DOI: 10.17122/ntj-oil-2017-4-26-35

УДК 622.276.63

А.П. Чижов, В.Е. Андреев, А.В. Чибисов, С.Л. Орловский, К.М. Федоров
(ГАНУ «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан», г. Уфа, Российская Федерация), **Д.В. Иванов** (ОАО «МакОйл», г. Нурлат, Российская Федерация)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОЛЯНО-КИСЛОТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В УСЛОВИЯХ КАРБОНАТОВ ВОЛГО-УРАЛА

A.P. Chizhov, V.Ye. Andreev, A.V. Chibisov, S.L. Orlovskiy, K.M. Fedorov
(Institute of Strategic Researches of Republic of Bashkortostan, State Autonomous Scientific Department, Ufa, Russian Federation),
D.V. Ivanov (MakOil LLC, Nurlat, Russian Federation)

IMPROVEMENT OF HYDROCHLORIC ACID FORMATION TREATMENT FOR VOLGO-URALS CARBONATES

Введение

На современном этапе развития нефтегазовой отрасли ухудшается структура запасов нефти Республики Башкортостан. Увеличивается доля трудноизвлекаемых запасов нефти, в том числе и приуроченных к карбонатным коллекторам. Более 20 % остаточных и трудноизвлекаемых запасов нефти Башкортостана содержится в карбонатных коллекторах. Продуктивные отложения, содержащие залежи нефти, имеют сложное геологическое строение. Освоение этих запасов позволит поддерживать текущий уровень добычи углеводородов длительное время. Применение кислотного воздействия на карбонатные коллекторы позволяет повысить эффективность эксплуатации этих залежей. Однако нефтяные залежи в карбонатных коллекторах зачастую эксплуатируются с недостаточно эффективной системой заводнения или на естественном режиме, что приводит к снижению пластового давления в призабойной зоне добывающих скважин.

Background

At the present stage of development of the oil and gas industry, the structure of oil reserves in the Republic of Bashkortostan is deteriorating. The share of hard-to-recover oil reserves, including those associated with carbonate reservoirs, is increasing. More than 20 % of residual and hard-to-recover oil reserves of Bashkortostan are found in carbonate reservoirs. Productive deposits containing oil deposits have a complex geological structure. The development of these reserves will allow maintaining the current level of hydrocarbon production for a long time. The use of hydrochloric acid carbonate reservoirs treatment allows to increase the efficiency of exploitation of these deposits. However, oil deposits in carbonate reservoirs are often operated with an ineffective water flooding system or on a natural regime, which leads to a decrease in reservoir pressure in the bottomhole zone of producing wells.

Применение стандартной соляно-кислотной обработки добывающих скважин в данных условиях оказывается неэффективно. В этой связи и были проведены исследования, направленные на увеличение эффективности мероприятий по интенсификации добычи нефти, что, безусловно, является актуальной задачей.

Цели и задачи

Совершенствование соляно-кислотного воздействия на карбонатные коллекторы Волго-Урала в условиях низкого пластового давления для увеличения эффективности метода интенсификации притока к скважинам.

Методы

Механизм воздействия кислотного раствора на продуктивный коллектор базируется на аналитических методах исследований. Определение скорости реакции кислотных растворов с карбонатной породой при использовании замедлителей реакции и реагентов-отклонителей основано на обобщении результатов лабораторных исследований. В опытно-промышленных испытаниях предлагаемого метода соляно-кислотного воздействия использовались промысловые виды исследований. Результаты промысловых работ по интенсификации притока к эксплуатационным скважинам обрабатывались с применением аналитико-математических методов.

Результаты

На основе представлений о механизме процесса вытеснения нефти из слабопроницаемых карбонатных коллекторов предложены методы обработки призабойной зоны добывающих скважин, в том числе и для условий низкого пластового давления. Результаты внедрения предложенного метода позволили получить прирост дебитов более чем в 2 раза по сравнению с обработкой, выполненной по традиционной технологии, а продолжительность эффекта от обработки – существенно больший.

Заключение

Применение предлагаемых методов соляно-кислотного воздействия при интенсификации притока из карбонатных пластов башкирского и верейского, турнейского ярусов, в том числе и для условий низкого пластового давления залежей Республики Башкортостан, позволит существенно повысить эффективность проводимых работ.

