

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СНИЖЕНИЯ СТЕПЕНИ ОБВОДНЕНИЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИН ПРИ ОДНОВРЕМЕННО-РАЗДЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕСКОЛЬКИХ ПРОДУКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ

С.Ф. Максимов
А.Н. Бобров
Е.А. Андреев
И.М. Гришин

maccimov.s@mail.ru
alexbobr@mail.ru
aea-704@mail.ru
maksimgv1327@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Проблема повышения эффективности эксплуатации многопластовых нефтяных скважин вследствие снижения эксплуатационных затрат на добываемую продукцию путем управления временными отборами и интервалами работы скважинного оборудования в зависимости от текущего содержания пластовой воды в составе скважинной жидкости, поступающей одновременно из нескольких продуктивных пластов на забой этих скважин, — в настоящее время весьма актуальна. По результатам проведенных экспериментальных исследований и теоретических проработок получена аналитическая (обобщенная) зависимость удельного электрического сопротивления водонефтяной смеси от изменения указанных воздействий для реальной нефти различных регионов. Предложены технология и устройство управления процессом снижения степени обводнения многопластовых нефтяных скважин, одновременно эксплуатирующих несколько продуктивных пластов залежи методом избирательного дресселирования поступления пластовой воды на забой

Ключевые слова

Нефтедобывающая многопластовая скважина, электрическое сопротивление, электропроводящий флюид, состав флюида, оперативная непрерывная система контроля, степень обводнения нефти, технологические средства управления обводнением нефти

Поступила в редакцию 23.03.2016
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Эксплуатация нефтяных месторождений, как правило, связана с уменьшением пластового давления, что приводит к снижению или даже к прекращению нефтедобычи [1]. Общеизвестные методы возобновления добычи нефти в этом случае основываются на искусственном повышении пластового давления, например, путем закачки в нефтеносный пласт воды под высоким давлением [2]. Оставшееся количество нефти к моменту начала обводнения скважины может составить до 60 % балансовых запасов. Дальнейшая эксплуатация скважины в обводненном режиме может протекать более 15–20 лет, до полной нормативной выработки нефтяной составляющей. При этом запасенное количество добываемой нефти из

таких скважин из-за ограниченного общего запаса нефти в залежи постоянно снижается во времени при сохранении общего количества извлекаемой скважинной жидкости, содержащей как нефть, так и воду.

Однако, как показывают результаты исследований [3] по эксплуатации скважинного оборудования в обводненном режиме, с увеличением доли водной составляющей в скважинной жидкости значительно возрастает износ насосно-компрессорных труб и другого оборудования, например насосов, вентилях, средств измерения. Это приводит к сокращению межремонтного пробега и ресурса работы оборудования в целом.

Проведенные исследования показывают, что по данным нефтяников компании «Юганскнефтегаз», в 2010–2014 гг. в среднем на капитальный ремонт и реконструкцию сборных трубопроводов нефтяных скважин расходовалось 10...20 млн рублей при обводнении скважин ~85 %, а сборный нефтепровод в среднем служил только два-три года. Если же уменьшить обводнение скважины с 85 до 50 %, то срок службы оборудования возрастет до 5 лет, т. е. примерно в 2 раза, что соответствует снижению эксплуатационных затрат на 5...10 млн рублей в год.

Таким образом, разработка технических средств и технологии по снижению или ограничению влияния на эксплуатационные характеристики скважинного оборудования и естественно на стоимость добываемой на промыслах продукции может рассматриваться в качестве критерия технико-экономической эффективности при эксплуатации обводняющейся нефтяной залежи во времени и является целью настоящей работы.

Исследования состава дисперсных рабочих тел проводились разными методами: оптическими, ультразвуковыми, сепарационными, электрофизическими, лазерными и другими, применяемыми в энергетических установках [4–6].

Из перечисленных методов определения характеристик пластового флюида были выбраны электрофизические методы как наиболее просто реализуемые в условиях дисперсных потоков, включая жидкостно-газовые или более сложные по составу среды. Это, по существу, является основой и целью для разработки технических средств и технологии снижения степени обводнения нефтедобывающих скважин при одновременной эксплуатации нескольких продуктивных пластов.

Одним из путей снижения эксплуатационных издержек является использование избирательного дросселирования потока скважинной жидкости [7], что достигается включением оборудования в те моменты времени, когда концентрация воды в скважинной жидкости близка к средней по пласту.

