

На правах рукописи

КЕЛДИБАЕВА СВЕТЛАНА СЫРЛЫБАЕВНА

**РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ МЕТОДОВ
ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ НЕНЬЮТОНОВСКОЙ НЕФТИ
НА ОСНОВАНИИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ
ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ СКВАЖИНЫ**

2525.01 – Разработка и эксплуатация нефтяных и
газовых месторождений

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени
доктора философии по техническим наукам

БАКУ – 2017

Работа выполнена в Научно-исследовательском и проектном институте «Нефтегаз» Государственной Нефтяной Компании Азербайджанской Республики

Научный руководитель: член-корреспондент НАНА,
доктор технических наук, проф.
Сулейманов Багир Алекпер оглы

Официальные оппоненты: доктор технических наук, проф.
Велиев Фуад Гасан оглы

доктор технических наук, проф.
Самедов Тофик Алиовсат оглы

Ведущая организация: НИИ «Геотехнологические
проблемы нефти, газа и химия»

Защита диссертации состоится «30» октября 2017 г. в 14³⁰ на заседании Диссертационного Совета D.01.081 при Институте Геологии и Геофизики Национальной Академии Наук Азербайджана

Адрес: AZ1143, г. Баку, Азербайджан, пр. Г.Джавида 119
Факс: (+99412) 537 22 85
E-mail: gia@azdata.net

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института Геологии и Геофизики Национальной Академии Наук Азербайджана

Автореферат разослан «29» сентября 2017

**Ученый секретарь
Диссертационного Совета,
доктор философии
по техническим наукам**



Мирзоева Д.Р.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время одним из основных задач нефтяной отрасли Казахстана является увеличение темпов нефтеотдачи пластов на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами, находящихся на поздней стадии разработки и имеющих значительные остаточные запасы нефти.

В Казахстане основные запасы углеводородного сырья сосредоточены в западных областях республики, а именно на таких крупных и уникальных месторождениях как Тенгиз, Карачаганак, Узень, Жетыбай, Карамандыбас, Каражанбас и т.д.

Многие из этих месторождений отличаются специфическими особенностями, как по геолого-физическим характеристикам продуктивных пластов, так и по физико-химическим свойствам насыщающих их флюидов. Нефти месторождений западного региона являются тяжелыми, высокопарафинистыми (до 26%), содержащими большое количество смол и асфальтенов (до 20%). Объемы невыработанных запасов анализируемых месторождений составляют 60-70%, при этом уровень обводненности достигает 80-90%.

Существующими методами интенсификации нефтедобычи возможно извлечь не более 50% геологических запасов месторождения. Более того, добыча нефти на месторождении Узень снижается за счет таких факторов, как сложное геолого-физическое строение нефтенасыщенных залежей, высокая вязкость и парафинистость нефти, а также увеличения текущей обводненности продукции скважин.

Для достижения утвержденного коэффициента нефтеотдачи месторождения Узень, актуальным является поддержания существующего уровня добычи нефти с применением новых высокоэффективных методов повышения нефтеизвлечения (МПН).

Цель работы разработка и применение новых методов интенсификации добычи неньютоновской нефти.

Основные задачи исследования

– Статистическое моделирование жизненного цикла нефтяного месторождения;

Разработка:

– критериев выбора скважин при проведении гидравлического разрыва пласта (ГРП) на поздних стадиях разработки;

– нового состава для удаления асфальтено-смолопарафиновых отложений;

– нового способа повышения нефтеотдачи пласта на основе применения биореагентов.

Методы решения поставленных задач

Поставленные задачи решались путем применения методов математической статистики, экспериментальных и промысловых исследований.

Научная новизна

– На основе статистического моделирования жизненного цикла месторождения Узень предложен метод выделения стадий разработки, прогноза начальных извлекаемых запасов и пиковой добычи нефти;

– Предложен критерий для выбора скважин при проведении ГРП на поздних стадиях разработки, основанный на анализе изменения процента содержания нефти от отбора жидкости;

– Разработаны новый высокоэффективный состав для удаления асфальтено-смолопарафиновых отложений, и новый способ повышения нефтеотдачи пласта на основе применения биореагентов.

Защищаемые положения

На защиту выносятся:

- новый метод статистического моделирования нефтяного месторождения, позволяющий выделение стадий разработки, прогноза начальных извлекаемых запасов и пиковой добычи нефти;

- критерий для выбора скважин при проведении ГРП на поздних стадиях разработки;

- состав для удаления асфальтено-смолопарафиновых отложений и способ повышения нефтеотдачи пласта на основе применения биореагентов.

Практическая значимость результатов работы

На разработанный состав для удаления асфальтено-смолопарафиновых отложений подана заявка на получение Евразийского патента ЕА 201650128 и получено уведомление о положительном результате формальной экспертизы от 01.02.2017.

Разработанный критерий для выбора скважин при проведении ГРП на поздних стадиях разработки успешно опробован на месторождении Узень. Анализ эффективности 12-ти скважин, выбранных, с использованием предложенного критерия показал, что коэффициент успешности ГРП составил 98%, а общая дополнительная добыча нефти составила 25025 тонн.

На разработанный способ повышения нефтеотдачи пласта пода-

на заявка на получение Евразийского патента ЕА 2017 00267 и получено уведомление о положительном результате формальной экспертизы от 02.06.2017 г. Технология повышения нефтеотдачи микробиологическим методом воздействия на пласт опробована на 5м блоке XIII горизонта месторождения Узень. В результате внедрения биовоздействия суммарная добыча дополнительной нефти за год составила 47468 тонн.

Апробация работы

Материалы диссертации докладывались и обсуждались на:

- Международной научно-практической конференции «Современные проблемы нефтегазового комплекса Казахстана» - г. Актау, 2011 г.;

- Международной научно-практической конференции «Новые технологии в нефтегазодобыче», НИПИ «Нефтегаз» ГНКАР, 2012 г

- Международной научно-практической конференции «Инновационные проблемы нефтегазового комплекса Казахстана» -г. Актау, 2013г.;

- IV Международном научном симпозиуме «Теория и практика применения методов увеличения нефтеотдачи пластов», г. Москва, ОАО "ВНИИнефть", 2014 г.

