

Сведения о ходе выполнения проекта
по теме: **«Разработка термотропных гелеобразующих и золеобразующих высоковязких композиций для повышения нефтеотдачи и технологий их применения совместно с термическими методами добычи нефти»**
в рамках реализации федеральной целевой программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы"

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 05.06.2014 г. № 14.607.21.0022, уникальный идентификатор – RFMEFI60714X0022 с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе № 5 в период с 01.07.2016 г. по 31.12.2016 г. выполнялись следующие работы:

Обобщение и оценка полученных результатов, в том числе: обобщение результатов исследований; сопоставление анализа научно-информационных источников и результатов теоретических и экспериментальных исследований; оценка эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем; анализ выполнения требований ТЗ на ПНИ; оценка полноты решения задач и достижения поставленных целей ПНИ.

Разработка рекомендаций по использованию результатов проведенных ПНИ в реальном секторе экономики, а также в дальнейших исследованиях и разработках, в том числе: проведение технико-экономической оценки (ТЭО) рыночного потенциала полученных результатов; разработка рекомендаций и предложений по использованию результатов проведенных ПНИ в реальном секторе экономики.

Разработка проекта технического задания на ОTR по теме «Разработка термотропных гелеобразующих и золеобразующих высоковязких композиций для повышения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти в условиях промысла на стандартном нефтепромысловом оборудовании».

За счет средств из внебюджетных источников:

Участие в мероприятиях, направленных на освещение и популяризацию результатов работы: участие в тематических конференциях, выставках и т.п.

Проведение маркетинговых исследований.

Подготовка заявки на охранный документ.

Апробации технологий увеличения нефтеотдачи, интенсификации добычи нефти и ограничения водопритока, в том числе для месторождений высоковязких нефтей, разрабатываемых паротепловым воздействием, с применением термотропных гелеобразующих и золеобразующих композиций, в соответствии с разработанными технологическими инструкциями. (В зависимости от необходимости применения индустриальным партнером разрабатываемых технологий для данных геолого-физических условий и состояния разработки месторождений).

При этом были получены следующие результаты:

1. Целью работ по проекту на этапе 5 являлись анализ и обобщение результатов исследований по разработке новых составов гелеобразующих и золеобразующих высоковязких композиций для увеличения нефтеотдачи, снижения обводненности продукции добывающих скважин и интенсификации добычи нефти в осложненных условиях эксплуатации, в том числе для месторождений высоковязких нефтей, разрабатываемых паротепловым воздействием; созданию технологий применения новых гелеобразующих и золеобразующих композиций и способов их закачки совместно с термическими методами добычи высоковязкой нефти, такими как закачка горячей воды и

пара; апробации технологий в промысловых условиях с выдачей рекомендаций и предложений по их использованию.

При выполнении работ по проекту на 5 этапе проведено обобщение и оценка полученных результатов, в том числе: обобщение результатов исследований; сопоставление анализа научно-информационных источников и результатов теоретических и экспериментальных исследований; оценка эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем.

Сравнительная оценка вариантов возможных решений исследуемой проблемы с учетом результатов прогнозных исследований, проводившихся по аналогичной тематике, показала перспективность предлагаемых направлений увеличения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти залежей высоковязких нефтей с применением термотропных высоковязких гелеобразующих и золеобразующих композиций, позволяющих регулировать их коллоидно-химические свойства путем изменения химического состава или порядка закачки реагентов и их объемов, применительно к конкретным геолого-физическим условиям и стадии разработки месторождений.

Аналитический обзор научных информационных источников: статей в ведущих зарубежных и российских научных журналах, монографий и патентов за период 2009 - 2013 годы, патентные исследования на глубину 20 лет и теоретические исследования показали новизну и перспективность предлагаемых направлений.