Реализация этого способа добычи делает актуальной задачу непрерывного контроля за составом скважинного флюида и дросселирования расхода скважинной жидкости с учетом результатов данного контроля. Наиболее существенное снижение эксплуатационных издержек данный метод обеспечивает для многопластовых скважин, эксплуатируемых по технологии одновременно раздельного дебита (ОРД):

Цель настоящей работы — обоснование технологии повышения эффективности эксплуатации многопластовых нефтяных скважин за счет снижения эксплуа-

тационных затрат на добываемую продукцию путем управления временными отборами и интервалами работы скважинного оборудования в зависимости от текущего содержания пластовой воды в составе скважинной жидкости, поступающей одновременно из нескольких продуктивных пластов на забой.

Для реализации указанной цели решены следующие задачи:

– проведено экспериментальное исследование электрофизических характеристик водонефтяного потока в функции степени обводнения нефти в широком диапазоне изменения номенклатуры реальной нефти, концентрации солевой составляющей в водонефтяной смеси, температуры, давления и т. п.;

– обоснованы и предложены принципиальные схемные решения системы регулирования для избирательного дросселирования потока скважинной жидкости, основанной на непрерывном контроле величины обводнения нефтяных скважин методом электропроводности.

Ранее выполненная авторами разработка [6, 7] была посвящена исследованию и созданию автоматизированных систем непрерывного пробоотбора на забое, участках подготовки и сдачи продукции.

Однако современные технологии ОРД требуют разработки и создания малогабаритных и надежных систем оперативного непрерывного определения дебета и состава пластового флюида одновременно во всех пластах.

Как показывают результаты выполненных исследований [8], поток жидкости состоит из нефти, минерализованной пластовой воды и попутных газов. Отметим также, что электропроводности указанных скважинных компонентов отличаются на несколько порядков. По данным исследований [9, 10], удельное электрическое сопротивление нефти может составить $10^{11} \dots 10^{15} \text{ Ом} \cdot \text{см}^{-1}$. Указанный параметр для пластовой воды составляет от 1 до $10 \text{ Ом} \cdot \text{см}^{-1}$.

Для экспериментального исследования электропроводности водонефтяной эмульсии был создан модельный рабочий участок, представленный на рис. 1.

Рабочий участок состоит из смесителя жидкостей и встроенной в него электродной ячейки с верхним № 1 и нижним № 2 электродами. Для визуализации процесса смешения жидкостей участок между электродами расположен в прозрачном цилиндре из кварцевого стекла. Через электроды пропускается переменный ток частотой от 50 до 2000 Гц и напряжением до 200 В. Температура жидкости измерялась хромель-алюмелевой термопарой, установленной в нижней пробке.

Методика определения удельной электропроводности эмульгированной водонефтяной смеси была заимствована из работы [10]. Она предполагает измерение сопротивления межэлектродного участка электродной ячейки и последующий расчет удельной электропроводности χ по уравнению

$$\chi = k/R, \quad (1)$$

где R — замеренное сопротивление ячейки; k — константа ячейки, определяется по стандартному раствору, удельная электропроводность которого заранее известна (например, водный раствор NaCl).

Значение измеряемого сопротивления рассчитывалось по уравнению

$$R_{я} = \frac{R_2 R_3}{R_1}. \quad (2)$$

Удельное сопротивление смеси жидкостей определялось по формуле

$$\rho_{см} = R_{я} S_{я} / L_{я}, \quad (3)$$

где $R_{я}$ — экспериментальное значение сопротивления жидкости в объеме электродной ячейки;

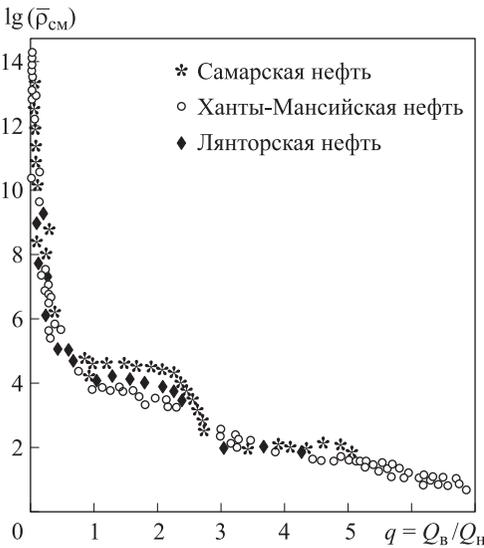
$$S_{я} = 0,785 D_э^2 \quad (4)$$

— площадь поперечного сечения электрода в ячейке; $L_{я}$ — расстояние между электродами; $D_э$ — диаметр поверхности плоского электрода.