The use of standard hydrochloric acid treatment of production wells under these conditions proves ineffective. In this regard, studies have been conducted aimed at increasing the effectiveness of measures to intensify oil production, which, of course, is an urgent task.

Aims and Objectives

Improvement of the hydrochloric acid treatment for Volga-Ural carbonate reservoirs in conditions of low reservoir pressure to increase the efficiency of the method of stimulation of the inflow to the wells.

Methods

The mechanism of action of the acid solution on the productive reservoir is based on analytical methods of research. Determination of the rate of reaction of acid solutions with carbonate rock using reaction moderators and reagents is based on a generalization of the results of laboratory studies. Commercial types of research were used in experimental-industrial tests of the proposed method of hydrochloric acid exposure. The results of field work on the intensification of the inflow to production wells were processed using analytical and mathematical methods.

Results

Based on the concept of the mechanism of the process of oil displacement from weakly permeable carbonate reservoirs, methods for treating the bottomhole zone of producing wells, including those for low reservoir pressure, are proposed. The results of the implementation of the proposed method made it possible to increase the production rate by more than 2 times in comparison with the treatment performed by traditional technology, and the duration of the effect from treatment was much larger.

Conclusion

The application of the proposed methods of hydrochloric acid treatment during the intensification of the influx from the carbonate layers of the Bashkir and Vereiskian, Tournaisian stages, including for the conditions of low reservoir pressure in the Republic of Bashkortostan oil fields, will significantly improve the efficiency of the work.

Ключевые слова: продуктивный пласт, карбонаты, призабойная зона скважины, воздействие на коллектор, соляная кислота

Key words: productive formation, carbonates, bottomhole zone of the well, foundation treatment, hydrochloric acid

В настоящее время много внимания уделяется совершенствованию методов воздействия на остаточные и трудноизвлекаемые запасы нефти карбонатных коллекторов. Необходимость совершенствования объясняется усложнением геолого-промысловых условий применения этих методов. Соляно-кислотные обработки широко применяются для увеличения проницаемости призабойной зоны пласта карбонатных коллекторов. Основной процесс, протекающий в породе при проведении кислотных обработок, это растворение карбонатов.

В результате реакций образуются растворимые соли кальция, магния, вода и углекислый газ. Кроме взаимодействия карбонатов с соляной кислотой могут протекать процессы растворения некоторых других минералов или солей в кислоте, что приводит к образованию малорастворимых соединений, снижающих проницаемость карбонатной породы. Исследование на совместимость контактирующих с продуктами реакции пластовых вод позволяет предотвратить или существенно снизить образование вторичных осадков.

Величина произведения растворимости (ПР) является количественной характеристикой растворимости вещества. Чем меньше ПР, тем при меньших концентрациях соответствующих ионов происходит образование осадка. Для оценки возможности образования осадка достаточно перемножить концентрации соответствующих ионов и сравнить со значением ПР. Если полученное значение больше величины ПР, то при температуре 25 °С возможно образование осадка. С повышением температуры растворимость веществ, как правило, увеличивается.

Для предотвращения образования осадков при контакте пластовых вод с продуктами реакции растворения карбонатных пород используют пространственное разделение пластовой воды и продуктов взаимодействия породы с соляной кислотой.

Состав и объем закачиваемых в скважину соляно-кислотных растворов зависят от типа скважины (нагнетательная или добывающая), состава продуктивного коллектора и от выбранного технологического способа воздействия на призабойную зону пласта. При проведении соляно-кислотных обработок к основному реагенту (раствору соляной кислоты) обязательно добавляют вспомогательные компоненты. Во-первых, это ингибиторы коррозии, необходимые для предотвращения или уменьшения коррозии металлических деталей. Во-вторых, рекомендуется добавлять уксусную кислоту, особенно для нагнетательных скважин. Уксусная кислота CH_3COOH в количестве до 4-5 % замедляет темп нейтрализации кислотного раствора карбонатными породами или включениями. Это обеспечивает более глубокое внедрение активного, т.е. не до конца прореагировавшего, раствора. Уксусная кислота также предотвращает выпадение осадка гидратов окиси железа. Одновременно уксусная кислота действует и как основной рабочий агент, хотя растворяет породу в меньшей степени, чем соляная кислота. Кроме того, для предотвращения образования стойких водонефтяных эмульсий можно вводить в состав кислотных композиций вещества-деэмульгаторы.

