

УДК 622.276; 532.133

**ВОЛНОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ
ДОБЫЧИ НЕФТИ**

WAVE TECHNOLOGY STIMULATION OF OIL

Прачкин В.Г., Галяутдинов А.Г.

**ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический
университет» г. Уфа, Российская Федерация**

V.G. Prachkin, A.G. Galyautdinov

**FSBEI HPE “Ufa State Petroleum Technological University”,
Ufa, the Russian Federation**

e-mail: prachckin@yandex.ru

Аннотация. Обзор посвящён волновым методам воздействия на нефтяные коллекторы с целью повышения продуктивности пластов. В работе описано оборудование и технологии, использующие различные волновые методы для интенсификации добычи нефти в сочетании с традиционными методами, разработанными в последние годы, описаны их преимущества и недостатки, показаны области их применения.

В обзоре большое внимание уделено акустическим методам повышения нефтеотдачи пластов в ультразвуковом диапазоне. Приводятся различные модели и расчёты влияния акустического поля на истечение нефти в каналах коллектора призабойной зоны и возникающие при этом различные физические эффекты. Проанализированы возможности применения различных комбинированных ультразвуковых технологий с точки зрения возникающих синергетических эффектов для добычи трудноизвлекаемой нефти. Разработанное оборудование и технологии прошли опытно-промышленные испытания на различных месторождениях

РФ и США, которые свидетельствуют о высокой эффективности их применения для повышения коэффициента извлечения нефти.

Приведённый обзор позволяет сделать следующие выводы: для совершенствования волновых технологий повышения нефтеотдачи пластов необходимо разработать физическую теорию, которая смогла бы объяснить механизм физических процессов, происходящих в призабойной зоне пласта, позволить выбрать рациональную конструкцию оборудования, режимные и технологические параметры обработки скважин, что значительно повысит коэффициент извлечения нефти.

Abstract. Review devoted to the methods of wave impacts on the oil reservoirs to enhance the productivity of reservoirs. The paper described the equipment and technology, using different methods to wave stimulation of oil in conjunction with traditional methods developed in recent years, describes their advantages and disadvantages are shown in application.

In a review of a lot of attention paid to acoustic methods of enhanced oil recovery in the ultrasonic range. The various models and calculations of the impact of the expiry of the acoustic field of oil in the reservoir channel bottom zone and emerging with the various physical effects. The possibilities of the use of different combination of ultrasound technology in terms of the resulting synergies to extract hard-to oil. The developed equipment and technologies have passed pilot tests in different fields of the Russian Federation and the United States, which showed the high efficiency of their use to enhance oil recovery.

The above review of the following conclusions: to improve the wave enhanced recovery technologies necessary to develop a physical theory that could explain the mechanism of the physical processes occurring in the bottomhole formation zone, allows you to choose the rational design of equipment, operating and technological parameters of well treatment, which greatly increase the rate of oil recovery.

Ключевые слова: нефть, ультразвук, призабойная зона скважины, дебит нефти, коэффициент продуктивности скважин, акустические технологии, комбинированные методы, синергетический эффект, опытно-промышленные испытания.

Key words: oil, ultrasound, bottomhole zone wells, oil production, productivity index wells, acoustic technology, combined methods, a synergistic effect, pilot tests.

Создание новых комбинированных ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий интенсификации добычи нефти остаётся актуальной задачей для РФ, учитывая стратегическое значение нефти для экономики нашей страны. Разработка таких технологий позволит, обеспечит существенную экономию материальных ресурсов, повышение экономической эффективности, снижение экологического воздействия на окружающую среду.

В последние годы работы по внедрению методов увеличения нефтедобычи (МУН) в нефтедобывающих компаниях РФ проводятся достаточно интенсивно, однако выбор того или иного метода для эффективной обработки призабойной зоны скважины (ПЗС) требует научно обоснованного подхода. Согласно литературным данным [1-3] потенциальные возможности увеличения КИН физическими методами по месторождениям РФ составляют 9-12%. Проблеме ультразвукового (УЗ) воздействия на ПЗС с целью повышения их продуктивности посвящены работы многих российских и зарубежных учёных [4-10].

Цель настоящей работы заключалась в обзорном изложении результатов по интенсификации добычи нефти с использованием волновых технологий, а также их различных комбинаций с другими методами увеличения нефтедобычи.

В работе [11] проведены расчёты влияния акустического воздействия на истечение нефти в каналах коллектора ПЗС. Показано, что вынужденные колебания стенок пористой структуры пласта вызывают появление в вязкой жидкости течения с постоянной скоростью, которое можно интерпретировать как снижение сопротивления переносу жидкости, т.е. как уменьшение эффективной вязкости.

В работе [12] предложена модель физических процессов, описывающих при ультразвуковой обработке ПЗС. Доминируют два эффекта: а) акустический разогрев пласта, ведущий к снижению вязкости; и б) смещение термодинамического равновесия между легкими и тяжелыми углеводородными фракциями флюида, ведущие к постепенному осаждению либо растворению тяжелой компоненты, в результате которых изменяются фильтрационно-емкостные свойства среды, что имеет решающее значение для восстановления дебита скважин.