Относительное объемное водосодержание нефти в электродной ячейке задавалось заранее и обеспечивалось порционной заливкой в ячейку нефти Q_n и воды Q_v при соблюдении постоянства внутреннего объема ячейки $Q_{я} = 1 \text{ см}^3 = \text{const}$:

$$Q_{я} = Q_n + Q_v. \quad (5)$$

После заправки и тщательного перемешивания в микромиксере (см. рис. 2)



нефти и воды измеряли ток между электродами ячейки. По результатам этих измерений рассчитывалась удельная проводимость по формуле (3) и была получена экспериментальная зависимость удельной электропроводности от объемного водосодержания нефти в смеси, близкая к гиперболической (рис. 3).

По результатам эксперимента получено, что удельное электрическое сопротивление водонефтяной смеси (Лянторской, Ханты-Мансийской, Самарской и др.) при одинаковой концентрации воды в ее составе близко по величине и может быть описано следующим уравнением:

$$\bar{\rho} = \frac{\rho}{\rho_0} = A e^{-q/B}, \quad (6)$$

где ρ, ρ_0 — удельное сопротивление пластовой воды и нефти; $\bar{q} = Q_v/Q_n$ — относительное объемное содержание воды в нефти (степень обводнения); $A = 0,96 \dots 1,1$ — коэффициент, зависящий от вязкости нефти; B — масштабный коэффициент.

Характерное изменение экспериментальной зависимости, наблюдаемое в области $\bar{q} = 2,5-3,5$, можно объяснить явлением обращения фаз в дисперсных жидкостях, когда электрическая проводимость смеси жидкостей может значительно изменяться [10, 11].

Присутствие в составе водонефтяной эмульсии дополнительно газов (под характерным на забое скважин давлением) может увеличить расхождение теории и эксперимента. Для исследования влияния этих факторов авторами был разработан стендовый рабочий участок (рис. 4), позволяющий проводить исследования электропроводности водонефтяной эмульсии при повышенных давлении и температуре. Участок состоит из корпуса 1 с фрезерованными канавками 2, измерительной ячейки в виде камеры высокого давления и температуры из электроизоляционного материала, армированного металлом по наружной поверхности 3, неподвижного 4 и подвижного 5 электродов с кольцевыми уплотнениями 6. Для создания давления в ячейке имеется силовой механизм из пружины 7 с винтом 8 и фиксирующей гайки 9.

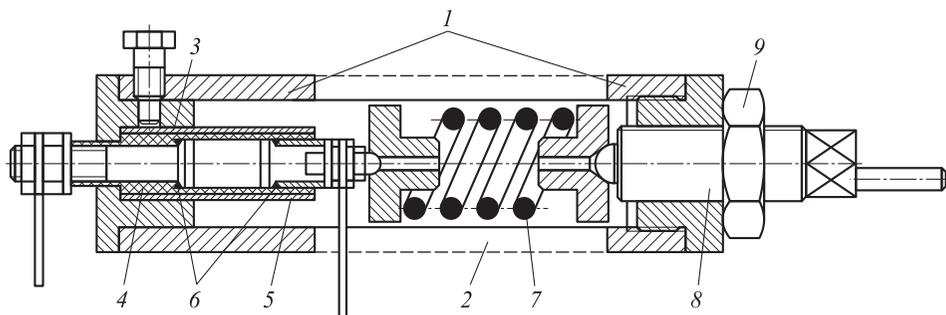


Рис. 4. Конструкция рабочего участка для экспериментального исследования электропроводности нефтеводяной эмульсии при повышенных давлении и температуре

Для обеспечения интенсивного перемешивания воды и нефти в измерительной ячейке данный участок устанавливается на подвижную раму, которая совершает возвратно поступательные (колебательные) движения с регулируемой частотой и амплитудой.

Газовую фазу нефтяной фракции моделировали углекислым газом, хорошо растворимым в воде. Испытания смеси газонасыщенной минерализованной воды и нефти показали, что электрическое сопротивление эмульсии существенно зависит от давления. Так, при давлении в ячейке свыше 2...3 МПа электропроводность эмульгированной смеси начинала возрастать и при давлении 5...8 МПа приближалась к уровню негасонасыщенной смеси нефти и воды. Подогрев смеси до 493...543 К уменьшал электрическую проводимость на 3...6 %.

На базе полученных данных был разработан модельный опытный образец устройства системы регулирования для избирательного дросселирования потока скважинной жидкости, основанный на непрерывном контроле величины обводнения нефтяных скважин методом электропроводности, представленный на рис. 5.