Наиболее часто используются кислотные составы, содержащие 10-20 % соляной кислоты, 3-5 % уксусной кислоты, 0,5-1,0 %

ингибитора коррозии, 0,5-1,0 % деэмульгатора [1].

Нормы расхода кислотных растворов при проведении обработок рассчитываются с учетом проницаемости пластов, толщины обрабатываемого слоя, его природы.

Удельный объем при обработке скважины раствором соляной кислоты составляет на 1 м мощности пласта-коллектора: 0,4-0,6 м³ - для малопористых пород, как правило, являющихся малопроницаемыми, 0,6-1,0 м³ - для высокопористых, часто относимых к высокопроницаемым. При повторных обработках для поддержания эффекта от воздействия удельный расход рекомендуется увеличить в 1,4-1,6 раза [1].

Основной проблемой при проведении кислотных обработок является движение кислотных растворов по высокопроницаемым пропласткам, особенно в условиях низких пластовых давлений (0,2-0,4 от начального пластового). Это приводит к быстрому расходу кислоты и недостаточности воздействия на низкопроницаемые интервалы продуктивного пласта, что ведет к низкой эффективности проводимых работ.

Для решения проблем, связанных со слишком быстрым расходом активной части кислотных композиций, предлагается использование так называемых замедлителей. Физико-химический состав замедлителей определяет принцип их воздействия на процесс реакции кислоты с породой, который связан с изменением вязкости образующейся гидравлической системы или с сокращением доступности поверхности минерального скелета коллектора для активной кислоты. Добавление в рабочий раствор кислоты ПАВ и эмульгаторов существенно повышает эффективность его воздействия.

Результаты лабораторных исследований воздействия замедляющих кислотную реакцию с карбонатной породой реагентов «ДН-9010М», «ЗСК-1» [2] и «СНПХ-6501А» показали их высокую эффективность [3], и позволяют их рекомендовать для промышленных испытаний на эксплуатационных скважинах.

Наиболее оптимальными параметрами воздействия на процесс растворения карбо-

натной породы соляной кислотой обладает реагент «ЗСК-1» [2]. Состав «ЗСК-1» включает полигликоли, деэмульгатор и ПАВ. Применение реагента «ЗСК-1» в кислотных рабочих растворах исключает осадкообразование, образование стойких эмульсий и отвечает экологическим требованиям.

Лабораторные эксперименты [3] включали два блока исследований. Первый блок позволил определить технологические параметры соляно-кислотного воздействия (на примере Старо-Казанковского месторождения), существенно влияющие на его эффективность. Второй блок позволил дать рекомендации для дальнейшего совершенствования технологии проведения соляно-кислотных обработок (СКО).

Определены растворимость и минералогический состав образцов карбонатной породы. Растворимость образцов в 12 %-ном растворе соляной кислоты при температуре 20 °С составляет 99,0-99,7 %. Минералогический состав: 35,1-87,4 % кальцита, 11-64,3 % доломита и до 0,6 % сидерита.

На основании кинетических экспериментов оценено характеристическое время реакции образцов карбонатной породы с соляной кислотой в различных условиях. На скорость реакции и величину характеристического времени реакции (τ) оказывают влияние следующие факторы: природа образца карбонатной породы, соотношение «кислота - состав породы», температура, степень измельчения образца. Определено характеристическое время реакции в различных условиях. Для пластовой температуры 45 °С в реакции с 12 %-ной соляной кислотой значение τ составило: для образца № 1 - 5,88 мин, для образца № 2 - 1,64 мин.

Выполнены кинетические исследования действия соляной кислоты на карбонатный коллектор с реагентом «ЗСК-1». На основании результатов выполненных исследований сделаны выводы о степени влияния реагента «ЗСК-1» на рост времени протекания реакции кислотного раствора с породой. Характеристическое время реакции для представленного карбонатного образца № 1 достигло 8,33 мин (выросло в 1,4 раза), для образца карбонатного коллектора № 2 - 4,11 мин (уве-

личение составило 2,5 раза). Увеличение концентрации реагента «ЗСК-1» с 5 % до 10 % не существенно изменило скорость реакции.