- Форуме "Геологоразведка Казахстана: Фокус нефть и газ", г. Астана, 2015г.

- Каспийской Технической конференции и выставке SPE, г. Баку Азербайджан, 2015г.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 14 трудов, из которых 6 статей, 6 тезисов, 2 заявки на получение Евразийского патента

Структура и объём работы

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, списка литературы, включающего 123 наименования и приложения. Работа изложена на 194 страницах, содержит 33 таблицы и 53 рисунка.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель, основные задачи и указана ее практическая ценность.

В первой главе диссертации дан литературный обзор, в частности приводится сравнительный анализ эффективности различных ме-

тодов увеличения добычи нефти на казахстанских месторождениях, уделено особое внимание на применяемые методы воздействия на нефтенасыщенные залежи месторождения Узень, проведен анализ диагностики состояния скважин и призабойной зоны, разработан метод статистического моделирования разработки месторождения.

Месторождение Узень является одним из крупных и уникальных месторождений Казахстана с невыработанными запасами нефти и трудноизвлекаемыми запасами. Для месторождения характерно после стабилизации постепенное снижение добычи нефти, разбуренность всей площади, а также высокая обводненность продукции скважин. На месторождении добывается неньютоновская нефть с высоким содержанием парафинов и асфальто-смолистых веществ и температурой застывания + 20⁰С. Образование отложений парафина на подземном и наземном нефтепромысловом оборудовании, а также в призабойной зоне (ПЗ) и близлежащих к ней зонах продуктивного пласта приводят к ухудшению фильтрационных характеристик ПЗ пласта и снижению притока нефти к забою. В работе выполнен анализ способов увеличения добычи неньютоновской нефти и расчет жизненного цикла месторождения.

Для увеличения производительности скважин и достижения коэффициента нефтеотдачи пластов за счет улучшения гидродинамической связи между скважинами, увеличения охвата заводнением и вовлечения в разработку слабо дренированных зон наиболее эффективными методами воздействия являются: бурение горизонтальных скважины (ГС), гидроразрыв пласта (ГРП), ремонтно-изоляционные работы (РИР), потокоотклоняющие технологии (ПОТ), комплексные методы эмульсионного воздействия (ЭКВ), и др.

Критерием эффективности гидроразрыва пласта являются такие показатели как: успешность проведения работ, средний прирост дебита нефти по одной скважине, суммарная дополнительная добыча нефти по всем скважинам за определенный период, использование характеристик вытеснения для определения, вовлеченных в разработку запасов нефти до и после проведения гидроразрыва пласта. При проведении вышеприведенных мероприятий оценка эффективности показала, что работы оказались успешными и привели к увеличению дебита нефти в среднем по скважинам в 6,5-7 раз.

Гидродинамические исследования скважин (ГДИС) до и после проведения работ по интенсификации добычи нефти могут дать пол-

ную информацию об оценке состояния ПЗП и установлению оптимальных режимов работы скважин.

Результаты гидродинамических исследований в скважинах с ГРП указывают на улучшение фильтрационно-емкостных и продуктивных характеристик пласта. Исключение составляют скин-факторы, что говорит о загрязнении призабойной зоны пласта, возможно, вследствие не качественной промывки после проведения гидроразрыва пласта.

Комплекс выполненных ГДИС за анализируемый период методами установившихся режимов фильтрации (ИД), кривой восстановления давления (КВД), кривой восстановления уровня (КВУ) и кривой падения давления (КПД) позволили оценить состояние призабойных зон эксплуатационных скважин, определить фильтрационные свойства разрабатываемых горизонтов, такие как проницаемость, пьезопроводность и гидропроводность, в конкретных зонах.

Понятие стадийности и критерии выделения стадий разработки нефтяных и газовых месторождений были разработаны и описаны ранее. В технической литературе существует множество решений проблем разбиения жизненного цикла разработки месторождения на отдельные стадии и их названий. Весь жизненный цикл нефтяного и газового месторождения разбивается на четыре последовательные стадии: становление (build-up), развитие (developing), упадок (decline) и зрелость (maturity), которые с достаточно хорошей достоверностью (не менее 80%) описываются соответственно логнормальным, экспоненциальным, Парето и Вейбулла распределениями.

Первый период (становление) – это начальный период разработки с неустановившимся режимом и адаптивным подбором специальной технологии эксплуатации в соответствии с фильтрационными характеристиками пласта. Второй период (рост) связан с увеличением темпа отбора нефти и продолжается до достижения максимального уровня добычи нефти и возможной стабилизацией этого уровня в виде уровня насыщения (так называемого «плато»). Третий период (упадок) характеризуется обводнением и загрязнением пласта, что приводит к резкому снижению добычи нефти. Наконец, четвертый период (зрелость) отражает исчерпывающий характер применения естественных способов эксплуатации, с флуктуирующим относительно некоторого минимального значения уровнем добычи нефти, что приводит к необходимости использования дополнительных (искусственных) методов увеличения нефтеотдачи (МУН).

Приведенные выше этапы эксплуатации нефтяного месторождения отличаются друг от друга типом функции распределения текущего отбора углеводородов. На основе метода максимума компактности разработан приведенный способ к определению граничных точек смежных стадий в пределах точности задания кривой отбора нефти, используя которые вычисляется длительность каждой стадии. Достоверность полученных результатов определяется степенью согласия теоретических и эмпирических функций распределения.

Предложены численные процедуры расчета остаточных извлекаемых запасов нефти и времени достижения максимального уровня текущей добычи нефти. Кроме того, показана возможность сведения функции распределения Вейбулла значений текущей добычи нефти на четвертой стадии разработки к решению логистической модели для накопленной нормированной добычи нефти, что позволяет строить одношаговые и многошаговые прогнозы добычи нефти на завершающей стадии разработки с применением адаптивного фильтра Калмана в дискретном времени и оценивать реальные возможности достижения проектных показателей при существующей системе разработки.

Статистическое моделирование жизненного цикла месторождения позволило выделить стадии разработки и их длительность, при котором можно скорректировать стратегию доработки месторождения на основе сравнения проектных и прогнозируемых извлекаемых запасов.

