ионов-катионов. Концентрация катионов оказывается выше, чем анионов, поэтому при электроосмосе результирующий поток влаги будет направлен от анода к катоду. Одной из особенностей электроосмоса, по сравнению с обычной гидравлической фильтрацией, является иная зависимость скорости движения жидкости от радиуса пор. В наиболее общем случае можно представить две модели распределения двух жидкостей (воды и нефти) в поровом пространстве. В первом случае частицы воды и нефти чередуются друг с другом в поровом пространстве, во втором – две жидкости располагаются параллельно поверхности поры. Тогда в первом случае говорят об электроосмотическом вытеснении при поступлении воды извне в нефтяной пласт, а во втором случае – о совместном электроосмотическом течении двух жидкостей под действием электрического поля [4].

Практическая реализация электроосмотического метода требует существенных затрат электроэнергии. Потребляемая мощность определяется напряжением источника постоянного тока и сопротивлением растеканию между анодным и катодным электродами.

На рис. 1 представлены возможные схемы создания электроосмотического потока к призабойной зоне добывающей скважины, где 1 – источник постоянного тока, 2 – добывающая скважина, 3 – дополнительная скважина, 4 – нефтесодержащий слой, 5 – катодный электрод, 6 – анодный электрод, 7 – изоляционная вставка, 8 – дополнительный поверхностный электрод.

Если источник постоянного тока подключается непосредственно к верхним основаниям скважин, то большая часть тока (соответственно и электрической энергии) расходуется на обработку сло-

ев земли, не содержащих нефти (рис. 1,а). Более экономичным является подключение источника питания к нижним частям скважин с изоляцией последних от основной скважины (рис. 1,б). Использование вместо вспомогательной скважины поверхностного анодного электрода (рис. 1,в) приводит к существенному увеличению сопротивления растеканию и, как следствие, к неоправданно высоким энергозатратам. Минимальных энергозатрат удастся достичь, если подвергать электрообработке не весь нефтяной пласт, а только призабойную зону около добывающей скважины. Кроме того, в добывающей скважине размещается насосное оборудование, поэтому опускать в нижнюю часть добывающей скважины каких-либо электрических кабелей и электродов в большинстве случаев невозможно. Таким образом, наиболее практически реализуемыми и обеспечивающими минимальные энергозатраты являются способы электроосмотической обработки призабойной зоны, представленные на рис.1,г,д. При этом в силу значительно меньшего удельного электрического сопротивления металлической скважины (по сравнению с окружающим грунтом) основание добывающей скважины будет работать как биполярный электрод, вследствие чего достигается существенное снижение сопротивления растеканию между анодным и катодным электродами.