Исследован реагент «Карфас» [4, 5] на предмет образования гелеобразного отклоняющего полимера в реакции с карбонатной породой. Установлено, что время реакции, необходимое для образования малоподвижного геля, не превышает 1 ч, а повторное разрушение геля происходит при добавлении соляной кислоты, т.е. реакция является обратимой.

Проведен анализ данных по составу пластовой воды месторождения. На основании имеющихся данных по концентрациям основных катионов и анионов и значений произведения растворимости сделан вывод о возможности образования осадка сульфата кальция при проведении кислотных обработок.

Анализ литературных данных и результатов выполненных экспериментов позволил разработать модель процесса соляно-кислотного воздействия, которая базируется на представлениях о радиальном течении жидкости в пустотной среде призабойной зоны слоисто-неоднородного карбонатного пласта-коллектора и учитывает особенности протекания химической реакции с минеральным скелетом породы [6].

Математическая модель соляно-кислотного воздействия учитывает использование реагентов замедлителей кислотной реакции и реагентов отклонителей в рабочих растворах [кислоты]. Эффективность соляно-кислотного воздействия определяется числом Дамкелера, которое в диапазоне 0,1-1 характеризует воздействие как наиболее эффективное.

Еще одним перспективным направлением повышения эффективности соляно-кислотного воздействия особенно в условиях низкого пластового давления является учет процессов, происходящих в пористой среде.

Процессы, происходящие в пористой среде карбонатных коллекторов на микроуровне, существенно влияют на эффективность вытеснения нефти из неё [7]. Капиллярные явления, с одной стороны, препятст-

вуют вытеснению нефти из плотных блоков матрицы, с другой, обеспечивают реализацию механизма обратной противоточной пропитки. Вытеснение нефти из капилляров осуществляется благодаря высокой степени гидрофильности поверхности минерального скелета породы за счет повышенного давления в высокопроводящих каналах [8]. На границе «минерал - пластовая вода» образуется некая переходная зона жидкости, характеризующаяся отличными от остальной части воды свойствами и образующая слой связанной воды. Многие исследователи в этой зоне выделяют два слоя: адсорбированный и лиосорбированный (рыхлосвязанный) [9, 10]. Силы, формирующие лиосорбированный слой, стремятся к выравниванию толщины слоя по всей площади распространения этого слоя. Если толщина этого слоя в какой-то области распространения увеличивается, например за счет нагнетания воды в пласт, то начинаются процессы перераспределения (перемещения) воды в остальные области и выравнивания слоя до одинаковой толщины по всей площади.

Механизм капиллярной пропитки пористых блоков может реализоваться в различных условиях заводнения нефтеносных пластов. При некоторых условиях пропитка может быть достаточно существенной и глубокой. Авторы [3] отмечают, что всем наблюдаемым в реальных условиях заводнения пластов капиллярным явлениям свойственна одна общая черта: капиллярные процессы происходили при избыточном или неустановившемся (переменном по знаку) давлении в частично водонасыщенной среде. Эти условия в пустотной среде пласта-коллектора являются благоприятными для активизации процессов капиллярной пропитки. Нестационарное состояние флюидов в пустотном пространстве пласта, избыточное давление в одной из фаз насыщающих поры, которое может быть создано нагнетанием воды, и представляют дополнительную энергию, необходимую для инверсии смачиваемости гидрофобных участков поверхности пор и преодоления менисками равновесных высот.

Исходя из представлений о механизме капиллярной пропитки, предложен метод ин-

тенсификации добычи из карбонатных коллекторов. Технологически процесс будет включать два режима: первый - нагнетания, второй - остановки закачки (период перераспределения давления).

В режиме нагнетания кислота будет поступать в высокопроницаемые трещинные каналы. В период остановки закачки благодаря повышенному давлению в водонасыщенной части пористой среды кислотный раствор будет внедряться в узкие каналы пористой среды. При закачке давление нагнетания не должно превышать значений бокового горного давления и быть ниже давления образования новых трещин. Такие параметры обработки позволяют активизировать механизм капиллярной пропитки в плотных пористых блоках призабойной зоны, где в качестве смачивающей фазы выступает внедрившийся кислотный раствор. Этот процесс будет сопровождаться увеличением как мелких проводящих, так и крупных емкостных поровых каналов за счет частичного растворения минерального скелета коллектора и, соответственно, существенного повышения проницаемости в целом.