При помощи анализа выявлено, что при прогнозе в период (1965-1999гг.) начальные запасы составили 72.5 млн. т., т.е. всего 63% от проектных извлекаемых запасов, а после максимального разбухания месторождения с 2000 года начальные извлекаемые запасы при прогнозе в период (2000-2011гг.) составили 106.8 млн. т, что составляет 94% от проектных извлекаемых запасов.

Для дальнейшей стабилизации, интенсификации отборов нефти и увеличения извлекаемых запасов на месторождении необходимо использование новейших методов воздействия на призабойную зону скважин и пластов.

Во второй главе представлены новые методы интенсификации добычи негьютоновской нефти.

Интенсивная разработка неоднородных по нефтенасыщенности и проницаемости продуктивных залежей приводит к интенсивному обводнению высокопроницаемых и водонасыщенных пластов и участков эксплуатационного объекта. В дальнейшем это чревато отклюече-

нием низкопроницаемых прослоев из процесса выработки.

Такие месторождения вырабатываются и характеризуются быстрым снижением отборов нефти, ускоренным ростом обводненности продукции скважин. Максимальную часть их остаточных запасов составляют трудноизвлекаемые запасы слабопроницаемых залежей незначительной мощности.

Месторождения с аномальной нефтью характеризуются низкой нефтеотдачей и быстрым обводнением скважин. При разработке месторождений с тяжелыми, высокопарафинистыми нефтями, содержащими большое количество смол и асфальтенов наблюдаются ухудшение взаимосвязи между скважинами, увеличение неоднородности пласта по проницаемости, вода по зонам с высокой проницаемостью прорывается к эксплуатационным скважинам. В целом снижается охват пласта вытеснением и, следовательно, коэффициент вытеснения нефти из заводненного объема пласта.

Возрастающее внимание и значительное место в нефтедобыче отводится к расширению физико-химических методов воздействия на пласты, а также применению методов повышения нефтеотдачи пластов. Призабойная зона скважин и пластов является основным объектом воздействия с применением различных новых методов и технологий. Увеличение текущей нефтедобычи, а следовательно и повышение нефтеотдачи пласта в целом является результатом грамотно разработанных мероприятий по очистке призабойной зоны, улучшению ее гидродинамического состояния, восстановлению проницаемости залежей. Применение рациональных методов воздействия и обработки призабойной зоны скважин (ПЗС) с целью интенсификации добычи положительно влияют на темпы разработки залежей.

Известно, что гидроразрыв пласта является одним из эффективных методов добычи нефти и жидкости за счет существенного увеличения проницаемости призабойной зоны скважины

Необходимыми этапами при выборе скважины - кандидата для ГРП являются определение технологии разработки, определение характеристик месторождения, расчет стабильности ствола скважины, а также совместный прогноз добычи с оценкой потенциального выноса песка. Среди принятых ранее критериев выбора скважин для ГРП не рассматривался один из важнейших показателей, определяющий зависимость процента содержания нефти от отбора жидкости, на основе которого принимается решение о форсировании отбора жидкости

Приведенный выше анализ эффективности гидроразрыва пласта говорит о том, что не во всех случаях просматривается технологическая успешность операций ГРП, поэтому необходимо применять предложенный ранее дополнительный критерий при выборе скважин для ГРП.

Если при выборе скважин для ГРП учитывать предлагаемый выше критерий, то коэффициент успешности проведенных ГРП на месторождении Узень достиг бы 95% вместо 82,3%.

Как ранее было сказано, из всех применяемых на месторождении технологий наиболее высокоэффективными (80%) оказались ГРП, однако успешность работ в каждом отдельном случае требовала индивидуального подхода с учетом результатов геофизических, гидродинамических исследований, степени выработки запасов. Следовательно задачи применения новых технологий остаются актуальными.

Асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО), образующиеся в нефтепромысловом оборудовании, это проблема, с которой нефтяники сталкиваются постоянно. Применяемые в настоящее время многочисленные методы предупреждения образования АСПО, как физические, так и химические, позволяют увеличить межремонтный период, но полностью избежать образования отложений не удастся.

Наличие АСПО приводит к следующим осложнениям:

- к снижению притока нефти, уменьшению межремонтного периода работы скважин (МРП), эффективности работы насосных установок, а также пропускной способности нефтепроводов;

- к ухудшению фильтрационных характеристик ПЗ пласта, снижению притока нефти к забою за счет резкого повышения гидравлических сопротивлений при добыче нефти и соответственно к уменьшению МРП;

- к снижению эффективности работы насосных установок, систем хранения нефти и проводимость нефтепроводов;

- к запечатыванию АСПО остаточной нефти в пластах, прилегающих к ПЗ. Одним из перспективных путей повышения эффективности удаления (ингибирования) отложений является применение композиционных составов.

На основе проведенных исследований разработан состав для удаления АСПО, включающий углеводородный растворитель и присадку. В качестве присадки он содержит блок сополимер этилен-и пропиленоксида на основе глицерина – лапролы с молекулярной массой 3600-600.

Эффективность удаления АСПО различных месторождений с полученными составами варьируется в пределах 84,4-97,6%.

Изучение реологических свойств нефти месторождения Узень проводились на реометре фирмы Anton Paar Rheolab QC. Выявлено, что нефти месторождения Узень обладают неньютоновскими псевдопластичными свойствами.

На основе проведенных исследований установлено, что разработанный состав для удаления АСПО, одновременно является эффективным понизителем вязкости нефти и способствует модификации реологических кривых, при этом неньютоновская нефть после добавки состава становится ньютоновской.

Среди наиболее интересных, наукоемких и перспективных методов повышения нефтеотдачи пластов являются микробиологические.

Сущность технологии основана на полезном использовании жизнедеятельности микроорганизмов, за счет чего в пласте генерируются биогазы, ПАВы и полимеры микробного происхождения, жирные кислоты, растворители, спирты и другие соединения, которые в комплексе обеспечивают увеличение нефтевытеснения и охвата пласта воздействием. Кислоты и спирты растворяют карбонатные породы, препятствуют солеотложению, что способствует увеличению пористости и проницаемости пород. Особенностью карбонатных пород является то, что кислые продукты микробного происхождения нейтрализуются с одновременным улучшением проницаемости коллекторов и приемистости скважин.