В работах [13-14] авторами проведён анализ механизма УЗ воздействия на процессы, происходящие в нефтяных скважинах, изучена природа и особенности акустического течения, возможности управления его параметрами. В результате сформулированы научные принципы, которые необходимо учитывать при конструировании УЗ оборудования. Создан и опробован промышленный образец такого оборудования, имеющий две схемы компоновки УЗ блоков, с наземным размещением УЗ генератора и расположением его в погружном устройстве.

В работе [15] предложены генераторы импульса давлений, использующие энергию сжатого газа, способные «раскачать» столб жидкости в скважине, совершающий возвратно-поступательные движения с частотой, равной собственной частоте колебаний столба жидкости. Опытно-промысловые испытания на скважинах Ключевого месторождения показали, что после обработки одной скважины увеличился дебит и соседних скважин. В аналогичной работе предложен способ, где флюид приводится в резонансное колебательное движение импульсно-волновым

воздействием на пласт с помощью устьевого оборудования, что приводит к образованию сети трещин в призабойной зоне пласта (ПЗП) [16]. Для того чтобы использовать низкочастотные колебания столба жидкости в скважине при работе штангового насоса он был модернизирован таким образом, что генерируются эффекты одностороннего перемещения частиц и капель и увеличивается скорость фильтрации флюида [17].

Аналогичные работы по разработке оборудования дилатационно-волнового воздействия на ПЗС посредством штанговых насосов ведутся в НПФ «Недра-ЭСТЕРН» [18]. В работе [19] показано, что при конструктивных изменениях штангового насоса при его работе возникают гидродинамические волны, которые распространяются через хвостовик и передаются горной породе, увеличивая ее проницаемость.

Технология импульсно-волнового воздействия на нефтяной пласт через ПЗС разработана в компании ЗАО «НТС-Лидер» [20]. Оборудование, способное генерировать низкочастотные колебание в пласте, крепится на устье скважины и использует для этого энергию сжатого газа (азота). Такое воздействие, по мнению авторов, изменяет смачиваемость флюида к стенкам пор, приводит к увеличению скорости фильтрации в пласте и принудительной фильтрации нефти через перфорационные отверстия. В течение пяти лет обработано 107 нагнетательных и 60 добывающих скважин в Западной Сибири, эффективность применения составила 82-85%.

В научном центре НВМТ [21] разработана технология волнового воздействия на пласт. Опытно-промысловые испытания были проведены на Лугенецком месторождении (Томская область). Генератор обрабатывал ПЗП на уровне продуктивного пласта в течение 8 часов, что привело к увеличению дебита флюида не только в обрабатываемой скважине, но и в соседних, причём эффект обработки сохранялся в течение нескольких месяцев.

В НПФ «Ойл-Инжиниринг» разработаны и внедрены гидродинамические скважинные генераторы с амплитудой колебания давления 3-6 МПа в диапазоне частот 20-300 Гц в зависимости от модификации [22].

Авторы патента [23] предлагают способ очистки ПЗС, который включает заполнение скважины рабочей жидкостью и неоднократное воздействие на нее чередующимися этапами создания и стравливания избыточного давления, предварительно осуществляют выравнивание профиля притока пласта с использованием УЗ колебаний. В другом патенте [24] разработан комплекс оборудования для добычи высоковязкой нефти в условиях низких климатических температур, где повышение эффективности УЗ обработки достигается за счёт интенсификации дополнительного химического воздействия на нефть в обсадной трубе.

В работе [25] сопоставили результаты виброударного воздействия на ПЗП на Самотлорском месторождении с эффектом последствия локальных землетрясений (магнитуды 5,4-7,2) на месторождении ЛостХилс (США) Дополнительный прирост нефти после обработки 48 скважин составил примерно 12-15%.

Вибрационный метод обработки ПЗП забойным источником, питающимся от наземного источника, излучающим в широком спектре низких частот и способным настроиться в резонанс с пластовыми колебаниями, реализован в работе [26]. При этом область обработки достигает 25 км² охвата пласта, что приводит к увеличению нефтедобычи и уменьшению обводненности флюида.

Для раскольматации коллектора ПЗС специалистами ОАО «Газ-Ойл» предложена технология [27], заключающаяся в комбинированном волновом воздействии с одновременным дренажем пласта в интервале перфорации скважины с последующей ее промывкой.

Комбинированная технология волновой и химической обработки карбонатных коллекторов применяется в НГДУ «Бавлы-нефть» [28], где с

помощью имплозионного устройства, совмещают гидроимпульсное и химическое воздействие.

В ОАО «АНК «Башнефть» [29] проведены комбинированные обработки 123 скважин низкочастотными акустическими колебаниями, создаваемыми гидродинамическими скважинными генераторами, совместно с химическими реагентами и дополнительно получено 95,4 тыс. тонн нефти.