При последующих циклах закачки в увеличенные поровые каналы будет внедряться большее количество кислотного раствора, что приведет к дальнейшему увеличению каналов пористых блоков и росту их проницаемости.

На основе изложенных представлений о механизме вытеснения нефти из пористого пространства карбонатных коллекторов разработан метод соляно-кислотного воздействия на призабойную зону продуктивных пластов, содержащих высоковязкую нефть [11]. При разработке метода учитывалось, что обрабатываемые скважины эксплуатируют зоны с низкими пластовыми давлениями. В общем, весь технологический процесс метода интенсификации состоит из этапов подготовки к обработке, циклической закачки в призабойную зону кислотного раствора, его выдержки для реагирования и извлечения продуктов реакции свабированием.

Предлагаемый метод [11, 12] подразумевает медленное увеличение давления в обрабатываемой призабойной зоне пласта и

внедрение в поровое и микротрещинное пространство карбонатных пород раствора соляной кислоты в многоцикловом режиме. Такой режим нагнетания кислотного раствора позволяет наиболее полно охватить обработкой пласт как в глубину, так и по толщине и существенно увеличить проницаемость призабойной зоны скважины. Эффективность такого воздействия выше по сравнению с результатами выполненных работ по традиционному способу. Подтверждением этому являются более высокие показатели роста продуктивности скважин и продолжительность полученных технологических эффектов.

Все закачки выполняют малопроизводительным насосом с расходом 20-80 м³/сут. В качестве буферного рабочего агента (для доведения и продавки в пласт раствора кислоты) применяются пресная вода или товарная нефть.

Импульсная закачка с выдержкой для реагирования, изменение продолжительности циклов позволяют раствору кислоты проникать в низкопроницаемые зоны пласта.

Серия «закачка - разрядка» создает благоприятные условия для возникновения процессов обратной капиллярной пропитки в призабойной зоне пласта, что приводит к увеличению пор коллектора и освобождению их от нерастворимых механических частиц.

В 2012 году по предложенному методу интенсификации обработана скважина № 8488 Курмышского месторождения. Карбонатный продуктивный пласт перфорирован на глубинах 1120-1127 м и 1129-1137 м. Вскрытый коллектор относится к порово-трещинному типу [13].

В результате обработки по предложенному способу прирост дебита составил 3,5-5 м³/сут с продолжительностью эффекта более 7 мес. При выполнении традиционных обработок призабойной зоны скважины в аналогичных условиях прирост дебита скважины составлял 1-2 м³/сут и продолжительностью не более 1-2 мес.

Выводы

1. Рекомендуемый состав кислотного раствора имеет вид: 12-15 % соляной кислоты, 3-5 % уксусной кислоты, 0,5-1,0 % ингибитора коррозии, 0,5-1,0 % деэмульгатора.

2. Эффективность процесса СКО определяется числом Дамкелера. Проведенные эксперименты и анализ опыта применения предложенных составов позволяют реализовать при обработке оптимальные числа Дамкелера.

3. Управление процессом воздействия осуществляется скоростью закачки, объемом оторочки реагента и характеристическим временем реакции. При выполнении обработки оптимальные значения чисел Дамкелера поддерживались за счет темпов закачки 4-5 м³/сут на 1 м перфорированной толщины.

4. Эффективные объемы закачки раствора составляют около 0,7-2 м³ на 1 м перфорированной толщины. Расчет эффективных объемов закачки по разработанной математической модели пласта показал, что эффект от воздействия увеличится на 10-15 %.

5. С целью повышения эффективности воздействия при СКО нагнетательных скважин предлагается использование замедлителей кислотной реакции с карбонатной поро-

дой и реагентов отклонителей. Прогнозирование эффективности воздействия с использованием реагента замедлителя реакции «ЗСК-1» составит около 5 %. Использование реагентов-отклонителей выравнивает приемистость отдельных интервалов слоисто-неоднородного пласта (снижается на 30-55 % дисперсия распределения приемистостей прослоев) при падении общей приемистости обрабатываемого интервала на 20 %.

6. В условиях низкого пластового давления (0,2-0,4 от начального пластового) рекомендуется метод импульсного солянокислотного воздействия.