Следует отметить не только технологичность микробиологических методов, но и их низкую себестоимость по сравнению с известными физико-химическими методами. Так, стоимость паротепловой обработки составляет 18-32, закачка CO_2 - 27-37, полимерное заводнение - 30-43, пластовое горение - 23-32, а микробиологические методы - всего 1,5 - 10,7 долл./барр.

Следовательно, перспективность биотехнологических методов повышения нефтеотдачи пластов свидетельствует об их высокой технологичности, экономичности и экологической безопасности.

При биовоздействии на пласты закачивается культуральная жидкость, содержащая микроорганизмы, источники кислорода, питательные вещества для создания оторочки в призабойной зоне нагнетательной скважины с последующим продвижением ее и образующихся продуктов жизнедеятельности микроорганизмов в направлении добывающих скважин.

Практическое применение биотехнологии позволяет на 5 - 7% увеличить вовлекаемые в разработку запасы, в 1,5 - 2 раза повысить продуктивность скважин, а текущую добычу нефти — на 15 - 25%. На фоне постоянного роста цен на энергоносители биотехнологические методы окупаются в течение 1,5 - 2 лет.

Для нефтяных месторождений Азербайджана среди методов повышения нефтеотдачи применение микробиологических методов воздействия на пласты приобрело приоритетное значение, т.к. месторождения вступили в позднюю стадию разработки, сопровождающуюся трудностями извлечения остаточной и обводненной нефти со значительно ухудшенными свойствами

В НИПИ «Нефтегаз» ГНКАР на основе отечественных биореагентов разработаны и широко внедряются в производство несколько видов биотехнологий.

Для обеспечения технологической и экономической эффективности на базе многолетнего опыта в НИПИ «Нефтегаз» разработаны основные критерии применимости биотехнологий. При помощи этих критериев и лабораторных исследований была сделана попытка оценки возможности использования данных технологий на месторождении Узень.

В связи с этим был проведен анализ геолого-технических данных продуктивных горизонтов месторождения и сравнение их с критериями эффективного применения биовоздействия, который показал, что наиболее полно отвечают предъявляемым требованиям показатели XIII горизонта. Достаточная плотность сетки скважин, характеристики коллектора: проницаемость, пористость, глинистость, температура, а также свойства пластовой нефти и воды и т.д. XIII горизонта в совокупности создают благоприятные условия для развития и поддержания биопроцессов. Таким образом, в качестве объекта испытания на XIII горизонте выбран участок, включающий несколько добывающих скважин, находящихся под воздействием нагнетательной.

Из нескольких скважин выбранного участка были отобраны пробы нефти и воды с дальнейшим исследованием их физико-химических свойств в лабораториях НИПИ «Нефтегаз». Показатели плотности и минерализации пластовой воды и содержание в ней хлора, плотности и вязкости нефти указывают на благоприятные условия для существования и развития в них микроорганизмов. Учитывая свойства пластовых вод, содержание смолисто-парафинистых отложений в

нефти можно сделать предварительное положительное заключение об экологической обстановке в пласте для целей биовоздействия.

Для установления возможности адаптации и активности микрофлоры пробы пластовых вод подверглись микробиологическому анализу. Из всего многообразия микроорганизмов пластовых вод лишь некоторые могут считаться определяющими при выявлении возможности внедрения и вида биологического воздействия. Критерием может служить численность углеводородоокисляющих, сульфатвосстанавливающих и гетеротрофных бактерий. Первые из указанных микроорганизмов являются инициаторами энергетических процессов для большинства микроорганизмов, вторые инициаторами сероводородной коррозии, третьи – показателями экологических условий для развития микробиологических процессов. Целью исследований являлось определение в образцах пластовых вод вышеуказанных микроорганизмов.

Исследования отобранных образцов микроорганизмов показали, что в нефтяных пластах существуют условия для внедрения микробиологических методов увеличения нефтеотдачи. При этом микробиологическое воздействие можно осуществлять как внесением микрофлоры и питательных субстратов извне, так и путем активизации естественной (пластовой) микрофлоры.

Наряду с другими факторами, определяющими эффективность биотехнологических процессов, являются характеристики используемых субстратов. Они должны отвечать следующим требованиям:

- быть растворимыми в воде и не осаждаться в пластовой воде;
- разлагаться как аэробной, так и анаэробной микрофлорой;
- по сравнению с пластовой водой обладать лучшими физико-химическими и реологическими свойствами;
- снижать поверхностное натяжение в системе порода - вода - нефть;
- улучшать отношение подвижности нефти и воды;
- увеличивать проницаемость пород нефтяного пласта.

Для подтверждения эффективности использования деятельности пластовой микрофлоры изучены процессы газообразования в различных биосистемах. Эксперименты проводились на аппарате Зонге. Ферментационные процессы изучались в 3-х колбах, в которые для имитации пластовых условий предварительно помещались нефть и пластовая вода. Затем в колбы загружались активные системы в одинаковых количествах, причем компонентный состав каждой из систем

соответствовал разработанным в НИПИ «Нефтегаз» композициям, используемым в технологиях биовоздействия. Таким образом, в 1-ую колбу помещалась молочная сыворотка (МС), во 2-ую – композиция из МС и активного ила (АИ), в 3-ю – композиция из АИ и мелассы (М). Все три колбы были оборудованы герметизирующей пробкой со вставленными в них стеклянными трубками, которые при помощи гибкого шланга соединялись с газосборниками. В последние поступали образующиеся в колбах газы биогенного происхождения, качественное и количественное содержание которых определяли далее на хроматографе.

Эксперименты проводились при $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ с использованием образцов нефти и воды из скважин 57 (1-ая серия опытов) и 77 (2-ая серия опытов). Продолжительность экспериментов соответствовала максимальному выходу газа из биосистем, т.е. опыты останавливались при полном прекращении газообразовательного процесса.