В результате экспериментальных исследований кинетических, физико-химических и реологических характеристик растворов, гелей и золь для увеличения нефтеотдачи, снижения обводненности продукции добывающих скважин и интенсификации добычи нефти в осложненных условиях эксплуатации, в том числе для месторождений высоковязких нефтей, разрабатываемых паротепловым воздействием, созданы термотропные гелеобразующие и золеобразующие композиции на основе неорганической системы «соль Al – карбамид – вода – ПАВ» и полимерной системы «раствор полимера с нижней критической температурой растворения (эфира целлюлозы) – карбамид», а также золеобразующие нефтевытесняющие композиции с регулируемой вязкостью и щелочностью, содержащие ПАВ, карбамид, соли аммония и алюминия. Фактором, вызывающим золе- и гелеобразование, является тепловая энергия пласта или закачиваемого теплоносителя.

Сопоставление анализа научно-информационных источников с результатами теоретических и экспериментальных исследований в рамках настоящего проекта позволило сделать вывод о достижении заявленных целей проекта и проектных показателей, касающихся технических параметров термотропных композиций и технологической эффективности их применения совместно с паротепловым воздействием на залежи тяжелой, высоковязкой нефти.

Созданные термотропные гелеобразующие и золеобразующие композиции имеют следующие характеристики: применимость в широком интервале пластовых температур (20-320 °С); низкие температуры застывания, гомогенность; сохранение в пласте своих вязкостных характеристик; термоокислительную устойчивость в высоко минерализованных пластовых водах, до 300 г/дм³; высокую проникающую способность. Композиции применимы для пластов с полимиктовыми, карбонатными и др. коллекторами, различной структуры и проницаемости (1mD – 20 D), в том числе для низкопроницаемых, высоконеоднородных, трещиноватых пластов, разрабатываемых заводнением или паротепловым воздействием. Полученные результаты соответствуют мировому научно-техническому уровню.

Разработаны лабораторные технологические регламенты получения композиций, в качестве компонентов композиций использовали продукты многотоннажного химического производства, с предпочтением недорогих отечественных продуктов, что позволяет создать эффективную конкуренцию существующим химическим технологиям повышения нефтеотдачи, таким как полимерное заводнение и др.

Разработаны технологии с применением созданных композиций в осложненных условиях эксплуатации, в том числе для месторождений высоковязких нефтей, разрабатываемых паротепловым воздействием, и комплекс технологических вариантов закачки: градиентная и покомпонентная закачка, реагентоциклика. Разработаны технологические инструкции, компьютерные модели и расчетные методики их закачки при заводнении и паротепловом воздействии для увеличения нефтеотдачи, интенсификации добычи нефти и ограничения водопритоков. Разработанные технологии могут быть реализованы на стандартном нефтепромысловом оборудовании.

В рамках настоящего проекта, применительно к добыче высоковязкой нефти, созданы термотропные золе- и гелеобразующие композиции и технологии их применения. Принципиальная научная новизна исследований заключается:

- в использовании внутрислоистой генерации термотропных гелей и золь с авторегулируемой вязкостью на основе неорганических и полимерных систем для повышения эффективности заводнения, комплексного паротеплового и физико-химического воздействия, а также композиций ПАВ, позволяющих повышать нефтеотдачу за счет увеличения коэффициентов нефтевытеснения и охвата пласта;

- в технологических решениях проекта – совместном использовании композиций, генерирующих в пласте подвижные золевые и неподвижные гелевые экраны для увеличения охвата и повышения нефтеотдачи при заводнении и паротепловом воздействии, и комплексе технологических вариантов закачки – градиентной и покомпонентной закачке, реагентоциклики.

Новизна и соответствие мировому уровню физико-химических технологий увеличения нефтеотдачи, базирующихся на этих композициях, подтверждается патентами, публикациями и докладами на международных симпозиумах и конференциях по добыче нефти. Эффективность технологий подтверждается результатами их апробации в промысловых условиях.

Проведена успешная апробация технологий с применением гелеобразующих и золеобразующих композиций для увеличения нефтеотдачи и ограничения водопритока на пермо-карбоновой залежи высоковязкой нефти Усинского месторождения, в том числе при паротепловом и пароциклическом воздействии: закачка в 8 паронагнетательных, 5 пароциклических и 15 добывающих скважин. Наблюдается устойчивое снижение обводненности и повышение добычи нефти, дополнительно добыто более 145 тысяч тонн нефти.