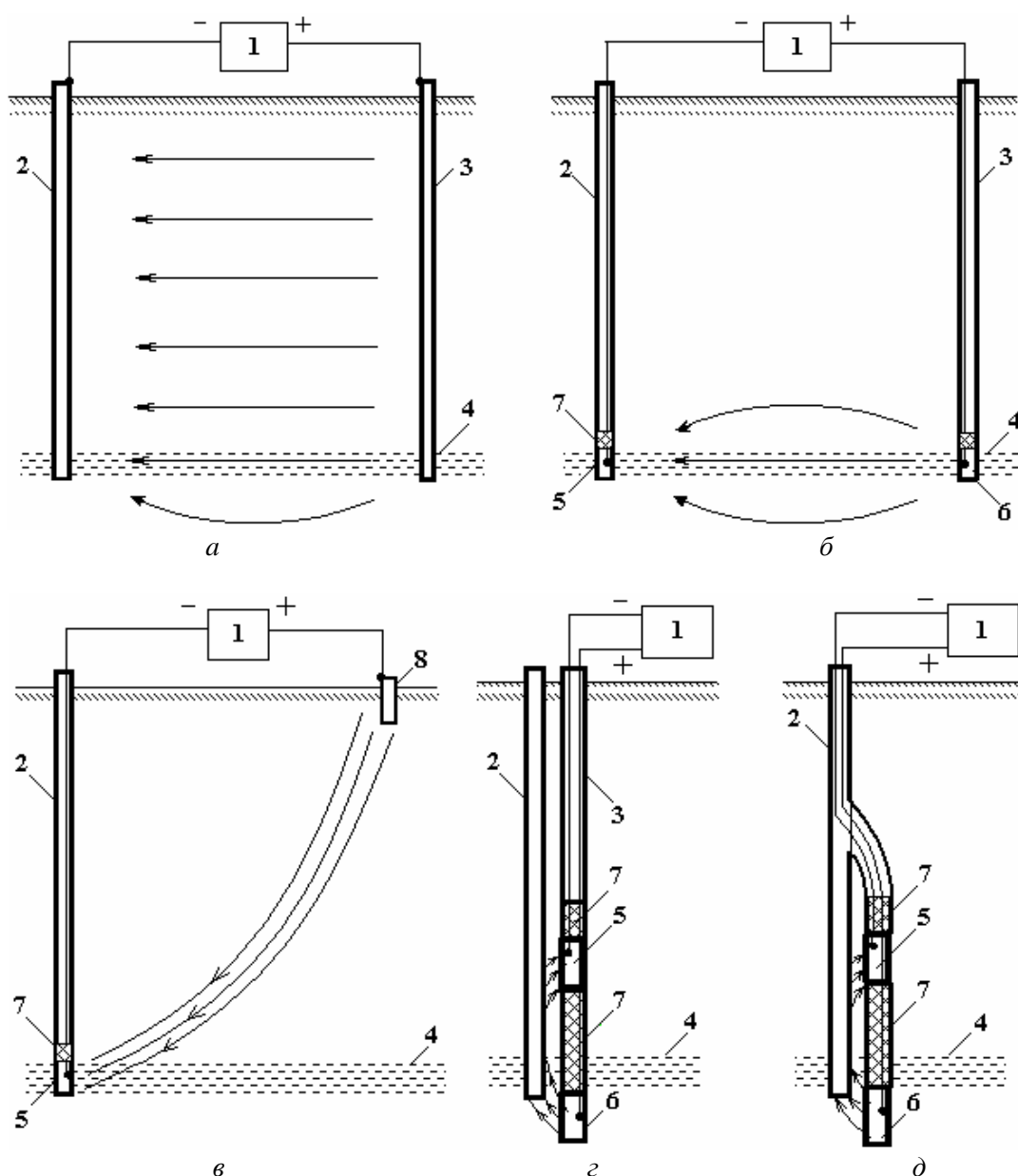


Рис. 1. Схемы подключения источника постоянного тока для создания электроосмотического потока к призабойной зоне добывающей скважины

#### Лабораторный эксперимент

Для обоснования возможности минимизации энергозатрат при реализации электроосмотического метода повышения нефтеотдачи по схемам рис. 1,г,д был выполнен лабораторный эксперимент, результаты которого представлены ниже.

Схема лабораторной установки приведена на рис. 2. В пластмассовом боксе 1 находится 4-слойная среда. Слой *c* – нефтенасыщенная смесь, слои *b* и *d* – глина, слой *a* – парафин. Толщины слоев  $c=15$  см,  $d=5$  см,  $b=10$  см,  $a=1$  см. Перфорированные металлические трубки 2 находились на расстоянии 40 см друг от друга. Анодный и катодный электроды 3 – металлические цилиндры диаметром 4 мм и длиной 10 мм – расположены на расстоянии 5 см от ближней перфорированной трубки. Перфорированные трубки в верхней части закрыты изоляционными пробками 5. Из бака 6 в нефтесодержащий слой поступал 1% раствор поваренной соли 7. Раствор, прошедший через нефтесодержащий слой через патрубок 8, поступал в накопительную емкость 9.

Лабораторный эксперимент проводился в три этапа.