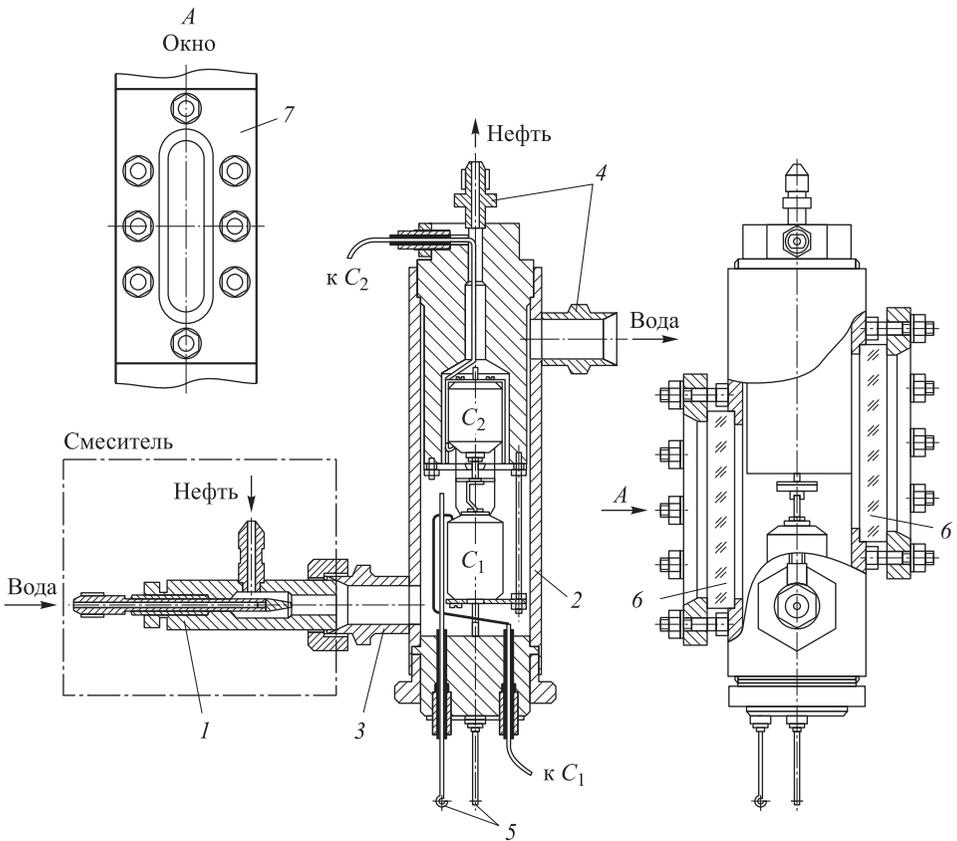


Рис. 5. Конструкция модели опытного образца технологического средства уменьшения обводнения продуктивного отбора нефти

В основу конструкции положено: устройство 1 в виде струйного эжекторного смесителя или диспергатора для перемешивания или разделения составляющих дисперсного потока, клапанных устройств ЭК1 и ЭК2 (см. схему рис. 5) для снижения и поддержания на требуемом уровне обводненности нефтяной составляющей. Это обеспечивается посредством зашитой в память электронного контроллера кривой зависимости электропроводности водонефтяной смеси от относительного водосодержания (см. рис. 3). Устройство (см. рис. 5) включает в себя также: корпус 2 высокого давления с подводщими 3 и отводящими 4 жидкость штуцерами, кабельные линии для соединения с электрическими датчиками проводимости 5 электронного блока (см. рис. 5) и системы электропитания клапанных устройств.

Для визуализации процесса разделения нефти и воды предусмотрены прозрачные окна с броневыми герметичными стеклами 6 с силовыми фланцами 7.

Значительные отличия электропроводности нефти и пластовой воды (на десять порядков) позволяют достаточно точно оценить концентрацию водной составляющей в смеси и определить структуру электронной части устройства управления, которое может быть выполнено по упрощенной релейной схеме, приведенной на рис. 6.

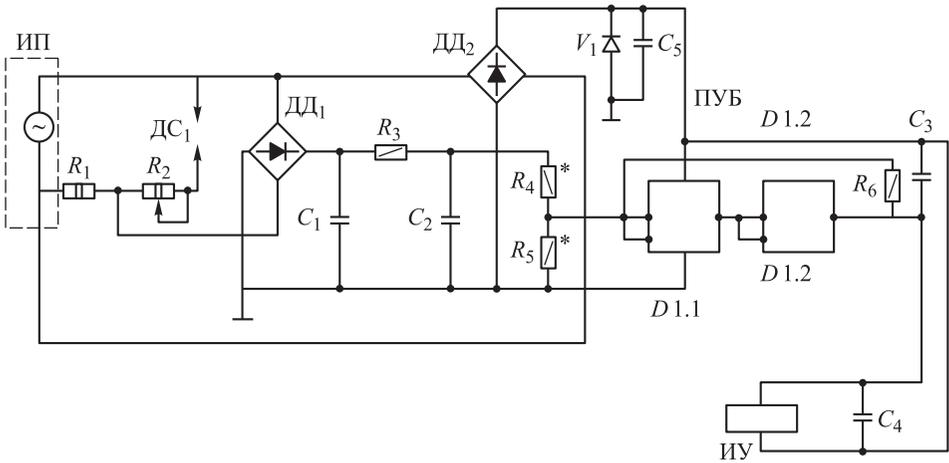


Рис. 6. Принципиальная схема электронного контроллера управлением клапанных устройств

