

9. Арсланов И. Г., Хабибуллин М. Я. Расчеты в теоретической и прикладной механике. – Уфа, 2016.
10. Желтов Ю. Н. Механика нефтегазоносного пласта. – М.: Недра, 1975. – 216 с.
11. Кузнецов О. Л., Ефимова С. А. Применение ультразвука в нефтяной промышленности. – М.: Недра, 1983. – 192 с.
12. Янтурин А. Ш., Рахимкулов Р. Ш., Кагарманов Н. Ф. Выбор частот при вибрационном воздействии на призабойную зону пласта // Нефтяное хозяйство. – 1986. – № 12. – С. 40–42.
13. Патент на изобретение RUS 2198288 12.10.1999. Способ закачки жидкости в нагнетательные скважины и устройство для его осуществления // Султанов Б. З., Тухтеев Р. М., Хабибуллин М. Я., Туйгунов М. Р.; заявл. 12.10.99; опубл. 10.02.03.
14. Хабибуллин М. Я., Шангареев Р. Р. Исследование процессов влияния давления и частоты импульсов на проницаемость жидкости в песчаных образцах // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2016. – № 4. – С. 120–125.

Сведения об авторах

Хабибуллин Марат Яхиевич, к. т. н., доцент кафедры нефтепромысловых машин и оборудования, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Октябрьский, тел. 89177414994, e-mail: m-hab@mail.ru

Сулейманов Рустэм Исхакович, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой нефтепромысловых машин и оборудования, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Октябрьский, тел. 8(34767)65401, e-mail: rustamsul@rambler.ru

Галимуллин Миниварис Лутфуллинович, к. т. н., доцент кафедры нефтепромысловых машин и оборудования, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Октябрьский

Сидоркин Дмитрий Иванович, к. т. н., доцент кафедры нефтепромысловых машин и оборудования, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Октябрьский

Information about the authors

Habibullin M. Ya., Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Oil Field Machinery and Equipment, Oktyabrsky Branch of Ufa State Petroleum Technical University, phone: 89177414994, e-mail: m-hab@mail.ru

Suleymanov R. I., Candidate of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Oil Field Machinery and Equipment, Oktyabrsky Branch of Ufa State Petroleum Technical University, phone: 8(34767)65401, e-mail: rustamsul@rambler.ru

Galimullin M. L., Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Oil Field Machinery and Equipment, Oktyabrsky Branch of Ufa State Petroleum Technological University

Sidorkin D. I., Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Oil Field Machinery and Equipment, Oktyabrsky Branch of Ufa State Petroleum Technological University

УДК 622.323

ИННОВАЦИИ И РЕНОВАЦИИ СПОСОБА УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ АКУСТИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

INNOVATIONS AND RENOVATIONS OF ENHANCED OIL RECOVERY BY ACOUSTIC FIELDS

Н. В. Шаталова

N. V. Shatalova

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Ключевые слова: методы увеличения нефтеотдачи; акустический преобразователь; коагуляция; стоячие волны

Key words: enhanced oil recovery methods; acoustic transducer; coagulation; standing waves

Введение

Текущее состояние сырьевой базы нефтяной промышленности характеризуется тем, что большая часть ее ресурсов сосредоточена в продуктивных объектах поздней стадии эксплуатации, когда запасы углеводородов переходят в разряд трудно-извлекаемых. Тенденция осложнения процессов разработки охватила большинство месторождений Западной Сибири — Самотлорское, Комсомольское, Приобское, Тарасовское, Барсуковское, Западно-Пурпейское, Южно-Харампурское, Хохряковское, Южно-Охтеурское [1]. Массовое применение гидроразрыва пласта (ГРП) усугубило проблему нефтедобычи: эффект увеличения нефтеотдачи сопровождается быстрым ростом обводненности месторождений и загрязнением призабойных зон скважин кольматантом сложного состава, что приводит к нивелированию результата от реализации гидроразрыва.

В практике нефтегазового дела применяются разнообразные методы воздействия на обводненные нефтяные пласты и призабойную зону пласта (ПЗП) для интенсификации нефтедобычи, однако степень их эффективности очерчена конкретными геологическими и технологическими условиями разработки. Актуальным становится процесс комбинирования элементов существующих традиционных методов увеличения нефтеотдачи (МУН) и перспективных способов водоизоляции, разработанных с привлечением технических достижений смежных наук, в частности акустической теории.