Известно, что УЗ обработка эффективно разгазирует флюид, что подтверждается результатами физического моделирования в работе [30], причём, чем выше газовый фактор, тем эффективнее этот процесс, а значит и процесс несмешивающегося вытеснения нефти. В работе [31] экспериментально определены рациональные временные режимы обработки ПЗС.

Согласно [4] УЗ обработка ПЗС увеличивает текучесть и проницаемость флюида, вследствие раскольматации каналов коллектора от асфальтосмолистопарафиновых отложений (АСПО), бурового раствора, частиц песка и др. Высокочастотный УЗ метод использует поля частотой 18-35 кГц с интенсивностью до 1 Вт/см², причём рабочая резонансная частота разработанных скважинных излучателей примерно равна 18-24 кГц при этом интенсивность УЗ на оси скважины достигает 0,1 Вт/см² на расстоянии 1 м от оси скважины составляет примерно 0,02 Вт/см².

Специалистами института НИИГеосистем (г. Москва) [32] было разработано УЗ скважинное оборудование для обработки ПЗС на каротажном кабеле. В скважинных излучателях активное УЗ поле создаётся в области между двумя электроакустическими преобразователями. По результатам промышленных испытаний успешность обработок примерно 70%, для низкодебитных скважин 50% и ниже [33].

В фирме «Сибирско-Уральская геологическая компания» разработана технология акустической обработки пласта. Излучатель генерирует два диапазона частот накачки, для того чтобы разностная частота вошла в резонанс с частотой колебаний скелета горной породы, насыщенного флюидом. При этом максимум амплитуды достигается на некотором удалении от источника. Опытно-промысловые испытания на различных месторождениях РФ показали, что дебит нефти увеличился на 30%, а успешность составила в среднем 80% [34].

В работе [35] показано, что ультразвуковое воздействие при 25 °С аналогично эффекту снижения вязкости нефти нагретой до температур 40 – 50 °С, причём наиболее интенсивное увеличение текучести высоковязких нефтей происходит при воздействии волнового поля продолжительностью до 1 ч (вязкость снижается в 6 раз).

В работах проводимой группой ученых из ИОНХ РАН им. Н.С. Курнакова приведены результаты моделирования влияния УЗ обработки ПЗС на нефтеотдачу, описаны разработанные комплексы и комбинированные технологии с УЗ воздействием для интенсификации добычи нефти, а также их опытно-промышленные испытания на месторождениях РФ и США [36 - 46].

Разработано оборудование для акустической стимуляции скважин с 2 вариантами колебательных систем СП- 42/1300 для работы в нефтяных эксплуатационных и нагнетательных скважинах и СП 108/1410 для работы с высокопарафинистой нефтью [36-38].

Результаты модельного расчёта показали, что УЗ-воздействие на пористую матрицу меняет распределение пористости и равновесной концентрации тяжелых углеводородов, что способствует лучшему протеканию нефти через поры и, как следствие, увеличению объема вышедшей из пористого коллектора нефти, и к росту КИН, более чем на 30%.

В последующих работах были модернизированы УЗ генераторы и излучающие системы скважинных приборов на основе

магнитострикционных преобразователях [39] и разработано автоматизированное рабочее место [40], что позволило разработать УЗ скважинный комплекс и технологию повышения продуктивности низкодебитных скважин [37-40].

Аналогичный УЗ скважинный комплекс был создан на основе пьезокерамических преобразователей [41-42], а позднее сонохимический скважинный комплекс и технология обработки ПЗС [43].

Опытно-промысловые испытания (ОПИ) УЗ скважинных комплексов и комбинированных технологий на Самотлорском месторождении (Западная Сибирь) и месторождениях Самарской области. При этом были опробованы различные комплексные схемы УЗ воздействия на пласты [44]. Испытания показали, что успешность обработки достигает 85%, дебит скважин увеличивается на 40-60% при продолжительности эффекта от 3 до 24 месяцев. При этом достаточно низкие затраты на обработку за счёт их кратковременности и применения мобильной малогабаритной аппаратуры [45-46]. ОПИ технологии на месторождении GreenRiverFormation в штате Юта (США) для практически неизвлекаемой нефти (плотность – 940 кг/м³; парафины – 47 мас. %, вязкость – 6800 мПа·с) показали увеличении дебита нефти на 4,45 т/сут при продолжительности эффекта около 6 месяцев [14, 46-48].

Выводы

Приведённый обзор использования волновых методов для интенсификации добычи нефти, позволяет сделать следующие выводы:

- для их совершенствования необходимо разработать физическую теорию, которая смогла бы объяснить механизм физических процессов, происходящих в ПЗП при волновой обработке;
- построенная теория позволит выбрать рациональную конструкцию оборудования, режимные и технологические параметры обработки скважин, что значительно повысит коэффициент извлечения нефти.