В соответствии со схемой устройство состоит из источника питания (ИП), преобразовательного усилительного блока (ПУБ). Нагрузкой ПУБ является исполнительное устройство в виде промежуточного реле или соленоидного клапана, регулирующего расходы жидкостей. Резисторы R_1 и R_2 образуют делитель, напряжение которого на выходе зависит от межэлектродного тока датчика (ДС₁).

Выпрямленное диодным мостом (ДД₁) постоянное напряжение поступает на триггерный вход микросхемы 155ЛА3, где в зависимости от тока между электродами (параметров водонефтяной смеси) усилительно-согласующего устройства (УСУ) будет включено или выключено.

В зависимости от значения указанного напряжения триггер Шмитта будет находиться в одном из двух состояний. Вторая половина интегральной микросхемы выполняет роль УСУ, определяющего гистерезис и точность поддержания величины обводнения нефти. В целях экспериментального подтверждения возможности создания опытного образца системы снижения водосодержания в смесевом и чередующихся нефтеводяных потоках был создан стенд, электропневмогидравлическая схема (ЭПГС) которого приведена на рис. 7.

В стенде использовалась вытеснительная система подачи жидкостей компримированным воздухом, аналогично применяемым в ЖРД [11], стенд состоит из емкостей E_1 и E_2 для размещения нефти и воды с подогревателями H_1 и H_2 и уровнемерами $УР_1$ и $УР_2$.

Нефть и вода из емкостей E_1 и E_2 вытеснялись в опытный образец сжатым воздухом высокого давления. Величина давления во внутренней полости образца регулировалась с помощью редуктора P_1 и контролировалась с помощью датчика давления M_1 . Посредством электропневмоклапана ЭК₁ (дистанционно) осуществлялась отсечка воздуха от емкостей H_1 и H_2 при внезапном повышении давления внутри опытного образца. Уровнемеры $УР_1$ и $УР_2$ обеспечивали измерение объемных расходов из емкостей в опытный образец. Дозировка

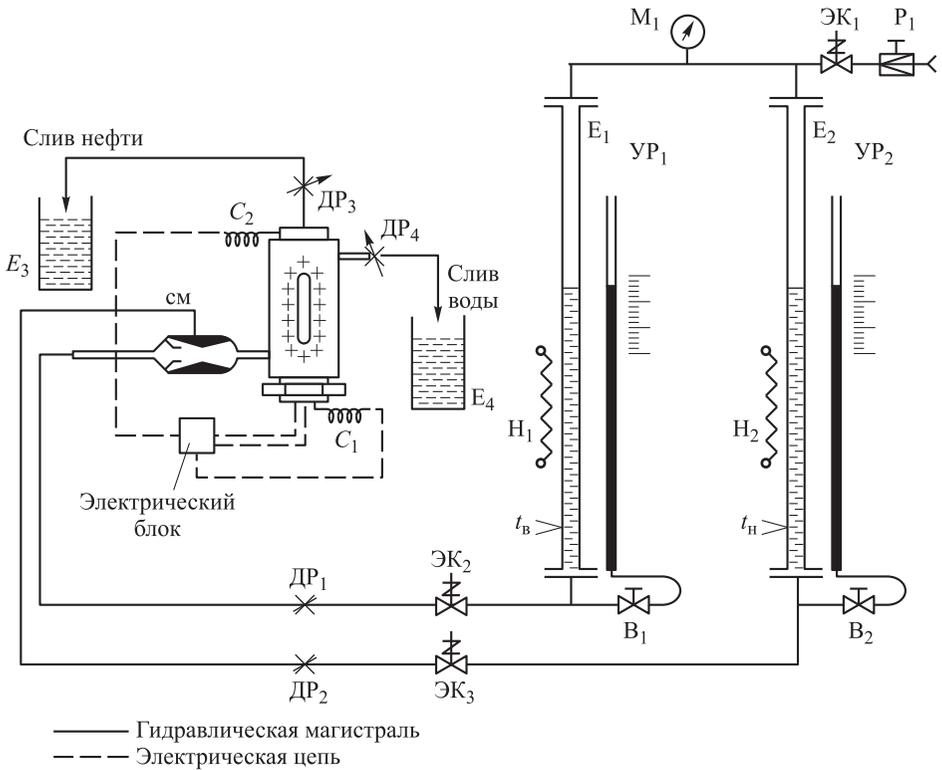


Рис. 7. Электропневмогидравлическая схема стенда для проведения испытаний модельного образца технологического устройства для снижения обводнения добываемой нефти

нефти и воды обеспечивалась посредством дроссельных устройств ДР₁ и ДР₂. Электронный контроллер и ПК обеспечивали контроль за составом смеси и поддерживали установленный предел обводнения посредством встроенных клапанов, управляемых соленоидами С₁ и С₂.