Объекты и методы

Акустические или волновые методы интенсификации добычи нефти с применением различных устройств, генерирующих колебания широкого спектра частот, наиболее перспективны по физическому воздействию и одновременно экологически безопасны. Недостатками внедренных акустических технологий являются высокая стоимость мобильного комплекта оборудования для осуществления воздействия, низкий коэффициент полезного действия акустических генераторов, обусловленный поглощением звуковых колебаний в волноводах насосно-компрессорных труб (НКТ) или высокими электрическими потерями в длинном кабеле. Следовательно, эффективность звукового воздействия может быть повышена приближением источника звука к объекту воздействия — ПЗП, что снизит затраты на конструкцию генератора.

В технологиях водоизоляционных работ используются полимерные материалы с формированием гелеобразующей субстанции. Отсутствие мгновенного эффекта гелеобразования приводит к неуправляемому продвижению композиции в нефтяном пласте и большому расходу реагента. Необходима технология, снижающая затраты расходного материала и увеличивающая рентабельность процесса ограничения водопритоков и нефтедобычи.

Способы воздействия на призабойную зону скважин и пласт волновыми полями различной природы применяются с 1960-х годов. Приоритет в теоретических, экспериментальных, промысловых исследованиях по обоснованию методов и конструкторские работы в этом направлении принадлежат российским разработкам Института физики Земли, Института проблем нефти и газа РАН, РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, ОАО «Элсиб» (НПО «Союзнефтеотдача»), ВНИИнефти и т. д. [2].

Способ селективной водоизоляции с применением стоячих звуковых волн, направленный на решение указанных проблем, разработан и теоретически обоснован в Тюменском индустриальном университете.

Фундаментальные труды в области гидродинамики, общей акустики, касающиеся физических аспектов применения ультразвука в науке и технике, принадлежат Л. Бергману, Д. А. Гершалу, И. П. Голяминой, М. А. Исаковичу, Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшицу, В. М. Фридману, Е. Я. Юдину.

Вопросы разработки сложнопостроенных месторождений вязкой нефти, увеличения нефтеотдачи путем внедрения вторичных и третичных МУН и их комбинаций освещены в трудах А. А. Газизова, С. И. Грачева, Ю. В. Желтова, В. И. Кудинова, Г. Е. Малофеева, М. С. Муллакаева, М. Л. Сургучева.

Актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса России с учетом его состояния, оценка эффективности методов решения этих проблем представлены в работах Л. К. Алтуниной, С. Н. Бастрикова, А. А. Броксермана, А. Ш. Газизова, С. А. Жданова, Р. Р. Ибатуллина, В. И. Кузнецова, Р. Х. Муслимова, В. М. Ревенко, В. А. Попова.

Экспериментальное исследование волновых процессов, теоретическое обоснование их применения описаны российскими учеными Д. В. Баженовым, О. Р. Ганиевым, Р. Ф. Ганиевым, Р. Н. Гатауллиным, А. А. Губайдуллиным, В. В. Дрягиным, А. П. Дубенем, О. Е. Ефремовой, О. Л. Кузнецовым, Т. С. Кудриной,

А. Д. Лапиным, Е. А. Марфиным, Д. Р. Сафиуллиным, А. М. Сваловым, А. В. Римским-Корсаковым.

Вклад зарубежных ученых в теорию и практику волнового поля представлен трудами О. Брандта, С. А. Бьеркнеса, Р. Кёнига, А. Кундта, Дж. У. Стретта, Е. Хиденмана.

Нормативная база исследований представлена руководящими документами Главтюменнефтегаза, регламентирующими применение способов по выравниванию фронта нагнетаемой воды и регулированию выработки пластов за счет циклического заводнения и перемены направления фильтрационных потоков, а также определяющими применение системной технологии воздействия на нефтяные пласты.