На первом этапе при отключенных ключах  $K_1$  и  $K_2$  из бака 6 через перфорированные трубки 2 через нефтенасыщенный слой *c* фильтровался 1% водной раствор NaCl. При этом из патрубка 8 в бак 9 в течение 10 минут поступал аналогичный прозрачный водной раствор NaCl.

На втором этапе замыкался ключ  $K_1$ , и между электродами протекал ток 100 мА. Через 1,5 минуты после начала электроосмотической обработки начался выход нефти. Через 35 минут источник питания выключался, при этом скорость фильтрации жидкости снизилась примерно в 10 раз, а выход нефти полностью прекратился. Затем источник питания посредством ключа  $K_1$  снова включался, и через 2 минуты скорость фильтрации достигала прежнего значения с одновременным выходом нефти.

На третьем этапе после получасового отключения источника питания напряжение подавалось посредством замыкания ключа  $K_2$  между дополнительными электродами 3, установленными в непосредственной близости от перфорированной металлической трубки 2 (ключ  $K_1$  находился в отключенном состоянии). Одновременно из бака 6 фильтровался водной 1% раствор NaCl. Наблюдалась картина, полностью аналогичная второму этапу лабораторного эксперимента.

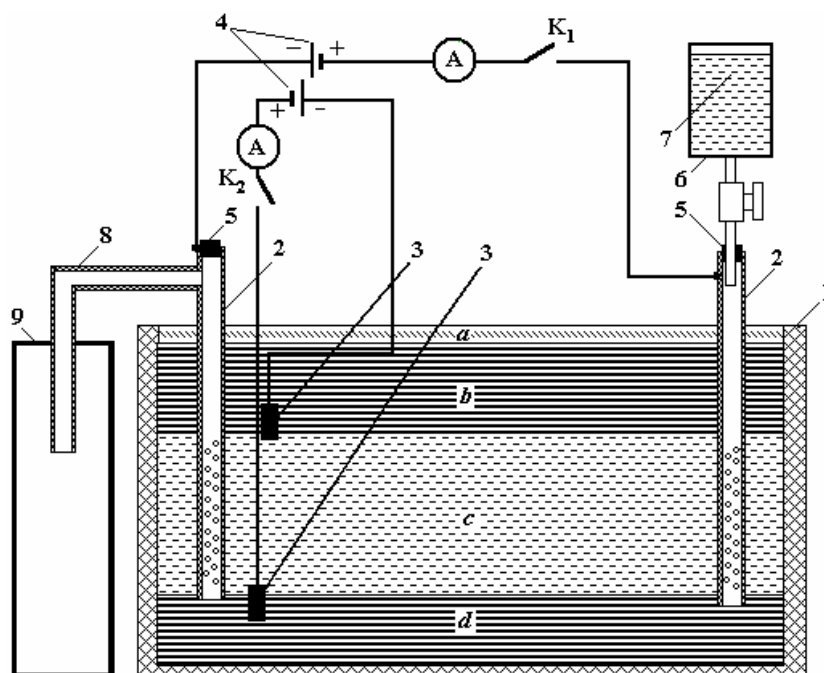


Рис. 2. Схема лабораторной установки

Таким образом, лабораторный эксперимент подтверждает возможность применения электроосмоса для увеличения выхода нефти без использования в качестве электродов самих скважин [16].

## Выводы

1. Применение электроосмотической обработки как нефтяных коллекторов, так и призабойной зоны скважины наиболее целесообразно для мелкопористых нефтесодержащих слоев. В этом случае электроосмотическая фильтрация к добывающей скважине более эффективна, чем гидравлическая.