Следует отметить, что в обеих сериях опытов в биосистемах с использованием АИ и МС газообразование отсутствовало. Максимальное количество биогаза образовалось в присутствии АИ и М (скв.57 – 220 см^3 , скв.77 – 250 см^3). В композициях с использованием только МС в сериях образовалось соответственно 120 см^3 и 240 см^3 газа. В составе биогаза по данным хроматографии в обеих системах наблюдалось образование метана и азота.

Таким образом, следуя результатам экспериментальных исследований, эффективными на месторождении Узень будут две биотехнологии, основанные на закачке в пласт композиции активного ила с мелассой и молочной сыворотки.

Для повышения эффективности микробиологических методов воздействия на пласт разработан новый способ повышения нефтеотдачи пласта, в котором перед закачкой органического субстрата создается оторочка воды низкой солености в объеме 30% от объема пор. В качестве органического субстрата используют 10-15 % раствор подсырной и творожной молочной сыворотки в воде низкой солености в соотношении 75:25.

При производственных процессах получают молочную сыворотку следующих видов: подсырную (сладкую), которая является побочным продуктом сырного производства; творожную (кислую), являющуюся отходом творожного производства. Данные виды молочной сыворотки отличаются составом и физико-химическими свойствами.

Сущность предлагаемого способа заключается в том, что закачка оторочки воды низкой солености способствует изменению смачиваемости породы и высвобождению молекул нефти с породы пласта. При нагнетании в пласт воды, минерализация которой меньше, чем минерализация пластовой воды, свободные катионы, находящиеся в закачиваемой воде, такие как ионы Na^+ , заменяют катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} и высвобождают молекулы нефти. При этом смачиваемость породы меняется от гидрофобности к гидрофильности. Закачка воды низкой минерализации способствует дисперсии глины, в результате чего она выпускает компоненты нефти, которые первоначально были прикреплены к поверхности глины. В результате происходящих процессов увеличивается коэффициент вытеснения нефти из пласта.

Закачанный следом за оторочкой раствор подсырной и творожной молочной сыворотки активизирует жизнедеятельность пластовой и внесенной микрофлоры, эффективность которой выше при низкой минерализации вод. При введении раствора подсырной и творожной молочной сыворотки в нефтяной пласт образуются кислоты, спирты, эфиры, растворители, газы (CO_2 , CH_4 , H_2 , N_2), биоПАВы и биополимеры. Закачка воды низкой солености способствует отмыву нефти и гидрофилизации поверхности, в результате чего образованные кислоты и спирты биогенного происхождения, непосредственно контактируя с породой, растворяют карбонатные породы, препятствуют солеотложению и приводят к увеличению пористости и проницаемости пород. Образованные растворители непосредственно участвуют в экстракции капельной и пленочной нефти из пород, улучшают смачиваемость пород. В процессах брожения в анаэробной зоне в газовую фазу выделяются CO_2 , CH_4 , H_2 , N_2 и др. газы, объем которых увеличивается со снижением минерализации воды.

Молочная сыворотка одновременно является источником микроорганизмов и питательной средой для пластовой и внесенной микрофлоры. Наличие большого числа различных групп микроорганизмов (10^3 - 10^5 кл/мл) в составе сыворотки, а также большое разнообразие легкоусвояемых органических веществ для их питания, способствуют быстрому увеличению численности микроорганизмов.

Для исследования эффективности предложенного способа проводились исследования на аппарате Зонге. В колбы заполнялись нефть, растворы подсырной и творожной молочной сыворотки и вода низкой солености. Колбы закупоривались герметичными пробками, а

вставленные в пробку стеклянные трубки соединялись эластичным шлангом с газосборником. После прекращения процесса газообразования на хроматографе определялся состав газа и количество образованного CO_2 .

Результаты исследований показали, что в колбе с нефтью, водой низкой солености и раствором подсырной и творожной молочной сыворотки в соотношении 75:25 образование CO_2 максимальное (68 %), что подтверждает эффективность предложенного способа.

Для изучения влияния закачанных реагентов на коэффициент вытеснения остаточной нефти из обводненных пластов проводились сравнительные экспериментальные исследования на линейных моделях пласта. Модели заполнялись кварцевым песком с добавкой глинистого материала и по известной методике определялись пористость и абсолютная проницаемость. При постоянной температуре и перепаде давления модели насыщались пластовой водой, затем вода вытеснялась нефтью с вязкостью 85,3 мПа·с. Для создания модели обводненного пласта нефть вытеснялась пластовой водой. Далее перед микробиологическим воздействием в модели закачивали различные объемы воды низкой солености, а следом проводили закачку подсырной молочной сыворотки и творожной молочной сыворотки в соотношении 75 : 25 % масс. Модели закрывали и следили за изменением давления. После того как рост давления прекращался модели открывали и прокачивали пластовую воду. Для сравнения в последнюю модель закачивали 15 % молочной сыворотки без предварительного создания оторочки воды низкой минерализации.

Как показали результаты экспериментов максимальный прирост коэффициента вытеснения 19,5 % получен при 30 %-ном объеме закачки оторочки воды низкой солености и 15%-ной концентрации раствора подсырной и творожной молочной сыворотки в воде низкой солености. При дальнейшем увеличении объема оторочки и концентрации раствора эффективность процесса уменьшается. В последней модели прирост коэффициента вытеснения составил 15,5 %.

Таким образом, для повышения нефтеотдачи пласта необходимо закачивать 10-15 %-ный раствор подсырной и творожной молочной сыворотки в соотношении 75:25 % масс. с предварительной закачкой оторочки воды низкой солености в объеме 30 % от объема пор. При этом коэффициент вытеснения нефти составит 74 %.

В третьей главе диссертационной работы приводятся результа-

ты внедрения разработанных мероприятий по интенсификации добычи неконъюнктивной нефти на месторождении Узень.

На 13 горизонте месторождения Узень внедрялись различные методы увеличения нефтеотдачи (МУН) и воздействия на призабойную зону пласта (ПЗП). Как следует из приведенных ранее данных (во второй главе), на месторождении Узень наиболее эффективным методом является гидравлический разрыв пласта (ГРП).