В 2014-2016 гг. произведен сбор и анализ промысловых данных до и после применения технологий, отобраны и доставлены в ИХН СО РАН 406 образцов нефтей и пластовых вод из 139 скважин. Пластовая микрофлора пермокарбоновой залежи на естественном режиме разработки немногочисленна. Увеличение ее численности при внесении раствора композиции, содержащего азотистые субстраты, стимулирует их ферментативную активность в процессах биодеструкции углеводородов нефти с накоплением метаболитов, увеличивающих вытеснение нефти. Методом хроматографии определен коэффициент окисленности алканов, который в варианте со стимулированной микрофлорой в 27 раз больше, чем без ее стимуляции. Методом хроматомасс-спектрологии выявлено, что наибольшей биодеструкции подверглись n-алканы, алкилбензолы, метил- и диметилпроизводные нафталинов и фенантронов.

Экспериментальные исследования влияния разработанных термотропных гелеобразующих и золеобразующих высоковязких композиций на микрофлору нефтяного пласта, выделенную из пластовых флюидов опытных и контрольных участков Усинского месторождения показали, что загущенная нефтевытесняющей композиция НИНКА-3 с регулируемой вязкостью и щелочностью и гелеобразующая полимерная композиция МЕТКА оказывают стимулирующее действие на пластовый биоценоз, гелеобразующая неорганическая композиция ГАЛКА – нейтральное или отрицательное влияние.

Анализ требований ТЗ к выполняемым работам: техническим требованиям к

научно-техническим результатам ПНИ, требованиям к патентным исследованиям и регистрации результатов интеллектуальной деятельности, требованиям к разработанной документации, – показал, что результаты выполнения проекта, представленные в отчетах о ПНИ за 2014-2016 гг., соответствуют требованиям ТЗ, что подтверждается материалами и документами, приведенными в Ведомости соответствия результатов выполнения проекта Техническому заданию (форма Д 2 в комплекте отчетной документации).

Задачи исследования, поставленные в проекте, выполнены полностью, также полностью достигнуты цели ПНИ. Полученные результаты соответствуют критической технологии «Технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи» и мировому научно-техническому уровню.

Проведена технико-экономическая оценка (ТЭО) рыночного потенциала полученных результатов по теме проекта «Разработка термотропных гелеобразующих и золеобразующих высоковязких композиций для повышения нефтеотдачи и технологий их применения совместно с термическими методами добычи нефти», на основе проведенных научных исследований, апробации технологий в промысловых условиях и данных, предоставленных Индустриальным партнером (ООО «ОСК»).

Рассмотрена экономическая эффективность обработки одной скважины с применением композиции для повышения нефтеотдачи. Суммарные затраты на реализацию технологии на одной скважине составляют порядка 1300 тыс. руб, средняя дополнительная добыча нефти на одну скважино-обработку составляет 1000 т. В результате с учетом текущей себестоимости нефти, экономический эффект от обработки составляет порядка 19 млн. руб. Проведенный расчет ориентировочной рыночной цены обработки скважины по разработанной технологии и стоимости дополнительно добытой нефти позволяет сделать вывод о том, что разработанная технология будет конкурентоспособна по данному критерию.

Даны рекомендации и предложения по использованию в реальном секторе экономики результатов проведенных ПНИ: составов гелеобразующих и золеобразующих композиций на основе неорганических и полимерных систем, золеобразующих нефтевытесняющих композиций с регулируемой вязкостью и щелочностью и новых технологий их применения для закачки в нефтяные пласты с целью увеличения дебитов и снижения обводненности добывающих скважин при заводнении, а также совместно с термическими методами добычи, такими, как закачка горячей воды и пара (Приложение Г к отчету за 5 этап) в области температур 20-320 °С.