7. Применение импульсного кислотного воздействия позволяет повысить эффективность обработки пласта и существенно увеличить продуктивность скважины в условиях низкого забойного давления. Эффективность воздействия в 2-3 раза выше по сравнению с обработкой, выполненной по традиционному способу, а продолжительность - в 3-4 раза дольше.

Список литературы

1. Hill A.D., Lindsay D.M., Silberberg I.H., Schechter R.S. Theoretical and Experimental Studies of Sandstone Acidizing // *SPE Journal*. February, 1981. P. 30-40.
2. Пат. 2184224 РФ, МПК Е 21 В 43/27. Состав для обработки карбонатных пластов / Селимов Ф.А., Хайрединов Н.Ш., Качин В.А., Кустов Н.И., Кузин С.Л., Телин А.Г., Блинов С.А., Чупров Н.М., Нечаева О.Е. (РФ). № 2000106266; заявл. 13.03.2000; опубл. 13.03.2000.
3. Чижов А. П., Андреев В.Е., Чибисов А.В., Иванов Д.В., Андреев А.Е. Интенсификация притока из карбонатных коллекторов для условий Волго-Урала // *Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов*. 2016. Вып. 3 (105). С. 35-42.
4. Патент 2537433 РФ, МПК Е 21 В 43/27. Способ обработки призабойной зоны скважины с низким пластовым давлением / Ишканиев Д.А., Иванов Д.В., Заббаров Р.Г. (РФ). 2013147717/03, заявл. 28.10.2013; опубл. 10.01.2015. Бюл. 1.
5. Токарев М.А., Токарева Н.М., Зубаиров С.Г. Комплексное воздействие на продуктивный пласт при вторичном вскрытии с помощью гидромеханической щелевой перфорации // *Нефтегазовое дело*. 2016. Т. 14. № 2. С. 72-79.
6. Ле Вьет Хай, Велиев М.М. Повышение продуктивности добывающих скважин на основе

References

1. Hill A.D., Lindsay D.M., Silberberg I.H., Schechter R.S. Theoretical and Experimental Studies of Sandstone Acidizing. *SPE Journal*. February, 1981, pp. 30-40.
2. Selimov F.A., Khairidinov N.Sh., Kachin V.A., Kustov N.I., Kuzin S.L., Telin A.G., Blinov S.A., Chuprov N.M., Nechaeva O.E. *Sostav dlya obrabotki karbonatnykh plastov* [Composition for Treatment of Carbonate Layers]. Patent RF, No. 2184224, 2000. (in Russ.).
3. Chizhov A. P., Andreev V.E., Chibisov A.V., Ivanov D.V., Andreev A.E. Intensifikatsiya pritoka iz karbonatnykh kollektorov dlya uslovii Volgo-Urala [Stimulation of Inflow from Carbonate Reservoirs for the Volga-Urals Conditions]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2016, Issue 3 (105), pp. 35-42. (in Russ.).
4. Ishkineev D.A., Ivanov D.V., Zabbarov R.G. *Sposob obrabotki prizaboinoi zony skvazhiny s nizkim plastovym davleniem* [A Method for Treating a Bottomhole Well Zone with Low Reservoir Pressure]. Patent RF, No. 2537433, 2015. (in Russ.).
5. Tokarev M.A., Tokareva N.M., Zubairov S.G. *Kompleksnoe vozdeistvie na produktivnyi plast pri vtorichnom vskrytii s pomoshch'yu gidromekhanicheskoi shchelevoi perforatsii*

некислотных компонентов с образованием кислотного состава на забое скважин // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2015. Вып. 4 (102). С. 52-59.

7. Антонов М.С., Попов А.Ю., Кузнецова Т.И. Особенности разработки многопластового объекта единым фильтром скважин в условиях несовершенства системы заводнения // Нефтепромысловое дело. 2012. № 7. С. 11-14.

8. Глущенко В.Н., Пташко О.А., Харисов Р.Я., Денисова А.В. Кислотные обработки: составы, механизмы реакций, дизайн. Уфа: Гилем, 2010. 392 с.

9. Андреев В.Е., Котенев Ю.А., Чижов А.П., Чибисов А.В., Федоров К.М., Галимов Ш.С. Обоснование комплексирования физико-химических и гидродинамических методов увеличения нефтеотдачи на Ват'Еганском месторождении // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2010. Вып. 3 (81). С. 5-11.