В целом, технология ГРП способствует существенному увеличению добычи нефти на поздней стадии разработки месторождений и позволяет:

- создать гидродинамическую систему скважин с трещинами гидроразрыва;
- увеличить темпы отбора извлекаемых запасов;
- повысить коэффициент нефтеизвлечения (КИН) за счет вовлечения в активную разработку слабодренлируемых зон и пропластков и увеличения охвата заводнением.

Как следует из представленных данных, успешность ГРП по месторождению в целом ежегодно составляет более 80%. В скважинах с положительным результатом дополнительная добыча нефти составляет в среднем более 9 т/сут, наблюдается снижение обводненности в среднем на 20-25 %, продолжительность эффекта по скважинам в среднем составляет 200-250 суток.

Для увеличения технологической успешности при проведении ГРП на месторождении Узень предлагается, при выборе перспективных с позиции проведения гидроразрыва пласта, применить предложенный во второй главе дополнительный критерий. Выбраны 30 скважин, работающих с 13 горизонта месторождения Узень. В работе выполнен анализ по 30 скважинам - кандидатам для проведения ГРП, из которых по методике приведенной выше, отобраны 12 скважин и получен технологический эффект

В результате проведения ГРП в выбранных скважинах получена дополнительная добыча 25025 тонн нефти, прирост по нефти и жидкости составил 20 т/сут. и 40 т/сут. соответственно.

Во второй главе данной работы были определен горизонт, соответствующий критериям применимости микробиологического метода, где выбраны участки для его осуществления.

Опытный участок для проведения биовоздействия, заключающегося в закачке раствора подсырной и творожной молочной сыво-

ротки в воде низкой солености с предварительной закачкой оторочки воды низкой солености, расположен в центральной части 5го блока 13го горизонта включает восемь пяти- и семиточечных элементов с нагнетательными скважинами 8066, 7976, 2465, 9601, 3826, 3827, 7588 и 3491 с равноудаленными от них реагирующими скважинами.

При выборе опытного участка для биовоздействия на месторождении Узень проанализированы следующие основные факторы:

- сформированность элементов (ячеек) нагнетательными и добывающими скважинами;
- предпочтительными являются пяти- и семиточечные элементы;
- разработка участка самостоятельной сеткой скважин;
- расположение ячеек в чисто нефтяной зоне;
- техническое состояние скважин по данным ГИС;
- полнота исследований на скважинах участка;
- показатели эксплуатации скважин;
- выработка запасов нефти на участке, степень обводненности скважин и пластов.

Основными факторами при выборе объекта для биовоздействия на пласт являются характеристики коллекторов XIII горизонта, такие как: проницаемость, пористость, глинистость, температура, а также свойства пластовой нефти и воды и т.д.

Лабораторные исследования физико-химических свойств проб, отобранных с данного объекта, по показателям плотности и минерализации пластовой воды, содержанию в ней хлора, плотности и вязкости нефти указывают на благоприятную экологическую обстановку в пласте для целей биовоздействия. Таким образом, в качестве объекта испытания на XIII горизонте выбран участок 5го блока, включающий восемь ячеек из добывающих скважин, находящихся под воздействием нагнетательных. Перед закачкой МС в нагнетательную скважину должны проверить состояние эксплуатационной колонны, замерить забой и уровень, определить профиль нагнетания.

До и после закачки в пласт биореагента были замерены дебиты нефти и воды добывающих скважин, отбраны пробы нефти и воды для определения их физико-химических свойств.

Технологический процесс микробиологического воздействия на пласт осуществлялся со стороны Управления по химизации и экологии (УХЭ). Установленный расчетным путем требуемый объем молочной сыворотки должен быть доставлен на опытный участок и с

помощью насосного агрегата ЦА-320 закачан в нагнетательную скважину. После закачки устье скважины герметично закрывается и скважина останавливается на период адаптации 5-8 недель.

В проводимом промышленном эксперименте агентом воздействия на пластовую систему (порода - нефть - газ - вода) является смешанный комплекс аэробных и анаэробных микроорганизмов (сульфатовосстанавливающие, денитрифицирующие, гнилостного и маслянокислого брожения, разрушающие клетчатку и жирные кислоты и т. д.), содержащийся в биогенных образованиях, вводимых в пласт. Дополнительным движущим фактором нефти к забою эксплуатационных скважин является газообразование в результате биохимического преобразования бактериями компонентов указанных органических веществ и нефти.

Расчет прироста добычи от биовоздействия закачкой в пласты молочной сыворотки по восьми объектам производился как ожидаемый по предложенной математической модели. Она основана на сравнении дебитов скважин до и после воздействия, причем дебиты скважин после воздействия были рассчитаны как ожидаемые по известной формуле Дюпюи.

Одним из наиболее важных механизмов, обуславливающих вытеснение нефти, принято считать образование кислот, спиртов, растворителей и газов. Кислоты и спирты растворяют карбонатные породы, препятствуют солеотложению, что способствует увеличению пористости и проницаемости пород. Особенностью карбонатных пород является то, что кислые продукты микробного происхождения нейтрализуются с одновременным улучшением проницаемости коллекторов и приемистости скважин. Поэтому при расчетах ожидаемых дебитов во внимание принимались и значения проницаемости пластов, меняющиеся в процессе воздействия.

В результате внедрения биовоздействия суммарная добыча дополнительной нефти за год составила 47468 тонн.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Предложен метод статистического моделирования нефтяного месторождения, на основе которого для 13 горизонта месторождения Узень:

- выделены стадии разработки и их длительность;
- осуществлен прогноз начальных извлекаемых запасов.

2. Приведены методы диагностирования и контроля состояния призабойной зоны скважин на основе гидродинамических исследований. Показано, что мониторинг состояния призабойной зоны позволяет оценить эффективность методов интенсификации добычи нефти.

3. Анализ методов интенсификации добычи нефти на месторождениях Казахстана выявил, что наиболее эффективным, с коэффициентом успешности 75% является ГРП. Для увеличения коэффициента успешности разработан новый критерий для выбора скважин-кандидатов, основанный на анализе изменения процента содержания нефти от отбора жидкости. Применение разработанного критерия позволяет повысить коэффициент успешности до 95-98%.