Вентили В₁ и В₂ разобщали емкости Е₁ и Е₂ от уровнемеров жидкостей УР₁ и УР₂ во время испытаний. Испытания опытного образца проводились на следующих режимах:

Максимальное давление во внутренней полости образца, МПа	10,0 ± 0,5
Температура водонефтяной смеси, К	293–400
Массовый расход смеси, г/с	4–40
Диапазон избытка воды, %	0–90

В результате испытаний опытного образца системы технологических средств снижения обводнения нефтедобывающих скважин на модельном стенде подтверждено, что устройство обеспечивало снижение обводнения нефтяной составляющей на входе от 20...30 % до 2...5 % на выходе и поддержание заданной степени обводнения в диапазоне 10...80 % с точностью ± 2 %.

В соответствии с обозначенными задачами для обоснования технологического аспекта управления скважинных потоков авторами был принят технико-экономический метод.

Графическая интерпретация этого метода приведена на рис. 8 в виде теоретической зависимости удельных затрат (Z , %) от степени обводнения отбираемой из скважины жидкости (q , %). На этом же рисунке представлены аналитические зависимости, характеризующие удельные затраты на единицу добываемой продукции скважины от величины ее обводненности (кривая 1) и отдельно по пластам (кривые 2). Семейство кривых 2 отличается величиной дебита нефти ($Q_1 > Q_2 > Q_3 > Q_4$) таким образом, что чем больше дебит, тем ниже удельные эксплуатационные затраты. Область под кривой 1 по существу является областью минимальных затрат при эксплуатации обводненной скважины. Точки пересечения кривых 2 с кривой 1 соответствуют максимально допустимым значениям обводненности для каждого пласта.

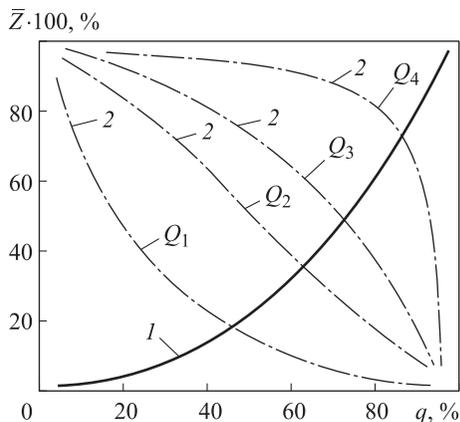


Рис. 8. Зависимость удельных затрат от степени обводнения отбираемой из скважины жидкости

Эффективность эксплуатации нефтяных скважин с многопластовой неоднородной структурой можно повысить, обеспечив оптимальный режим эксплуатации за счет избирательного дросселирования добываемой продукции из каждого пласта, осуществляемого по дифференцированным критериям их обводненности в зависимости от значения удельной проводимости. Контролируют обводненность продукции скважины путем постоянного одновременного измерения ее текущих значений для каждого продуктивного пласта индивидуально.

В процессе этого контроля фиксируют пласты со значением обводненности, не соответствующим оптимальным значениям для каждого пласта, определяемым из условия минимизации удельных затрат на добываемую из каждого упомянутого пласта обводненную продукцию. Величину отбора из указанных пластов изменяют до исключения рассогласования текущих значений обводненности с допустимым значением.

Рассмотренный и предложенный авторами технологический процесс регулирования поступления воды в нефтяную скважину из каждого продуктивного пласта многопластовой залежи позволяет повысить эффективность ее эксплуатации и снизить стоимость добываемой продукции.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Разработана технологическая основа процесса управления водонасыщением обводняющихся нефтесодержащих скважин при одновременном дифференцированном независимом измерении параметра обводненности одновременно в нескольких продуктивных пластах с использованием электрофизических характеристик скважинного флюида.

2. Получена экспериментальная зависимость, позволяющая описать связь относительного удельного сопротивления пластовой воды с относительным объемным ее содержанием $\bar{\rho} = Ae^{-q/B}$, проверенная для нефти из Лянторского, Ханты-Мансийского, Самарского и ряда других месторождений.