10. Котенев Ю.А., Чижов А.П., Федоров К.М., Андреев А.В., Хузин Р.Р. Совершенствование соляно-кислотного воздействия на карбонатные коллекторы и прогнозирование его результатов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2009. Вып. 2 (76). С. 5-11.

11. Андреев В.Е., Дубинский Г.С. Опытные промышленные работы по регулированию профиля отдачи скважин месторождения Кожасай с использованием композиционного состава // Вестник Академии наук РБ. 2012. № 6. С. 11-14.

12. Хисамутдинов Н.И., Владимиров И.В., Казакова Т.Г. Проблемы сохранения продуктивности скважин и нефтенасыщенных коллекторов в заключительной стадии разработки. СПб.: Недра, 2007. 232 с.

13. Келбалиев Г.И., Рзаев Аб.Г. Мустафаева Г.Р., Расулов С.Р. Проблемы нелинейностей уравнений фильтрации нефтей в пористых средах // Нефтепромысловое дело. 2015. № 8. С. 23-26.

[Integrated Productive Reservoir Stimulation during Casing Perforation by Means of Hydromechanical Slotted Perforation]. *Neftegazovoe delo - Engineering*, 2016, T. 14, No. 2, pp. 72-79. (in Russ.).

6. Le V'et Khai, Veliev M.M. Povyshenie produktivnosti dobyvayushchikh skvazhin na osnove neekislotnykh komponentov s obrazovaniem kislotnogo sostava na zaboe skvazhin [Improved Productivity of Producing Wells Based on Non-Acidic Component with the Formation of Acid Composition at the Bottom-Hole Zone]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2015, Issue 4 (102), pp. 52-59. (in Russ.).

7. Antonov M.S., Popov A.Yu., Kuznetsova T.I. Osobennosti razrabotki mnogoplastovogo ob'ekta edinyim fil'trom skvazhin v usloviyakh nesovershenstva sistemy zavodneniya [Some Aspects of Multi-Layer Object Development by Means of a Unified Well Screen in Conditions of Imperfection of Water-Flooding System]. *Neftepromyslovoye delo - Oilfield Engineering*, 2012, No. 7, pp. 11-14. (in Russ.).

8. Glushchenko V.N., Ptashko O.A., Kharisov R.Ya., Denisova A.V. *Kislotnye obrabotki: sostavy, mekhanizmy reaktsii, dizain* [Acid Treatment: Compositions, Reaction Mechanisms, Design]. Ufa, Gilem Publ., 2010. 392 p. (in Russ.).

9. Andreev V.E., Kotenev Yu.A., Chizhov A.P., Chibisov A.V., Fedorov K.M., Galimov Sh.S. Obosnovanie kompleksirovaniya fiziko-khimicheskikh i gidrodinamicheskikh metodov uvelicheniya nefteotdachi na Vat'Eganskom mestorozhdenii [Substantiation of Combining Physical-Chemical and Hydrodynamic Methods to Enhance Oil Recovery at Vat-Yoganskoye Field]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2010, Issue 3 (81), pp. 5-11. (in Russ.).

10. Kotenev Yu.A., Chizhov A.P., Fedorov K.M., Andreev A.V., Khuzin R.R. Sovershenstvovanie solyanokislotnogo vozdeistviya na karbonatnye kolektory i prognozirovaniye ego rezul'tatov [Development of Hydrochloric Acid Stimulation of Carbonate Reservoir and Prediction of its Results]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2009, Issue 2 (76), pp. 5-11. (in Russ.).

11. Andreev V.E., Dubinskii G.S. Opytno-promyslovyye raboty po regulirovaniyu profilya otdachi skvazhin mestorozhdeniya Kozhasai s ispol'zovaniem kompozitsionnogo sostava [Experimental and Commercial Work to Regulate the Profile of the Wells Output of the Kozhasai Field with the Use of a Composite Compound]. *Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan - Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, 2012, No. 6, pp. 11-14. (in Russ.).

12. Khisamutdinov N.I., Vladimirov I.V., Kazakova T.G. *Problemy sokhraneniya produktivnosti skvazhin i neftenasyschennykh kolektorov v zaklyuchitel'noi stadii razrabotki* [Prob-

lems of Preservation of Well Productivity and Oil-Saturated Reservoirs in the Final Stage of Development]. Saint-Petersburg, Nedra Publ., 2007. 232 p. (in Russ.).