Список используемых источников

- 1 Обзор современных методов повышения нефтеотдачи пласта // Сайт компании «Петрос» URL: <http://www.petros.ru/rus/news/?action=show&id=267> (дата обращения: 15.12.2014).
- 2 Муллакаев М.С. Современное состояние проблемы извлечения нефти// Современная научная мысль. 2013. № 4. С. 185-191.
- 3 Муллакаев М.С. Экологически безопасные и эффективные технологии интенсификации добычи нефти // Проблемы и риски современной российской модернизации: концептуальное осмысление и практика реализации. М.- Чебоксары: «Пегас», 2012. С.11-12.
- 4 Кузнецов О.Л., Ефимова С.Ф. Применение ультразвука в нефтяной промышленности. М.: Недра, 1983. 192 с.
- 5 Сургучев М.Л., Кузнецов О.Л., Симкин Э.М. Гидродинамическое, акустическое, тепловое циклическое воздействия на нефтяные пласты. М.: Недра, 1975. 320 с.
- 6 Сургучев М.Л., Желтов Ю.В., Симкин Э.М. физико-химические процессы микропроцессы в нефтегазоносных пластах. М.: Недра, 1984. 330 с.
- 7 Кузнецов О.Л., Симкин Э.М. Преобразование и взаимодействие геофизических полей в атмосфере. М.: Недра, 1990. 267 с.
- 8 Вахитов Г.Г., Симкин Э.М. Использование физических полей для извлечения нефти из пластов. М.: Недра, 1985. 231 с.
- 9 Муллакаев М.С. Ультразвуковая интенсификация добычи и переработки нефти. М.: ОАО "ВНИИОЭНГ", 2014. 168 с.
- 10 Муллакаев М.С. Ультразвуковая интенсификация технологических процессов добычи и переработки нефти, очистки нефтезагрязненных вод и грунтов: дис.... д-ра техн. наук. М.: Московский государственный университет инженерной экологии, 2011. 391 с.

11 Прачкин В.Г., Муллакаев М.С., Асылбаев Д.Ф. Повышение продуктивности скважин методом акустического воздействия на высоковязкие нефти в каналах призабойной зоны скважины// Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2014. № 9. С. 15-19.

12 Максимов Г.А. Радченко А.В. Моделирование интенсификации нефтедобычи при акустическом воздействии на пласт из скважины// Техническая акустика. 2003. Т. 3, Вып. № 3. С. 1-16.

13 Mullakaev M.S., Abramov V.O., Pechkov A.A. Ultrasonic unit for restoring oil wells. Chemical and Petroleum Engineering. 2009. Vol. 45. P. 133-137.

14 Mullakaev M.S., Abramov O.V., Abramov V.O., Gradov O.M., Pechkov A.A. An ultrasonic technology for productivity restoration in low-flow boreholes. Chemical and Petroleum Engineering. 2009. Vol. 45. P. 203-210.

15 Симкин Э.М. Вибросейсмический метод увеличения продуктивности обводненных нефтяных и газовых пластов// Нефтегазовые технологии. 1998. № 2. С. 24 - 25.

16 Шипулин А.В. Использование инерции массы скважинной жидкости при воздействии на пласт // Нефть. Газ. Новации. 2009. № 2. С. 34 - 35.

17 Андреев А.В. Геолого-технологическое обоснование низкочастотного воздействия на пласт с целью повышения коэффициента извлечения нефти// Современные наукоёмкие технологии. 2004. № 2. С. 88.

18 Ащепков Ю.С., Ащепков М.Ю., Сухов А.А. Физические основы дилатационно-волнового воздействия на продуктивные пласты динамикой работы ШГН // Нефтепромысловое дело. 2007. № 2. С. 15-24.

19 Свалов А.М. Анализ возможностей использования штанговых глубинных насосов в качестве источников ударно-волнового воздействия на продуктивные пласты// Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2003. № 3. С. 27 - 33.

20 Замахаяев В.С. Физические основы планирования импульсно-волнового воздействия на нефтегазовые пласты // Нефтеотдача. 2002. № 5. С. 46-50.

21 Ганиев О.Р., Украинский Л.Е. Экспериментальное исследование однонаправленных течений в пористой среде, насыщенной жидкостью, при волновом воздействии: доклады РАН. 2006. Т. 409, №1. С. 39-42.

22 Повышение продуктивности и реанимации скважин с применением виброволнового воздействия/ В.П. Дыбленко [и др.]. М.: Недра, 2000. 381 с.

23 Способ очистки призабойной зоны пласта и устройство для его осуществления/ О.В. Абрамов, В.О. Абрамов, А.А. Печков, М.С. Муллакаев: пат. 2396420. ООО «Виатех». № RU2009102159. Заяв. 23.01.2009; Оpubл.10.08. 2010. Бюл. № 22. 8 с.

24 Комплекс оборудования для добычи высоковязкой нефти / А.В. Абрамова, В.М. Баязитов, М.С. Муллакаев, А.А. Печков : пат. 2450119 РФ, ООО «СоНовита». № 20101489 Заяв. 10.11.2010; Оpubл. 10.06.2011. Бюл. № 36. 9с.

25 Kostrov S.A., Wooden B.O. Mechanisms, field suitability, and case studies for enhancement of oil recovery and production using in-situ seismic stimulation// Nonlinear Acoustic at the Beginning of the 21 Century. V. 2. 2002. P. 1205 - 1212.