Рекомендуемая область для наиболее успешного применения технологий на месторождениях – неоднородные пласты эксплуатирующихся месторождений, в том числе пласты юрских и меловых отложений эксплуатирующихся месторождений Сибири, пермо-карбоновая залежь высоковязкой нефти Усинского месторождения республики Коми. Тип коллектора – терригенный, полимиктовый или карбонатный, неоднородный, вид коллектора – поровый, порово-трещинный, трещинно-кавернозно-поровый, соотношение проницаемости пропластков – больше 2, коэффициент расчлененности – больше 2. Даны рекомендации по реализации технологий при заводнении, паротепловом и пароциклическом воздействии, рекомендуемым объемам закачиваемых композиций, использованию различных вариантов закачки композиций – градиентной и покомпонентной.

Применение технологий с использованием термотропных гелеобразующих и золеобразующих композиций позволит выровнять профиль приемистости водо- и паронагнетательных скважин, увеличить охват пласта заводнением или паротепловым воздействием, ограничить водопитоки, снизить обводненность продукции пароциклических и добывающих скважин, гидродинамически связанных с нагнетательными, увеличить добычу нефти.

После закачки неорганических и полимерных гелеобразующих композиций рекомендуется производить закачку нефтевытесняющих композицией, что позволит

эффективно увеличивать охват пласта закачкой пара или заводнением, интенсифицировать разработку и достигнуть более высоких коэффициентов вытеснения.

Разработан проект технического задания (ТЗ) на выполнение опытно-технологических работ по теме: «Разработка термотропных гелеобразующих и золеобразующих высоковязких композиций для повышения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти в условиях промысла, на стандартном нефтепромысловом оборудовании» (Приложении Д к отчету за 5 этап). Проект ТЗ содержит требования к проведению работ по адаптации разработанных в ходе ПНИ композиций к применению в промысловых условиях, с использованием стандартного нефтепромыслового оборудования, и может быть использован для создания ТЗ при опытно-промышленных испытаниях и внедрении технологий повышения нефтеотдачи пластов на основе композиций, разработанных в ходе выполнения ПНИ. При разработке ТЗ на основе данного документа необходимо учитывать специфику реального объекта внедрения (скважина, участок, месторождение), постановку конкретной задачи Заказчиком, а также материально технические возможности Исполнителя.

Результаты исследований, полученные на 5 этапе проекта, представлены в докладах на 5-ти международных и российских конференциях, в трех статьях в тематических журналах и в двух выставках: Международной выставке-конгрессе «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции», г. Санкт-Петербург, 15-17 марта 2016 г., получен Диплом I степени с вручением золотой медали за разработку "Физико-химические и комплексные методы увеличения нефтеотдачи месторождений высоковязких нефтей» в номинации «Лучший инновационный проект (разработка) в области: экологии, рациональное природопользование, сортировки и переработки отходов, водоочистки»; IV Международном форуме Технологического развития «Технопром», Новосибирск, 9-10 июня 2016 года с разработкой «Физико-химические и комплексные методы увеличения нефтеотдачи месторождений высоковязких нефтей» и «Технологии увеличения нефтеотдачи месторождений в арктической зоне».

Проведены маркетинговые исследования по теме: «Разработка термотропных гелеобразующих и золеобразующих высоковязких композиций для повышения нефтеотдачи и технологий их применения совместно с термическими методами добычи нефти» с целью оценки рыночного потенциала на территории РФ полученных результатов ПНИ по указанной теме (Приложение Е к отчету за 5 этап). Анализ состояния нефтедобывающей отрасли, оценка потенциала и конъюнктуры рынка методов увеличения нефтеотдачи (МУН), оценка потенциала и конъюнктуры рынка рабочих агентов для повышения нефтеотдачи пластов высоковязкой нефти показали, что рыночный потенциал полученных результатов ПНИ по указанной теме на территории РФ очень высок.

Подана заявка на изобретение № 2016110945 от 24.03. 2016 г. "Способ разработки нефтяной залежи". По данным на 23.12.2016 состояние делопроизводства: Экспертиза по существу. Текст заявки на патент представлен в Приложении Ж к отчету за 5 этап. Дополнительные патентные исследования представлены в Приложении И к отчету за 5 этап.