3. Научная новизна и практическая ценность разработки состоит в том, что получена аналитическая (обобщенная) зависимость удельного электрического сопротивления водонефтяной смеси (для реальной нефти различных регионов), позволяющая реализовать более совершенную и продуктивную технологию менее затратной эксплуатации обводненных нефтяных скважин.

4. На основе полученных теоретических и экспериментальных результатов разработан и испытан на стенде опытный образец модели технологического оборудования для оптимального регулирования обводнения многопластовых нефтяных скважин. Результатами этих испытаний подтверждена правомерность заложенной в основу технологии управления обводнением нефтяных скважин с использованием электрофизических свойств отбираемой из них жидкости.

5. На базе результатов проведенных авторами исследований предполагается дальнейшая практическая реализация опытного промышленного образца забойной установки регулирования обводнения нефтяных скважин [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Арбузов В.Н. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин. Томск: Изд-во ТПУ, 2011. 198 с.
2. Барышников А.В. Обоснование технологии разработки многопластовых объектов с применением оборудования для одновременно-раздельной закачки воды (на примере лицензионной территории Приобского нефтяного месторождения). Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2011. 18 с.
3. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти. М.: Изд-во «Нефть и газ» РГУ им. И.М. Губкина, 2007. 816 с.
4. Максимов С.Ф., Бобров А.Н., Андреев Е.А. Эффективность применения сепарирующих устройств в энергетических установках на металлизированных топливах // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. Вып. 4. DOI: 10.18698/2308-6033-2013-4-703
URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/703.html>
5. Максимов С.Ф., Бобров А.Н., Петерс Е.Я. Повышение энергетической эффективности комбинированных ракетных двигателей на гибридных разнофазных топливах // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2012. Спец. вып. № 7. С. 19–28.
6. Максимов С.Ф., Бобров А.Н., Андреев Е.А. Разработка систем оперативного контроля характеристик фильтрационных потоков нефтяных скважин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2015. № 12. С. 62–70. DOI: 10.18698/0536-1044-2015-12-62-70

7. Соколовский Э.В., Максимов С.Ф. Патент РФ № 32191. Устройство для регулирования отбора жидкости в процессе эксплуатации скважины. Полезная модель. Опубл. 10.09.2003.
8. Косарев В.Е. Контроль за разработкой нефтяных и газовых месторождений. Казань: КГУ, 2009. 145 с.
9. Комаров В.А. О средней электропроводности смеси с включениями, обладающими поверхностной проводимостью // Вопросы геофизики. 2004. Вып. 37. С. 63–75.
10. Бурдынь Т.А., Закс Ю.Б. Химия нефти, газа и пластовой воды. М.: Наука, 2005. 232 с.
11. Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. М.: Машиностроение, 2015. 464 с.

Максимов Сергей Федорович — канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник НИИ энергетического машиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Бобров Александр Николаевич — канд. техн. наук, доцент кафедры «Ракетные двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Андреев Евгений Александрович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Ракетные двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Гришин Илья Максимович — студент кафедры «Ракетные двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Максимов С.Ф., Бобров А.Н., Андреев Е.А., Гришин И.М. Экспериментально-теоретическое обоснование и разработка технологических средств снижения степени обводнения нефтедобывающих скважин при одновременно-раздельной эксплуатации нескольких продуктивных объектов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2017. № 1. С. 48–61. DOI: 10.18698/0236-3941-2017-1-48-61

EXPERIMENTALLY-THEORETICAL SUBSTANTIATION AND DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL FACILITIES FOR REDUCING OIL WELLS FLOODING IN SIMULTANEOUS AND SEPARATE EXPLOITATION OF SEVERAL LODES

S.F. Maksimov
A.N. Bobrov
E.A. Andreev
I.M. Grishin

maccimov.s@mail.ru
alexbobr@mail.ru
aea-704@mail.ru
maksimgv1327@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

Nowadays there arises a very important problem of improving the operation efficiency of the multilayer oil wells resulted from the reduction of operating costs by means of controlling the time of selection and intervals of the well equipment operation, depending on the current content of the produced water in the composition of the borehole fluid coming simultaneously from several payout beds onto the bottomhole of these wells.