4. Разработан новый состав для удаления АСПО, включающий в качестве углеводородного растворителя рафинат бензольного риформинга (или стабильный газовый конденсат или тяжелую флегму или керосин), а в качестве присадки содержит блок сополимер этилен-и пропиленоксида на основе глицерина. Эффективность удаления АСПО с полученными составами варьирует в пределах 84,4-97,6%. Состав оказывает существенное влияние на реологию неньютоновской нефти месторождения Узень. При этом снижается вязкость нефти, а также происходит модификация реологии от псевдопластического течения к ньютоновскому.

5. Разработан новый способ повышения нефтеотдачи пласта микробиологическим воздействием, в котором перед закачкой органического субстрата создается оторочка воды низкой солености в объеме 30% от объема пор. В качестве органического субстрата используются 10-15 % раствор подсырной и творожной молочной сыворотки в воде низкой солености в соотношении 75:25.

6. Разработанные технологии применены в промысловых условиях:

- на основе предложенного критерия, выбраны 12 скважин для проведения ГРП и получена дополнительная добыча 25025 тонн нефти, прирост по нефти и жидкости составил 20 т/сут. и 40 т/сут. соответственно, а коэффициент успешности составил 98%;

- в результате внедрения биовоздействия на опытных участках, включающих восемь пяти- и семиточечных элементов с нагнетательными скважинами и равноудаленными от них реагирующими скважинами суммарная добыча дополнительной нефти за год составила 47468 тонн.

Общая дополнительная добыча нефти от внедренных мероприятий составила 72493 тонн.

Основное содержание и результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Оценка дополнительно вовлеченных в разработку запасов нефти за счет проведенных ГРП. Материалы Международной научно-практической конференции «Современные проблемы нефтегазового комплекса Казахстана», Актау 2011-С.215-220. (соавтор: О.М. Гимадиева)
2. Применение методов интенсификации добычи невязанской нефти на месторождении Узень. Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие нефтегазового комплекса Казахстана», Актау 2013-С.290-298 (соавторы: Ибагаров М.О., Абитова А.Ж.).
3. Методы диагностирования состояния призабойной зоны скважин на основе гидродинамических исследований. Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие нефтегазового комплекса Казахстана», Актау 2013-С.390-394.
4. Анализ эффективности существующих методов интенсификации добычи невязанской нефти на месторождении Узень. SOCAR Proceedings, 2013г. №2 С.29-36 (соавтор: М.И.Курбанбаев)
5. Анализ состояния разработки 13 горизонта месторождения Узень на основе статистического моделирования жизненного цикла. SOCAR Proceedings, 2013г. №3 С.41-44 (соавторы: Курбанбаев М.И., Дышин О.А., Мамедбейли Т.Э.)
6. Анализ эффективности существующих методов интенсификации добычи невязанской нефти на месторождении Узень. Материалы IV Международного научного симпозиума «Теория и практика применения методов увеличения нефтеотдачи пластов» – В 2 т. - Т.1., - М.:, 2013.ОАО "ВНИИнефть, с.23
7. Statistical modeling of life cycle of oil reservoir development. Journal of the Japan Petroleum Institute. 2014, №1. С.47-57 (соавторы: Сулейманов Б.А., Дышин О.А., Мамедбейли Т.Э.)
8. Анализ критериев выбора скважин для проведения гидравлического разрыва пластов на поздних стадиях разработки месторождения. SOCAR Proceedings, 2014 №1, С.63-66 (соавтор: М.И.Курбанбаев)
9. Исследование возможности применения микробиологического метода для повышения нефтеотдачи пластов месторождения Узень. SOCAR Proceedings, 2014г. №4 С.63-68 (соавтор: Абдуллаева Ф.Я.)
10. Исследование возможности применения микробиологического ме-

тогда для повышения нефтеотдачи пластов месторождения Узень. Материалы Форума "Геологоразведка Казахстана: Фокус нефть и газ" 12-13 марта 2015г., Астана

11. Статистическое моделирование жизненного цикла разработки нефтяного месторождения. Материалы Каспийской Технической конференции, 4-6 ноября 2015г., Баку, Азербайджан. (соавторы: Сулейманов Б.А., Исмаилов Ф.С., Дышин О.А.)
12. Состав для удаления асфальтено-смолопарафиновых отложений. Подана заявка ЕА 20160128 и получено уведомление о положительном результате формальной экспертизы (соавторы: Исмаилов Ф.С., Самедов А.М., Ага-заде А.Д. и др.)
13. Состав для удаления асфальтосмолопарафиновых отложений. SOCAR Proceedings, 2016г. №4 С.63-68. Научный журнал «Proceedings» НИПИ «Нефтегаз» ГНКАР, Баку, 2016г. №4 С.63-68. (соавторы: Матиев К.И., Ага-заде А.Д.)
14. Способ повышения нефтеотдачи пласта. Подана заявка ЕА 201700267 и получено уведомление о положительном результате формальной экспертизы. (соавторы: Исмаилов Ф.С., Сулейманов Б.А., Ибрагимов Х.М., Рзаева С.Д.)

Личный вклад соискателя

Работы [3, 6, 10] выполнены самостоятельно, в работах [1-2, 4, 7-9] участие в постановке задачи, проведении исследований и обобщении результатов, в работах [5, 7, 11] проведение расчетов, участие в обобщении результатов, в работах [12, 13, 14] проведение лабораторных экспериментов, участие в обобщении результатов.



**QUYUNUN QUYUDİBİ ZONASININ VƏZİYYƏTİNİN
DİAQNOZLAŞDIRILMASI ƏSASINDA QEYRİ-NYUTON
NEFTİNİN HASILATININ İNTENSİVLƏŞDİRİLMƏSİNİN
YENİ METODLARININ İŞLƏNMƏSİ VƏ TƏTBİQİ**

XÜLASƏ

Qazaxıstanın neftçixarma sənayesinin müasir inkişaf mərhələsində əsas məsələlərdən biri işlənmənin son mərhələsində olan və əhəmiyyətli qalıq neft ehtiyatlarına malik mənimsənilməmiş və abadlaşdırılmış yataqlarda karbohidrogen hasilatının intensivləşdirilməsidir.