Волновые технологии сохранения и восстановления коллекторских характеристик пласта, исследование технологий упругого волнового воздействия для интенсификации притока на месторождениях высоковязкой нефти, освоение скважин методом инфракрасно-волнового воздействия на ПЗП, особенности применения ультразвукового воздействия на пласт на месторождениях Нижневартовского, Ноябрьского регионов, НГДУ «СтрежевойНЕФТЬ», Тимано-Печорской нефтегазодобывающей провинции, Ромашкинском, Самотлорском, Хохряковском месторождениях описаны в работах В. О. Абрамова, Т. К. Апасова, Г. Т. Апасова, С. Б. Бекетова, С. Г. Вольпина, В. П. Ганяева, Р. Н. Гатауллина, С. И. Грачева, А. И. Гурьянова, В. П. Дыбленко, А. В. Каракетова, Г. С. Дубинского, Ю. С. Кузнецова, В. Б. Мельникова, М. С. Муллакаева, В. Г. Умняева, А. Р. Хафизова, И. А. Чиркина, Р. Я. Шарифуллина, Ю. В. Шульева, А. А. Щербакова, А. Л. Яковлева.

Вопросы применения стоячих звуковых волн с целью интенсификации нефтедобычи и для выравнивания фронта заводнения нефтяного пласта отражены в трудах Х. Н. Музипова

Анализ степени разработанности области исследования позволяет сделать вывод об актуальности теоретического обоснования, экспериментального исследования и практического применения технологии акустического воздействия на нефтяной пласт стоячими звуковыми волнами для решения проблем в осложненных условиях разработки.

Исследования, проводящиеся в Тюменском индустриальном университете, основаны на инновационных идеях и технологиях академика РАН Ю. А. Савиных [3]. Разработки последних 15 лет стали их обновлением, модификациями. Реновации технологий и методов связаны с получением акустических колебаний из шумов добывающей скважины с помощью режекторных фильтров и завершены оценкой влияния звуковых волн в ПЗП на частицы газовых глобул и твердых материалов, выносимых из пласта. Результаты этих работ нашли практическое применение в технологиях акустического газлифта, уменьшения механических примесей в добываемой продукции, предотвращения отложения парафина и снижения вибраций электроцентробежного насоса (ЭЦН) в добывающей скважине [4].

Эффект защиты ЭЦН основан на задержке твердых частиц в призабойной зоне воздействием на них стоячей звуковой волной. В акустическом поле стоячих волн взвешенные частицы начинают двигаться, между ними возникает взаимодействие в виде сил притяжения и отталкивания. Притяжение частиц вызывает явление коагуляции (укрупнения). Укрупненные частицы твердой фазы скважинной продукции выпадают в осадок и остаются на забое скважины (рис. 1).

Для получения стоячих волн требуется постоянный источник звука, которым является шум защищаемого погружного электроцентробежного насоса, создаваемого при его работе в добывающей скважине. Во вращающихся электромашинах, к которым относится и ЭЦН, различают механические, электромагнитные, а также аэродинамические шумы и вибрации, тесно связанные друг с другом. Шум с точки зрения акустики представляет собой совокупность аperiodических звуков различ-

ной интенсивности и частоты, которая может быть представлена, согласно разложению Фурье, наложением некоторого количества периодических колебаний определенной частоты и амплитуды. Считается, что погружная установка генерирует спектр звука в диапазоне 0,5–200 кГц, уровень шума как у большинства электромашин лежит в пределах 65–90 дБ.

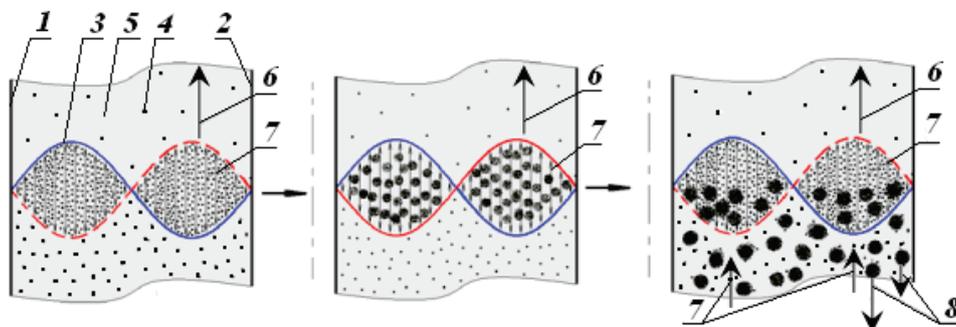


Рис. 1. Коагуляция механических примесей в жидкости при их движении в скважине: 1 — источник колебаний; 2 — обсадная колонна; 3 — стоячая волна; 4 — механическая примесь; 5 — жидкость; 6 — направление движения жидкости; 7 — направление движения механических примесей в стоячей волне; 8 — направление осаждения укрупненных частиц

Степень коагуляции зависит от частоты колебаний стоячей волны: в оптимальной области частот частицы различной величины (размера) имеют различные амплитуды колебаний. Возникновение коагуляции в свою очередь определяется воздействием стоячих волн. Установлено, что наибольшую степень влияния на частицы оказывают колебания ультразвукового диапазона [5].