13. Kelbaliev G.I., Rzaev Ab.G. Mustafaeva G.R., Rasulov S.R. Problemy nelineinosti uravnenii fil'tratsii neftei v poristyykh sredakh [Problems of Non-linearities in the Equations of Oil Filtration in Porous Media]. *Neftepromyslovoye delo - Oilfield Engineering*, 2015, No. 8, pp. 23-26. (in Russ.).

Авторы

• Чижов Александр Петрович, канд. техн. наук, доцент
Государственное автономное научное учреждение «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан»
Ведущий научный сотрудник
Российская Федерация, 450075, г. Уфа, пр. Октября, 129/3
тел. (347) 235-78-32
e-mail: 4ap@list.ru

• Андреев Вадим Евгеньевич, д-р техн. наук, профессор
Государственное автономное научное учреждение «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан»
Руководитель Центра нефтегазовых технологий и новых материалов
Российская Федерация, 450075, г. Уфа, пр. Октября, 129/3
тел. (347) 235-77-19
e-mail: ufanegr@anrb.ru

• Чибисов Александр Вячеславович, канд. техн. наук
Государственное автономное научное учреждение «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан»
Старший научный сотрудник
Российская Федерация, 450075, г. Уфа, пр. Октября, 129/3
тел. (347) 235-78-32
e-mail: z077@mail.ru

• Орловский Сергей Леонидович
Государственное автономное научное учреждение «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан»
Старший научный сотрудник
Российская Федерация, 450075, г. Уфа, пр. Октября, 129/3
тел. (347) 235-78-32
e-mail: eaglesas@mail.ru

The Authors

• Chizhov Aleksandr P., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Institute of Strategic Researches of the Republic of Bashkortostan, State Autonomous Scientific Department
Leading Researcher
129/3, October ave., Ufa, 450075, Russian Federation
tel: (347) 235-78-32
e-mail: 4ap@list.ru

• Andreev Vadim Ye., Doctor of Technical Sciences, Professor
Institute of Strategic Researches of the Republic of Bashkortostan, State Autonomous Scientific Department
Head of the Center for Oil and Gas Technologies and New Materials
129/3, October ave., Ufa, 450075, Russian Federation
tel: (347) 235-77-19
e-mail: ufanegr@anrb.ru

• Chibisov Aleksandr V., Candidate of Technical Sciences
Institute of Strategic Researches of the Republic of Bashkortostan, State Autonomous Scientific Department
Senior Researcher
129/3, October ave., Ufa, 450075, Russian Federation
tel: (347) 235-78-32
e-mail: z077@mail.ru

• Orlovskiy Sergey L.,
Institute of Strategic Researches of the Republic of Bashkortostan, State Autonomous Scientific Department
Senior Researcher
129/3, October ave., Ufa, 450075, Russian Federation
tel: (347) 235-78-32
e-mail: eaglesas@mail.ru

• Федоров Константин Михайлович, д-р
физ.-мат. наук, профессор
Государственное автономное научное
учреждение «Институт стратегических
исследований Республики Башкортостан»
Главный научный сотрудник
Российская Федерация, 450075, г. Уфа,
пр. Октября, 129/3
тел. (347) 235-78-32
e-mail: intnm@ya.ru

• Fedorov Konstantin M., Doctor of Physical
and Mathematical Sciences, Professor
Institute of Strategic Researches of the Republic
of Bashkortostan, State Autonomous Scientific
Department
Chief Researcher
129/3, October ave., Ufa, 450075,
Russian Federation
tel: (347) 235-78-32
e-mail: intnm@ya.ru

• Иванов Денис Владимирович
ОАО «МАКойл»
Главный инженер
Российская Федерация, 423040, Республика
Татарстан, г. Нурлат, ул. им. А.К. Самаренкина, 8
тел. (84345) 2-85-00
e-mail: makoil.ivanov@mail.ru

• Ivanov Denis V.
Makoil LLC
Chief Engineer
8, A.K. Samarenkin str., Nurlat, 423040, Republic
of Tatarstan, Russian Federation
tel: (84345) 2-85-00
e-mail: makoil.ivanov@mail.ru