В соответствии с разработанными технологическими инструкциями совместно с ООО «ОСК» в 2014-2016 гг. проведена успешная апробация технологий увеличения нефтеотдачи, интенсификации добычи нефти и ограничения водопритока на пермокарбоновой залежи высоковязкой нефти Усинского месторождения, в том числе разрабатываемых паротепловым методом: с применением неорганической гелеобразующей композиции в 3 добывающих скважинах при естественном режиме разработки, в 1 паронагнетательной и 2 пароциклических скважинах; с применением термообратимой полимерной гелеобразующей композиции – в 10 добывающих скважинах на участке паротеплового воздействия и золеобразующей нефтевытесняющей композиции с регулируемой вязкостью и щелочностью – в 8 паронагнетательных скважинах (эффект

по 75 добывающим скважинам), подтвердившая эффективность композиций и технологий при естественном режиме разработки и паротепловом воздействии (Приложение К к отчету за 5 этап).

Неорганическая гелеобразующая и золеобразующая композиция ГАЛКА показала наилучшие результаты при совместном применении с термической технологией добычи – пароциклической обработкой скважин. В настоящий момент композиция применяется в промышленном масштабе на месторождениях ОАО «ЛУКОЙЛ».

Термотропная гелеобразующая полимерная композиция МЕТКА показала свою эффективность при точечном воздействии на добывающие скважины в зоне паротеплового воздействия. Композиция МЕТКА обеспечивают снижение обводненности за счет блокирования наиболее промытых участков призабойной зоны скважины, при этом селективность блокирования обеспечивается тем, что композиция является термотропной и гель образуется в первую очередь в тех областях пласта, куда изначально легче проникает теплоноситель. Композиция МЕТКА рекомендована к дальнейшему применению как в формате продолжения опытно-промышленных работ, так и к промышленному применению в масштабе месторождения.

Золеобразующая загущенная нефтевытесняющая композиция НИНКА-3 с регулируемой вязкостью и щелочностью, низким межфазным натяжением на границе с нефтью, является одновременно и потокоотклоняющей композицией, может использоваться для повышения эффективности разработки за счет увеличения коэффициента охвата пласта и коэффициента вытеснения нефти, может закачиваться в нагнетательные скважины, а также в добывающие скважины по технологии реагентоциклики (аналогично пароциклике). Загущенная нефтевытесняющая композиция НИНКА-3 является маловязкой низкозастывающей пожаробезопасной жидкостью, что делает ее технологичной в применении в зимний период. Для приготовления и закачки загущенной композиции в промысловых условиях используется стандартное нефтепромысловое оборудование. Композиция НИНКА-3 применима как на ранней, так и на поздней стадии разработки залежей высоковязкой нефти. Данная композиция показала свою эффективность в промысловых условиях и рекомендована для дальнейших опытно-промышленных работ и промышленного внедрения.

Эффективность разработанных в рамках Проекта технологий с применением гелеобразующих и золеобразующих композиций на пермо-карбоновой залежи высоковязкой нефти Усинского месторождения

Композиция	Количество обработок / реагирующих скважин	Суммарный эффект, дополнительная добыча нефти, тонн	Средний эффект, тонн нефти на скважину
ГАЛКА	6 / 12	4145	600
МЕТКА	10 / 10	12500	1250
НИНКА-3	7 / 75	129000	1700
Всего	23 / 97	145645	1500

Из представленной в таблице эффективности разработанных в рамках проекта технологий видно, что наибольшую эффективность на одну обработку показала композиция НИНКА-3. На 2016-2017 годы запланирована повторная обработка 5 паронагнетательных скважин участка паротеплового воздействия ПТВ-Юго-Запад Усинского месторождения с применением данной композиции.

Проведены первые ОПР по испытанию комбинированной полимерной и

неорганической системы «гель-в-геле» (запатентована в рамках выполнения настоящего Проекта), сочетающей в себе элементы композиций ГАЛКА и МЕТКА, подтверждается возможность термотропной комбинированной полимерной и неорганической гелеобразующей композиции эффективно блокировать поступление воды в добывающую скважину, регистрируется значительное снижение обводненности.