26 Симкин Э.М. Геолого-промысловые исследования низкочастотного вибросейсмического воздействия для повышения продуктивности нефтяных пластов и ресурсов извлекаемых запасов// Геоинформатика. 1998. № 3. С. 3-6.

27 Иванников В.И. Дренаж продуктивных пластов, профилактическая очистка скважин и волновое воздействие на коллектор – залог высокой производительности добычи нефти и газа// Изобретения и рацпредложения в нефтегазовой промышленности. 2005. №4. С. 10-13.

28 Технология комплексного воздействия на призабойную зону пласта – приоритетное направление методов стимуляции сложнопостроенных карбонатных коллекторов в НДГУ «Бавлынефть»/ Р.Г. Ханнанов [и др.]. // Георесурсы. 2006. № 3. С. 15 - 17.

29 Роль методов увеличения нефтеотдачи в добыче нефти на месторождениях. ОАО «АНК «Башнефть»/ Ю.В. Лукьянов [и др.].// Теория и практика применения методов увеличения нефтеотдачи пластов: Материалы 2-го Междунар. науч. симпозиума, Москва, 15-16 сент. 2009. М.: ВНИИнефть. 2009. Т. 1. С. 77 - 82.

30 Влияние ультразвуковых колебаний на процесс разгазирования нефти/ Г.С. Степанова [и др.]. // Бурение и нефть. 2003. №7-8. С. 36 - 38.

31 Mousavi S.M.R., Najafi I., Ghazanfari M.H., Kharrat R., Ghotbi C. Quantitative analysis of ultrasonic wave radiation on reversibility and kinetics of asphaltene flocculation: сб. материалов 4-ой Междунар. конф. «К новым открытиям через интеграцию наук». г. Санкт-Петербург, 5-8 апр. 2010. 140 с.

32 Печков А.А., Шубин А.В. Результаты работ по повышению продуктивности скважин методом акустического воздействия// Геоинформатика. 1998. № 3. С.16-24.

33 Патент США № 5184678, заявка № 648062. Acoustic flow stimulation method and apparatus. Pechov Andrey A., Kouznetsov Oleg L., Drjagin Veniamin V. Заявл. 31.01.1991. Опубл. 09.02.1993.

34 Токарев В.Д. Технология РАВ – важный этап совершенствования методов акустического воздействия на пласты. Oil&Gas Eurasia. 2008. № 6. С. 56-59.

35 Владимиров А.И. Разработка волновой технологии и оборудования для транспорта высоковязких нефтей и нефтепродуктов // Учётный номер в БД источника 022000500271. № гос. регистрации-01200307565. 2005. С.146.

36 Ультразвуковая технология повышение продуктивности низкодебитных скважин/ М.С. Муллакаев [и др.]. // Нефтепромысловое дело. 2012. № 4. С. 25 - 32.

37 Комплекс оборудования и ультразвуковая технология восстановления продуктивности нефтяных скважин/ В.О. Абрамов [и др.]. //Нефтепромысловое дело. 2012.№ 9. С.25-30.

38 Abramov V.O., Mullakaev M.S., Abramova A.V., Esipov I.B., Saltikov Y.A., Mason T.J. Ultrasonic technology for enhanced oil recovery from failing oil wells and the equipment for its implementation. Ultrasonics Sonochemistry. 2013. Vol. 20.Issue 5.P. 1289- 1295.

39 Расчёт ультразвуковой излучающей системы скважинного прибора ПСМС-42/ М.С. Муллакаев [и др.].// Нефтепромысловое дело. 2013. № 4. С. 24-27.

40 Разработка автоматизированного рабочего места для эксплуатации ультразвукового скважинного комплекса/ М. С. Муллакаев [и др.].// Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2013. № 3. С.48 - 51.

41 Разработка ультразвукового скважинного комплекса и технологии восстановления дебита нефтяных скважин/ М. С. Муллакаев [и др.].// Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2013. № 2. С. 25-31.

42 Ультразвуковой комплекс на основе на основе пьезокерамических излучателей и технология восстановления дебита нефтяных скважин/ В. О. Абрамов [и др.].// Труды РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. 2013. № 2. С. 45-54.

43 Муллакаев М.С., Прокопцев В.О. Разработка ультразвукового автоматизированного скважинного комплекса и сонохимической технологии повышения продуктивности скважин// Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2014. № 4. С. 37- 45.

44 Комплексные схемы ультразвукового воздействия на пласты Самотлорского месторождения/ Т.К. Апасов [и др.]// Наука и ТЭК. 2011. № 6. С. 80-84.

45 Опыт применения ультразвукового воздействия для восстановления продуктивности нефтяных скважин Западной Сибири и Самарской области/ В.О. Абрамов [и др.]// Нефтепромысловое дело. 2013. № 6. С. 26-31.

46 Муллакаев М.С., Абрамов В.О., Печков А.А. Ультразвуковое оборудование для восстановления продуктивности нефтяных скважин// Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2009. № 3. С.12 - 17.

47 Ультразвуковая технология восстановления продуктивности низкодебитных скважин/ М.С. Муллакаев [и др.]// Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2009. № 4. С. 19 - 23.