Keywords

Oil-producing multi-layer well, electric resistance, electrically conductive fluid, the fluid composition, continuous operational control system, oil flooding degree, technological oil flooding control facilities

According to the results of experimental research and theoretical elaborations, we obtained an analytical (generalized) dependence of the electrical resistance of the oil-water mixture for the real oil of different regions in a wide range of these impacts changes. We developed a technology and tested on the bench the prototype model of the device controlling the flooding reduction process in multilayer oil wells which are simultaneously exploiting several payout beds. We used a method of selective throttling of formation water entering the bottomhole

REFERENCES

- [1] Arbuzov V.N. *Ekspluatatsiya neftnykh i gazovykh skvazhin* [Oil and gas wells exploitation]. Tomsk, TPU Publ., 2011. 198 p.
- [2] Baryshnikov A.V. *Obosnovanie tekhnologii razrabotki mnogoplastovykh ob'ektov s primeneniem oborudovaniya dlya odnovremenno-razdel'noy zakachki vody (na primere litsenzionnoy territorii Priobskogo neftyanogo mestorozhdeniya): avtoref. diss. kand. tekhn. nauk* [Reservoir engineering validation for multi zone objects using dual water flood equipment (using the example of oil-field licensed territory by Ob): Abstract kand. tech. sci. diss.]. Sankt-Peterburg, 2011. 18 p.
- [3] Mishchenko I.T. *Skvazhinnaya dobycha nefi* [Borehole oil production]. Moscow, «Nef't i gaz» Publ. of Gubkin RGU, 2007. 816 p.
- [4] Maksimov S.F., Bobrov A.N., Andreev E.A. Operating efficiency of separating devices in the power plants which use metallized fuels. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2013, no. 4 (in Russ.). DOI: 10.18698/2308-6033-2013-4-703 Available at: <http://engjournal.ru/eng/catalog/machin/rocket/703.html>
- [5] Maksimov S.F., Bobrov A.N., Peters E.Ya. Povyshenie energeticheskoy effektivnosti kombinirovannykh raketnykh dvigateley na gibridnykh raznofaznykh toplivakh. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinost.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2012, spec. no. 7, pp. 19–28 (in Russ.).
- [6] Maksimov S.F., Bobrov A.N., Andreev E.A. Development of operational control systems of filtration flow characteristics in oil wells. *Izvestiya VUZov. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building], 2015, no. 12, pp. 62–70 (in Russ.). DOI: 10.18698/0536-1044-2015-12-62-70
- [7] Sokolovskiy E.V., Maksimov S.F. Patent RF 32191. *Ustroystvo dlya regulirovaniya otbora zhidkosti v protsesse ekspluatatsii skvazhiny* [Device for fluid withdrawal regulation in oilwell exploitation process]. Publ. 10.09.2003.
- [8] Kosarev V.E. *Kontrol' za razrabotkoy neftnykh i gazovykh mestorozhdeniy* [Control on oil and gas field development]. Kazan', KGU Publ., 2009. 145 p.
- [9] Komarov V.A., Kaminskiy A.E. On average conductivity of mixture with inclusions with surface conductivity. *Voprosy geofiziki*, 2004, no. 37, pp. 63–75 (in Russ.).
- [10] Burdyn' T.A., Zaks Yu.B. *Khimiya nefi, gaza i plastovoy vody* [Oil, gas oil-and field water chemistry]. Moscow, Nauka Publ., 2005. 232 p.
- [11] Dobrovolskiy M.V. *Zhidkostnye raketnye dvigateli* [Liquid rocket engines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2015. 464 p.

Maksimov S.F. — Cand. Sci. (Eng.), Leading Research Scientist, Research Institute of Power Engineering, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Bobrov A.N. — Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Professor of Rocket Engines Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Andreev E.A. — Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Professor of Rocket Engines Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Grishin I.M. — student of Rocket Engines Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Maksimov S.F., Bobrov A.N., Andreev E.A., Grishin I.M. Experimentally-Theoretical Substantiation and Development of Technological Facilities for Reducing Oil Wells Flooding in Simultaneous and Separate Exploitation of Several Lodes. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinost.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2017, no. 1, pp. 48–61. DOI: 10.18698/0236-3941-2017-1-48-61



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышло в свет учебное пособие
автора **Л.Н. Лысенко**

«Наведение баллистических ракет»

Изложены научные и методологические основы наведения баллистических ракет. Рассмотрены вопросы программирования движения (задачи наведения) и информационно-навигационного обеспечения управления (задачи навигации), а также проблемы определения точности стрельбы (задачи оценки точности возмущенного движения). Показаны направления решений соответствующих задач при создании ракетных комплексов тактического, оперативно-тактического и стратегического назначения, возможные пути совершенствования баллистико-навигационного обеспечения полета ракет указанных классов.

Содержание пособия соответствует курсу лекций, читаемых в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов технических вузов, слушателей военных академий, а также аспирантов, инженеров и научных работников, специализирующихся в области баллистики, динамики полета и управления движением летательных аппаратов.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
+7 (499) 263-60-45
press@bmstu.ru
www.baumanpress.ru