Для создания необходимой частотности стоячих волн используется акустический преобразователь — режекторный фильтр (АРФ) (рис. 2). Принцип его работы состоит в преобразовании энергии низкочастотных колебаний в звук высокой частоты.

Формирование ультразвуковых стоячих волн производится в кольцевом пространстве между обсадной колонной и корпусом АРФ.

Для защиты от механических примесей фильтр размещается под ЭЦН. Очищенная звуковым воздействием скважинная продукция, поступающая в механизм, не вызывает абразивного износа рабочих органов насоса.

АРФ, размещенный над ЭЦН, преобразовывает звук низкой частоты от вибраций колес центробежного насоса в высокочастотные акустические колебания, что значительно снижает уровень вибраций механизма. Основной принцип защиты заключается в том, что волны низкой частоты, складываясь с вибрациями НКТ, приводят к опасному увеличению ам-



Рис. 2. Акустический режекторный фильтр

плитуды колебаний. Основной принцип защиты заключается в том, что волны низкой частоты, складываясь с вибрациями НКТ, приводят к опасному увеличению ам-

плитуды колебаний. Волны высокой частоты, полученные из низкочастотных с помощью режекторного фильтра, затухают, не усиливая механические вибрации ЭЦН.

Испытания разработанных технологий проводились на скважинах Самотлорского месторождения. Результаты замеров содержания взвешенных частиц в продукции скв. 14 607 Талинского месторождения представлены в таблице.

Данные таблицы показывают, что при выводе скважины на режим в среднем с использованием в ней АРФ удалось снизить содержание механических примесей в добываемой продукции в 3,4 раза. На стационарном режиме работы снижение количества взвешенных частиц КВЧ составило 1,9 раза.

Результаты замеров количества взвешенных частиц (КВЧ) в продукции скв. 14607 с АРФ и без него

Режим работы скважины	ВНР*		УРР**					Среднее значение
	1325	5305	594	864	517	735	418	
КВЧ без АРФ, мг/л	1325	5305	594	864	517	735	418	1 394,0
КВЧ с АРФ, мг/л	884	274	384	439	361	213	295	407,1

Примечание. * — вывод скважины на режим, ** — установившийся режим работы скважины.

Эффект газлифта свойственен ранней стадии эксплуатации нефтяных месторождений, в то время как акустическая технология искусственного газлифта работает, когда энергии пласта не хватает, чтобы поднять нефть на дневную поверхность. Основанием для описания механизма акустической дегазации является предположение о наличии в пластовой жидкости пузырьков растворенного газа [6]. Под действием акустического поля стоячих волн, полученных при помощи акустических преобразователей из шумов призабойной зоны, происходят расширение и соединение пузырьков между собой, что приводит к увеличению содержания газовой фазы в потоке. Жидкость при этом начинает дегазироваться при больших давлениях, чем давление насыщения, определяемое отраслевым стандартом. Результаты испытаний на скв. 8510, К.369 (НГДУ «Талинскнефть») показали, что «озвучивание» пластовой жидкости приводит к снижению уровня дегазации на 240 м и приросту дебита на 10 %.

Исследования Г. А. Хмары позволили разработать технологию использования преобразователя шума для передачи информации о параметрах бурения [7].

Вопросам выравнивания фронта заводнения пласта, влияния турбулентного звука на повышение эффективности акустического метода выравнивания фронта заводнения посвящены исследования Н. В. Шаталовой [8, 9], А. В. Шаталова [10].

На последующих этапах акустических исследований были сформулированы объект, цели и задачи исследования, соответствующие новым направлениям инноваций.

Объект исследования — процессы ограничения водопритоков воздействием на призабойную зону нефтяного пласта с областями высокой проницаемости, выравнивание фронта заводнения пласта.

Предмет исследования — воздействие на процесс ограничения водопритоков нефтяного пласта с областями высокой проницаемости стоячими звуковыми волнами, генерируемыми акустическим преобразователем шумов скважины.