48 Mullakaev M.S., Abramov V.O., Abramova A.V. Development of ultrasonic equipment and technology for well stimulation and enhanced oil recovery. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2015. Vol. 125. P. 1-8.

References

1 Obzor sovremennyh metodov povysheniya nefteotdachi plasta // Sajt kompanii «Petros» URL:<http://www.petros.ru/rus/news/?action=show&id=267> (data obrashcheniya: 15.12.2014). [in Russian].

2 Mullakaev M.S. Sovremennoe sostoyanie problemy izvlecheniya nefti. Sovremennaya nauchnaya mysl'. 2013. № 4. S. 185-191. [in Russian].

3 Mullakaev M.S. EHkologicheski bezopasnye i ehffektivnye tekhnologii intensivifikacii dobychi nefti. // Problemy i riski sovremennoj rossijskoj modernizacii: konceptual'noe osmyslenie i praktika realizacii. M.- CHEboksary: «Pegas», 2012. S.11-12. [in Russian].

4 Kuznecov O.L., Efimova S.F. Primenenie ul'trazvuka v neftyanoj promyshlennosti. M. Nedra, 1983. 192 s. [in Russian].

5 Surguchev M.L., Kuznecov O.L., Simkin E.H.M. Gidrodinamicheskoe, akusticheskoe, teplovoe ciklichesкое vozdejstviya na neftyanye plasty. M.: Nedra. 1975. 320 s. [in Russian].

6 Surguchev M.L., Zheltov YU.V., Simkin E.H.M. fiziko-himicheskie processy mikroprocessy v neftegazonosnyh plastah. M.: Nedra. 1984. 330 s. [in Russian].

7 Kuznecov O.L., Simkin E.H.M. Preobrazovanie i vzaimodejstvie geofizicheskikh polej v atmosfere. M.: Nedra. 1990. 267 s. [in Russian].

8 Vahitov G.G., Simkin E.H.M. Ispol'zovanie fizicheskikh polej dlya izvlecheniya nefti iz plastov. M.: Nedra, 1985. 231 s. [in Russian].

9 Mullakaev M.S. Ul'trazvukovaya intensivikaciya dobychi i pererabotki nefti. M.: OAO "VNIOEHNG", 2014. 168. s. [in Russian].

10 Mullakaev M.S. Ul'trazvukovaya intensivikaciya tekhnologicheskikh processov dobychi i pererabotki nefti, ochistki neftezagryaznennyh vod i gruntov. Dis. dokt. tekhn. nauk. Moskovskij gosudarstvennyj universitet inzhenernoj ehkologii. M.:2011. 391 s. [in Russian].

11 Prachkin V.G., Mullakaev M.S., Asylbaev D.F. Povyshenie produktivnosti skvazhin metodom akusticheskogo vozdejstviya na vysokovyazkie nefti v kanalah prizabojnoj zony skvazhiny. Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. 2014. № 9. S. 15-19. [in Russian].

12 Maksimov G.A. Radchenko A.V. Modelirovanie intensivikacii neftedobychi pri akusticheskom vozdejstvii na plast iz skvazhiny. Tekhnicheskaya akustika. 2003. Vyp.№ 3. T. 3. S. 1-16. [in Russian].

13 Mullakaev M.S., Abramov V.O., Pechkov A.A. Ultrasonic unit for restoring oil wells. ChemicalandPetroleum Engineering.2009. Vol. 45. P. 133-137.

14 Mullakaev M.S., Abramov O.V., Abramov V.O., Gradov O.M., Pechkov A.A. An ultrasonic technology for productivity restoration in low-flow boreholes. ChemicalandPetroleumEngineering.2009. Vol. 45.P. 203-210.

15 Simkin E.H. M. Vibrosejsmicheskij metod uvelicheniya produktivnosti obvodnennyh neftyanyh i gazovyh plastov. Neftegazovye tekhnologii. 1998. № 2. S.24 - 25. [in Russian].

16 SHipulin A.V. Ispol'zovanie inercii massy skvazhinnoj zhidkosti pri vozdeystvii na plast // Neft'. Gaz. Novacii. 2009. №2. S. 34 - 35. [in Russian].

17 Andreev A.V. Geologo-tekhnologicheskoe obosnovanie nizkochastotnogo vozdeystviya na plast s cel'yu povysheniya koehfficienta izvlecheniya nefti// Sovremennye naukoymkie tekhnologii. 2004. № 2. S. 88. [in Russian].

18 Ashchepkov YU.S., Ashchepkov M.YU., Suhov A.A. Fizicheskie osnovy dilatacionno-volnovogo vozdeystviya na produktivnye plasty dinamikoj raboty SHGN // Neftepromyslovoe delo. 2007. № 2. S. 15 - 24. [in Russian].

19 Svalov A.M. analiz vozmozhnostej ispol'zovaniya shtangovyh glubinyh nasosov v kachestve istochnikov udarno-volnovogo vozdeystviya na produktivnye plasty// Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanyh i gazovyh mestorozhdenij. 2003. № 3. S. 27 - 33. [in Russian].