2. Для минимизации энергозатрат при электроосмотической обработке электроды для создания электроосмотического потока следует располагать непосредственно у добывающей скважины (в призабойной зоне). Последняя в этом случае должна работать как биполярный электрод.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сургучев Л.М. Применение методов повышения нефтеотдачи и перспективы их применения за рубежом // Нефтяное хозяйство. 1987. № 5. 1987. С. 72–76.
2. Амелин И.Д., Андриасов Р.С., Гиматудинов Ш.К. Эксплуатация и технология разработки нефтяных и газовых месторождений. М.: Недра, 1978. 356 с.
3. Дроздов Н.Г. Статическое электричество в промышленности. М.: Госэнергоиздат, 1949. 280 с.
4. Тихомолова К.П. Электроосмос. Л.: Химия, 1989.
5. Авторское свидетельство SU77736, Класс 4а 41, Способ электрофизической обработки нефтяного пласта/ Ганин В.А., Часовников А.С. Оpubл. 13.12.1948.
6. Авторское свидетельство SU899867, МКИ<sup>5</sup> E21В 43/00, Способ эксплуатации гидрогеологической скважины/ Ткаченко Ю.Г, Фазлуллин М.И., Шарапанов Н.Н., Пантелеев В.М., Черняк Г.Я. Оpubл. 23.01.1982. Бюл. № 3.
7. Авторское свидетельство SU1273514, МКИ<sup>5</sup> E21В 43/28, Способ подготовки скважины к эксплуатации/ Абдульманов И.Г., Попов Е.А., Сеяков В.И., Кулаков В.В. Оpubл. 30.11.1986. Бюл. № 44.
8. Авторское свидетельство SU1596112, МКИ<sup>5</sup> E21В 43/25, Способ создания в пласте канала с минерализованной жидкостью/ Носов П.И., Афанасьева О.В., Латыпов М.И., Михайлов А.П. Оpubл. 30.09.1990. Бюл. № 36.
9. Авторское свидетельство SU1670109, МКИ<sup>5</sup> E21В 43/25, Способ освоения пласта/ Кукуруза В.Д., Кукуруза А.Ф. Оpubл. 15.08.1991. Бюл. № 30.
10. Авторское свидетельство SU1694872, МКИ<sup>5</sup> E21В 43/25, Способ разработки нефтяного месторождения/ Хван В.Е. Оpubл. 30.11.1991. Бюл. № 44.
11. Патент WO92/12326, МКИ<sup>5</sup> E21В 43/26, Способ управления проницаемостью призабойной зоны/ Абдульманов И.Г., Попов Е.А., Сеяков В.И., Солодилов Л.Н. Оpubл. 23.07.1992.
12. Патент RU2087682, МКИ<sup>5</sup> E21В 43/25, Способ повышения производительности скважины (варианты) и устройство для осуществления способа/ Колмыков А.Ю., Мамедов В.М. Оpubл. 20.08.1997.
13. Патент RU2163662, МКИ<sup>5</sup> E21В 43/25, Способ воздействия на нефтяной пласт/ Исаев М.К., Касимов Р.Г., Ягудин М.С. Оpubл. 27.02.2001.
14. Патент RU2303692, МКИ<sup>5</sup> E21В 43/16, Электрохимический способ вторичной добычи нефти путем инициирования в ней окислительно-восстановительных реакций/ Уиттл Дж. К., Белл К.У. Оpubл. 08.05.2003. Бюл. № 21.
15. Патент RU2275499, МКИ<sup>5</sup> E21В 43/24, Способ добычи вязкой нефти из пласта/ Балыхин Г.А., Петров Н.В., Воробьев А.Е., Машковцев И.Л., Марко А., Деб С.Н. Оpubл. 27.04.2006. Бюл. № 12.
16. Патент RU 93029463, МКИ<sup>5</sup> E21В 43/00, Способ повышения дебита низкопроницаемых пластов/ Ивлиев Е.А., Иоссель Ю.Я., Липатов В.В., Редькин П.П. Оpubл. 27.05.96. Бюл. 5.

*Поступила 30.07.08*

## Summary

In the article features of secondary oil production with application of electric processing of well bottom zones are considered. Special attention is focused on electroosmotic method. The data of laboratory experiment confirms efficiency of electroosmotic processing of well bottom zones of oil production.