Исследования ведутся по следующим направлениям:

- преобразование технологического шума нагнетательной скважины в акустические колебания производительной частоты;
- исследование промытых трещин нефтяного пласта в качестве волноводов и получение в них стоячих волн;

- влияние стоячих волн на процесс коагуляции гелеобразующих компонентов водоизолирующих составов;
- интеграция физико-химического и акустического методов воздействия на обводненный нефтяной пласт.

Методы исследования:

- теоретическое исследование источников звука, существующих в призабойной зоне нефтяного пласта, и их спектральный анализ;
- теоретическое исследование процесса коагуляции частиц водоизолирующего реагента в стоячих звуковых волнах различной частоты и зависимость этого процесса от гидравлических параметров;
- обобщение теоретических исследований с целью разработки способа и технологического оборудования для получения водоизолирующего экрана в призабойной зоне скважины;
- расчет параметров преобразователя звука;
- моделирование процесса возникновения стоячих волн в искусственном грунте на экспериментальной установке, имитирующей трещины нефтяного пласта.

Выводы

По итогам исследований получены следующие результаты:

- взаимодействие стоячих звуковых волн с частицами гелеобразующего реагента в потокоотклоняющих технологиях выражается в уменьшении скорости его проникновения в пласт и коагуляции;
- подтверждено влияние акустических колебаний на реологические свойства нефтяного флюида, что может быть сопутствующим эффектом применения разработанной акустической технологии.

На промежуточном этапе эксперимента получен патент «Способ акустического выравнивания фронта заводнения нефтяного пласта» [11]. Результаты исследований могут быть положены в основу создания обучающих курсов для направлений обучения нефтегазовому делу.

Библиографический список

1. Муллакаев М. С. Современное состояние проблемы извлечения нефти // Современная научная мысль. – 2013. – № 4. – С. 185–191.
2. Повышение продуктивности и реанимации скважин с применением виброволнового воздействия / В. П. Дыбленко [и др.]. – М.: Недра, 2000. – 381 с.
3. Музипов Х. Н., Савиных Ю. А. Волновые технологии подготовки нефти: учеб. пособие. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 156 с.
4. Савиных Ю. А., Музипов Х. Н., Овчинников П. В. Использование технологического звука для управления параметрами режима бурения и повышения производительности добывающих скважин. – Тюмень: Вектор Бук, 2008. – 164 с.
5. Кудрявцев И. А. Совершенствование технологии добычи нефти в условиях интенсивного выноса мехпримесей (на примере Самотлорского месторождения): Автореф. дис. кан. техн. наук. – Тюмень, 2014. – 24 с.
6. Савиных Ю. А., Музипов Х. Н. Инновационная техника и технология бурения и добычи нефти: учеб. пособие. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2009. – 268 с.
7. Савиных Ю. А., Хмара Г. А. Повышение эффективности турбинного бурения на основе акустической информации: моногр. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. – 114 с.
8. Шаталова Н. В., Савиных Ю. А. Акустическая технология выравнивания фронта обводнения нефтяного пласта // Наука и ТЭК. – 2012. – № 3. – С. 20–23.
9. Шаталова Н. В., Савиных Ю. А. Использование турбулентного звука для повышения эффективности акустического метода выравнивания фронта заводнения пласта // Нефть и газ Сибири. Материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 50-летию Тюменского индустриального института, – Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. – 212 с.
10. Шаталова Н. В., Шаталов А. В. Использование процессов ограничения водопритоков с использованием электротехнической модели // Техника и технология строительства и ремонта нефтяных и газовых скважин. Материалы всеросс. науч.-техн. конф. – Тюмень: ТИУ, 2015. – 198 с.
11. Патент на изобретение RU2447273 C1E21B43/20. – № 2010137447. Способ акустического выравнивания фронта заводнения нефтяного пласта / Савиных Ю. А., Грачев С. И., Медведев Ю. А., Шаталова Н. В.; заявл. 08.09.2010; опубл. 10.04.2012.

Сведения об авторе

Шаталова Наталья Васильевна, ассистент кафедры электроэнергетики, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 89129221118, e-mail: natalyashatalova@yandex.ru

Information about the author

Shatalova N. V., Assistant at the Department of Electricity, Industrial University of Tyumen, phone: 89129221118, e-mail: natalyashatalova@yandex.ru