20 Zamahaev V.S. Fizicheskie osnovy planirovaniya impul'sno-volnovogo vozdeystviya na neftegazovye plasty. Nefteotdacha. 2002. № 5. S. 46-50. [in Russian].

21 Ganiev O.R., Ukrainskij L.E. EHksperimental'noe issledovanie odnonapravlennyh techenij v poristoj srede, насыщенной жидкостью, при волновом воздействии. Doklady RAN. 2006. T. 409. №1. S. 39-42. [in Russian].

22 Dyblenko V.P., Kamalov R.N., SHarifullin R.YA., Tufanov I.A. Povysenie produktivnosti i reanimacii skvazhin s primeneniem vibrovolnovogo vozdeystviya. M.: Nedra. 2000. 381 s. [in Russian].

23 Patent – 2396420. Sposob ochistki prizabojnoj zony plasta i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya. Abramov O.V., Abramov V.O., Pechkov A.A., Mullakaev M.S. ООО «Viatekh». № RU2009102159. Zayav. 23.01.2009; Opubl.10.08. 2010. Byul.№ 22. [in Russian].

24 Patent – 2450119 RF, Kompleks oborudovaniya dlya dobychi vysokovyazkoj nefti / Abramova A.V., Bayazitov V.M., Mullakaev M.S., Pechkov A.A. ООО «SoNovita».-№ 20101489 Zayav. 10.11.2010; Opubl. 10.06.2011, Byul. N 36. [in Russian].

25 Kostrov S.A., Wooden B.O. Mechanisms, field suitability, and case studies for enhancement of oil recovery and production using in-situ seismic stimulation// Nonlinear Acoustic at the Beginning of the 21 Century. V. 2. 2002. R. 1205 - 1212.

26 Simkin E.H.M. Geologo-promyslovye issledovaniya nizkochastotnogo vibrosejsmicheskogo vozdeystviya dlya povysheniya produktivnosti neftyanyh plastov i resursov izvlekaemyh zapasov. Geoinformatika. 1998. №3. S. 3 - 6. [in Russian].

27 Ivannikov V.I. Drenazh produktivnyh plastov, profilakticheskaya oчитка skvazhin i volnovoe vozdeystvie na kollektor – zalog vysokoj proizvoditel'nosti dobychi nefti i gaza// Izobreteniya i racpredlozheniya v neftegazovoj promyshlennosti. 2005. №4. S. 10 - 13. [in Russian].

28 Hannanov R.G., SHakirov R.M., Sivuhin A.A., Grezina O.A. Tekhnologiya kompleksnogo vozdeystviya na prizabojnuyu zonu plasta – prioritetnoe napravlenie metodov stimulyacii slozhnopostroennyh karbonatnyh kollektorov v NDGU «Bavlyneft'» // Georesursy. 2006. № 3. S. 15 - 17. [in Russian].

29 Luk'yanov YU.V., SHuvalov A.V., Sulejmanov A.A., Vahitov T.M., Bajdalin V.S., Kurmakaeva S.A., Gallyamov I.M., Kamaletdinova R.M. Rol' metodov uvelicheniya nefteotdachi v dobyche nefti na mestorozhdeniyah. OAO «ANK «Bashneft'» // Teoriya i praktika primeneniya metodov uvelicheniya nefteotdachi plastov/ Materialy 2-go Mezhd. Nauch. simpoziuma, Moskva, 15-16 sent. 2009. T. 1. M.: VNIIneft'. 2009. S. 77 - 82. [in Russian].

30 Stepanova G.S., Nenaratovich T.L., YAgodov G.N., Nikolaevskij V.N. Vliyanie ul'trazvukovyh kolebanij na process razgazirovaniya nefti// Burenie i neft'. 2003. №7-8. S. 36 - 38. [in Russian].

31 Mousavi S.M.R., Najafi I., Ghazanfari M.H., Kharrat R., Ghotbi C. Quantitative analysis of ultrasonic wave radiation on reversibility and kinetics of asphaltene flocculation // 4-ya Mezhdunar. konf. «K novym otkrytiyam cherez integraciyu nauk». Sankt-Peterburg, 5-8 aprelya 2010.

32 Pechkov A.A., Shubin A.V. Rezul'taty rabot po povysheniyu produktivnosti skvazhin metodom akusticheskogo vozdejstviya. Geoinformatika. 1998. № 3. S.16 - 24. [in Russian].

33 Pat.tSSHA № 5184678, zayavka № 648062. Acoustic flow stimulation method and apparatus. Pechov Andrey A., Kouznetsov Oleg L., Drjagin Veniamin V. Zayavl. 31.01.1991. Opubl. 09.02.1993. [in Russian].

34 Tokarev V.D. Tekhnologiya RAV – vazhnyj ehtap sovershenstvovaniya metodov akusticheskogo vozdejstviya na plasty. Oil&Gas Eurasia. 2008. № 6. S. 56 - 59. [in Russian].