Dissertasiya işində neft yatağının statistik modelləşdirilməsi üsulu təklif edilmişdir. Həmin üsulun əsasında Uzen yatağının 13-cü horizontu üçün işlənmə mərhələləri və onların müddəti müəyyən edilmiş, ilkin çıxarıla bilən ehtiyatların proqnozu verilmişdir.

Qazaxıstan yataqlarında neftçixarmanın intensivləşdirməsi üsullarının təhlili göstərdi ki, layın hidravlik yarılması (LHY) 75% müvəffəqiyyət əmsalı ilə ən səmərəli üsuldur. Müvəffəqiyyət əmsalının artırılması məqsədlə namizəd quyuların seçilməsi üçün neftin miqdar faizinin maye hasilatından asılı olaraq dəyişməsinin təhlilinə əsaslanan yeni meyar işlənmişdir. İşlənmiş meyarın tətbiqi müvəffəqiyyət əmsalını 95-98%-ə qədər yüksəltməyə imkan verir.

Aparılmış tədqiqatlar əsasında asfalt-qətran-parafin çöküntülərinin (AQPÇ) təmizlənməsi üçün özündə karbohidrogen həlledicisi və aşqar birləşdirən tərkib işlənmişdir. Alınmış tərkiblərlə müxtəlif neft yataqlarının AQPÇ-dən təmizlənmə effektivliyi 84,4-97,6% arasında dəyişir. Müəyyən edilmişdir ki, AQPÇ-nin təmizlənməsi üçün işlənmiş tərkib eyni zamanda neftin özlülüyünü effektiv şəkildə azaldır və reoloji əyrilərin modifikasiyasına imkan yaradır, bununla yanaşı tərkibin əlavə edilməsindən sonra qeyri-nyuton neft nyuton neftə çevrilir.

Laya mikrobioloji təsir üsullarının effektivliyinin artırılması üçün layın neftveriminin artırılmasının yeni üsulu işlənmişdir. Burada üzvi substratın vurulmasından əvvəl məsamələrin həcmnin 30%-i həcmində aşağı duzluluqlu su araqatısı yaradılır. Üzvi substrat kimi pendir və kəsmik istehsalından alınan 10-15 %-li süd zərdabının aşağı duzluluqlu suda məhlulundan 75:25 nisbətində istifadə edirlər. Bu halda neftin sıxışdırılma əmsalı 74 % təşkil edəcək.

İşlənmiş texnologiyalar Uzen yatağında müvəffəqiyyətlə sınaqdan keçirilmişdir. Təklif edilmiş meyar əsasında LHY-nın keçirilməsi üçün 12 quyu seçilmiş və 25025 ton əlavə neft hasilatı əldə edilmiş, müvəffəqiyyət əmsalı 98% təşkil etmişdir.

İşlənmiş mikrobioloji təsir üsulunun səkkiz ədəd beş- və yeddinöqtəli elementi özündə birləşdirən təcrübə sahələrində tətbiqi nəticəsində bir il ərzində əlavə neft hasilatı 47468 ton təşkil etmişdir.

Tətbiq edilmiş tədbirlər nəticəsində ümumi əlavə neft hasilatı 72493 ton təşkil etmişdir.

**DEVELOPMENT AND APPLICATION OF NEW METHODS FOR
STIMULATION OF NON-NEWTONIAN OIL PRODUCTION
BASED ON DIAGNOSING BOTTOMHOLE ZONE STATUS**

SUMMARY

One of the priority tasks in Kazakhstan oil industry at the present stage of its development is stimulation of hydrocarbon production in the developed and equipped fields at a late development stage containing significant residual oil reserves.

The thesis proposes a statistical modeling method of an oil field, based on which the development stages and their duration were identified for the 13th horizon of the Uzen deposit, and a forecast of initial recoverable reserves was made.

Analysis of enhanced oil recovery in Kazakhstan's fields revealed that hydrofracturing is the most effective method with a 75% success rate. A new criterion for selecting candidate wells based on an analysis of the oil content variation from fluid extraction has been developed to increase the success rate. Application of the developed criterion allows increase of success rate up to 95-98%.

Based on the studies, a composition for the removal of ARPD (asphaltene-resin-paraffin deposits) including a hydrocarbon solvent and an additive has been developed. The efficiency of ARPD removal using the obtained compositions at various deposits varies within the range of 84.4-97.6%. It has been established that the developed composition for ARPD removal is at the same time effective oil thinner enabling to update flow curves, when the non-Newtonian oil becomes Newtonian due to the addition of the composition.

A new enhanced oil recovery method has been developed to improve the efficiency of microbiological stimulation method, when a low salinity water fringe of 30% of the pore volume is created prior to organic substrate injection. As an organic substrate, a 10-15% solution of cheese whey and milk whey is used in low salinity water in a 75:25 ratio. At the same time, the oil displacement ratio will be 74%.

The developed technologies have been successfully tested at the Uzen field. On the basis of the proposed criterion, 12 wells were selected for hydraulic fracturing and 25025 tons of incremental oil was produced, the success rate was 98%.

Introduction of the developed microbiological stimulation method on pilot sites, including eight five- and seven-point elements, resulted in the cumulative 47468 tons of incremental oil production for the year.

Total additional oil production in the result of implemented measures run to 72493 tons.

Sifariş № 25. Tirajı 100 nüsxə

Azərbaycan MEA Geologiya və Geofizika İnstitutu

«Nafta-Press» nəşriyyatının mətbəəsi

Bakı, H.Cavid pr. 119, Tel.: 539-39-72

Əlyazması hüququnda

KELDİBAYEVA SVETLANA SIRLIBAYEVNA

**QUYUNUN QUYUDİBİ ZONASININ VƏZİYYƏTİNİN
DİAQNOZLAŞDIRILMASI ƏSASINDA QEYRİ-NYUTON
NEFTİNİN HASİLATININ İNTENSİVLƏŞDİRİLMƏSİNİN
YENİ METODLARININ İŞLƏNMƏSİ VƏ TƏTBİQİ**

2525.01 – Neft və qaz yataqlarının işlənməsi və istismarı

Texnika elmləri üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

BAKİ – 2017