Разработаны рекомендации и предложения по использованию результатов проведенных ПНИ в реальном секторе экономики. Технологии с применением неорганических гелеобразующих и золеобразующих композиций рекомендуются для увеличения нефтеотдачи и охвата пласта, ограничению водопритока при закачке воды или пара в области температур 20-320 °С, в том числе для охлажденных пластов, а также при паротепловом или пароциклическом воздействии на пласт.

Разработанные технологии с использованием термотропных гелеобразующих и золеобразующих композиций рекомендуются для проведения обработок нефтяных добывающих, а также водо- и паронагнетательных скважин с целью повышения нефтеотдачи за счет увеличения коэффициентов нефтевытеснения и охвата пласта заводнением или паротепловым воздействием, интенсификации добычи нефти, ограничения водопритока на месторождениях нефтегазодобывающих компаний России ПАО «ЛУКОЙЛ», «РОСНЕФТЬ», «ГАЗПРОМ НЕФТЬ», «ГАЗПРОМ» и его дочерних предприятий и др. Рекомендуется применение созданных технологий на месторождениях Казахстана, Вьетнама, Китая, Саудовской Аравии, ОАЭ, Омана, Ирана, США, Канады и др. Конкретные потребители научно-технических результатов: ООО «ОСК»; Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми.

Для практического внедрения результатов проекта рекомендуется выполнение опытно-технологических работ по хозяйственным договорам и контрактам, заключение лицензионных договоров, организация опытно-промышленного и промышленного производства разработанных гелеобразующих и золеобразующих композиций. Прогнозируемые объемы применения – обработка 100-300 скважин в год, предполагаемые сроки окупаемости затрат 10-12 месяцев.

Применение новых экологически безопасных технологий увеличения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти позволит: продлить рентабельную эксплуатацию месторождений, находящихся на поздней стадии разработки; вовлечь в разработку месторождения с трудно извлекаемыми запасами нефти, в том числе залежи высоковязких нефтей; увеличить конечный коэффициент извлечения нефти на 2-7 %; снизить обводненность продукции добывающих скважин на 5-30 %; интенсифицировать добычу нефти в 1.2-1.3 раза; проводить технологические операции в температурном интервале 20-320 °С и минерализации пластовой воды до 300 г/дм³.

Масштабное промышленное применение технологий увеличения нефтеотдачи и ограничения водопритока будет способствовать развитию нефтедобывающей промышленности России, расширению ее топливно-энергетической базы.

Задачи исследования, поставленные в проекте, выполнены полностью, также полностью достигнуты цели ПНИ: разработаны и исследованы новые составы гелеобразующих и золеобразующих высоковязких композиций для увеличения нефтеотдачи, снижения обводненности продукции добывающих скважин и интенсификации добычи нефти в осложненных условиях эксплуатации, в том числе для месторождений высоковязких нефтей, разрабатываемых паротепловым воздействием; созданы технологии применения новых гелеобразующих и золеобразующих композиций и способов их закачки совместно с термическими методами добычи высоковязкой нефти, такими как закачка горячей воды и пара, успешно проведена апробация технологий в промысловых условиях.

Полученные результаты соответствуют критической технологии «Технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи» и мировому научно-техническому уровню. Новизна и соответствие мировому уровню

результатов ПНИ подтверждается патентами, публикациями и докладами на международных симпозиумах и конференциях по добыче нефти. Эффективность технологий подтверждается результатами их апробации в промышленных условиях.

Интерес, проявляемый зарубежными специалистами и нефтяными компаниями к полученным результатам на международных выставках и конференциях, отклики на публикации статей в журналах, в интернете, в частности, на сайте института, свидетельствует об актуальности результатов исследований по проекту и важности развития информационной инфраструктуры.

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства по Соглашению на отчетном этапе исполненными надлежащим образом.