35 Vladimirov A.I. Razrabotka volnovej tekhnologii i oborudovaniya dlya transporta vysokovyazkih neftej i nefteproduktov// Uchyotnyj nomer v BD istochnika 022000500271.- № - 01200307565. - 17.01.2005. [in Russian].

36 Mullakaev M.S., Abramov V.O., Pechkov A.A., Eremenko I.L., Novotorcev V.M., Bayazitov V.M., Esipov I.B., Baranov D.A., Saltykov A.A. Ul'trazvukovaya tekhnologiya povyshenie produktivnosti nizkodebitnyh skvazhin// Neftepromyslovoe delo. 2012. № 4. S. 25 - 32. [in Russian].

37 Abramov V. O., Mullakaev M. S., Kalinnikov V.T., Abramova A. V., Bayazitov V. M., Esipov I. B., Saltykov A.A., Saltykov YU. A. Kompleks oborudovaniya i ul'trazvukovaya tekhnologiya vosstanovleniya produktivnosti neftyanyh skvazhin// Neftepromyslovoe delo. 2012. № 9. S. 25-30. [in Russian].

38 Abramov V.O, Mullakaev M.S., Abramova A.V., Esipov I.B., Saltikov Y.A., Mason T.J. Ultrasonic technology for enhanced oil recovery from failing oil wells and the equipment for its implementation. Ultrasonics Sonochemistry. 2013. Vol. 20.Issue 5.P. 1289-1295.

39 Mullakaev M.S., Keremetin P.P., Abramova A.V., Prokopcev V.O. Raschyotul'trazvukovojizluchayushchej sistemy skvazhinnogo pribora PSMS-42. Neftepromyslovoe delo. 2013. № 4. S. 24-27. [in Russian].

40 Mullakaev M. S., Abramova A.V., Asylbaev D.F., Prokopcev V.O. Razrabotka avtomatizirovannogo rabocheho mesta dlya ehkspluatatsii ul'trazvukovogo skvazhinnogo kompleksa. Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa. 2013. № 3. S. 48 - 51. [in Russian].

41 Mullakaev M.S., Abramov V.O., Abramova A.V., Prokopcev V.O. Razrabotka ul'trazvukovogo skvazhinnogo kompleksa i tekhnologii vosstanovleniya debita neftyanyh skvazhin. Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa. 2013. № 2. S. 25-31. [in Russian].

42 Abramov V. O., Mullakaev M.S., Esipov I.B., Prokopcev V.O. Ul'trazvukovoj kompleks na osnove p'ezokeramicheskikh izluchatelej i tekhnologiya vosstanovleniya debita neftyanyh skvazhin. Trudy Rossijskogo gosudarstvennogo universiteta nefti i gaza im. I.M. Gubkina. 2013. № 2. S. 45-54. [in Russian].

43 Mullakaev M.S., Prokopcev V.O. Razrabotka ul'trazvukovogo avtomatizirovannogo skvazhinnogo kompleksa i sonohimicheskoy tekhnologii povysheniya produktivnosti skvazhin. Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa. 2014. № 4. S. 37- 45. [in Russian].

44 Apasov T.K., Abramov V.O., Mullakaev M.S., Saltykov YU.A., Apasov G.T., Apasov R.T. Kompleksnye skhemy ul'trazvukovogo vozdejstviya na plast y Samotlorskogo mestorozhdeniya. 2011. Nauka i TEHK. № 6. S. 80-84. [in Russian].

45 Abramov V.O., Mullakaev M. S., Bayazitov V.M., Timashev EH.O., Kuleshov S.P., Prokopcev V.O. Opyt primeneniya ul'trazvukovogo vozdejstviya dlya vosstanovleniya produktivnosti neftyanyh skvazhin Zapadnoj Sibiri i Samarskoj oblasti. Neftepromyslovoe delo. 2013. № 6. S. 26-31. [in Russian].

46 Mullakaev M.S., Abramov V.O., Pechkov A.A.. Ul'trazvukovoe oborudovanie dlya vosstanovleniya produktivnosti neftyanyh skvazhin. Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. 2009. № 3. S.12-17. [in Russian].

47 Mullakaev M.S., Abramov O.V., Abramov V.O., Gradov O. M., Pechkov A.A.. Ul'trazvukovaya tekhnologiya vosstanovleniya produktivnosti nizkodebitnyh skvazhin. Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. 2009. № 4. S. 19-23. [in Russian].

48 Mullakaev M.S., Abramov V.O., Abramova A.V. Development of ultrasonic equipment and technology for well stimulation and enhanced oil recovery. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2015. Vol. 125. P. 1-8.

Сведения об авторах

About the authors

Прачкин В. Г., аспирант кафедры физики ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

V. G. Prachkin, Post-graduate Student of the Chair "Physics" FSBEI HPE "Ufa State Petroleum Technological University", Ufa, the Russian Federation
e-mail: prachckin@yandex.ru

Галяутдинов А. Г., начальник управления научных исследований и разработок ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

A. G. Galyautdinov, Head of the Research and Development FSBEI HPE "Ufa State Petroleum Technological University", Ufa, the Russian Federation
e-mail: airatg@mail.ru