

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 № 4 в период с 01.01.2016 г. по 30.06.2016 г. выполнялись следующие работы:

1. Создание золеобразующих нефтewытесняющих композиций с регулируемой вязкостью и щелочностью для увеличения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти.

2. Проведение экспериментальных исследований кинетики гидролиза и реологических характеристик золеобразующих нефтewытесняющих композиций с регулируемой вязкостью и щелочностью для увеличения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти, определение следующих физико-химических параметров растворов и зoлей: 1) рН, 2) вязкость, 3) плотность, 4) время образования золя.

3. Проведение экспериментальных исследований разработанных золеобразующих нефтewытесняющих композиций с регулируемой вязкостью и щелочностью для оценки их эффективности при заводнении и паротепловом воздействии (определение фильтрационных характеристик и коэффициента нефтewытеснения в условиях моделирующих пластовые).

4. Разработка лабораторного технологического регламента получения золеобразующих нефтewытесняющих композиций с регулируемой вязкостью и щелочностью.

5. Разработка технологий применения золеобразующих нефтewытесняющих композиций с регулируемой вязкостью и щелочностью и способов их закачки совместно с паротепловым воздействием для увеличения нефтеотдачи, интенсификации добычи нефти и ограничения водопритока.

6. Разработка технологической инструкции по использованию составов золеобразующих нефтewытесняющих композиций с регулируемой вязкостью и щелочностью и технологий их применения для закачки в нефтяные пласты с целью увеличения дебитов и снижения обводненности добывающих скважин при заводнении и паротепловом воздействии.

7. Создание расчетной методики для планирования закачки золеобразующих нефтewытесняющих композиций с регулируемой вязкостью и щелочностью для увеличения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти: расчет необходимого количества реагентов, схемы закачки и прогноза эффективности.

8. Проведение экспериментальных исследований влияния разработанных лабораторных образцов термотропных гелеобразующих и золеобразующих высоковязких композиций для увеличения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти на микрофлору нефтяного пласта.

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

10. Сбор промысловых данных, отбор проб нефти и породы, образцов используемых реагентов для разработки лабораторного регламента получения золеобразующих нефтewытесняющих композиций с регулируемой вязкостью и

щелочностью и технологической инструкции по использованию разработанных золеобразующих нефтewытесняющих композиций.

11. Апробация 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 4 являлось создание и исследование золеобразующих нефтewытесняющих композиций с регулируемой вязкостью и щелочностью и технологий с их применением для увеличения нефтеотдачи, интенсификации добычи нефти и ограничения водопритока в осложненных условиях эксплуатации, в том числе для месторождений высоковязких нефтей, разрабатываемых паротепловым воздействием, а также апробация технологий с применением данных композиций совместно с паротепловыми методами добычи.

При выполнении работ по проекту на 4 этапе для увеличения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти созданы термотропные золеобразующие нефтewытесняющие композиции на основе ПАВ с регулируемой вязкостью и щелочностью, которые позволят увеличивать не только коэффициент нефтewытеснения, но и коэффициент охвата пласта паротепловым или пароциклическим воздействием при одновременной интенсификации разработки. В их создании используется перспективная концепция использования энергии пласта или закачиваемого теплоносителя для генерации непосредственно в пласте нефтewытесняющего флюида и золь, которые являются термотропными химическими интеллектуальными системами, сохраняющими, саморегулирующими в пласте длительное время комплекс коллоидно-химических свойств, оптимальный для целей нефтewытеснения.

2. Термотропные золеобразующие нефтewытесняющие композиции на основе системы «ПАВ – карбамид – соль аммония – соль алюминия – вода» в поверхностных условиях являются маловязкими жидкостями, а в пластовых под действием температуры пласта или закачиваемого теплоносителя превращаются в золи с регулируемой вязкостью и плотностью, высокой нефтewытесняющей способностью, приобретают реологические и коллоидно-химические свойства, позволяющие применять их для создания в пласте подвижных зольных экранов, перераспределяющих фильтрационные потоки, увеличивающих охват пласта базовым воздействием и коэффициент нефтewытеснения.

Высокие нефтewытесняющие свойства композиций на основе ПАВ обеспечиваются образованием непосредственно в пласте под действием температуры  $\text{CO}_2$  и аммиачной буферной системы с максимальной буферной емкостью в интервале pH 9.0-10.5, которые приводят к кратному увеличению моющего действия ПАВ, снижению вязкости нефти и набухания глинистых минералов породы-коллектора. Внутрипластовое термотропное золеобразование в системе «ПАВ – карбамид – соль аммония – соль алюминия – вода» за счет реакции гидролиза карбамида и сопряженного с ней процесса гидролитической поликонденсации ионов алюминия под действием тепловой энергии пласта или закачиваемого теплоносителя позволяет регулировать вязкость композиций, подстраивая под конкретные пластовые условия. Образование золь непосредственно в пласте позволяет увеличить коэффициент нефтewытеснения и охват пласта вытесняющим агентом. Золеобразующие композиции на основе системы «ПАВ – карбамид – соль аммония – соль алюминия – вода» применимы в широком интервале температур, от 70 до 320 °С, имеют высокую технологическую эффективность, экологически безопасны.

3. Для определения оптимального состава золеобразующей нефтewытесняющей композиции на основе системы «ПАВ – карбамид – соль аммония – соль алюминия –

вода» проведены исследования кинетики образования золя, физико-химических и реологических свойств растворов и золь, полученных при 90, 150 и 200 °С в условиях, моделирующих условия паротеплового воздействия на залежь высоковязкой нефти. Исследования показали, что после термостатирования растворов композиции в зависимости от концентрации соли алюминия вязкость растворов увеличивается в 6-78 раз, рН растворов после термостатирования повышается до 7.7-10.1 ед.рН. Время образования золя зависит от температуры термостатирования и составляет от 20-35 минут при 150 и 200 °С и 3-3.5 часа при 90 °С. Установлено, что до термостатирования раствор композиции является ньютоновской жидкостью, после образования золя – вязкопластичной жидкостью.

Исследования изменения реологических свойств высоковязкой нефти Усинского месторождения после термостатирования при 150 оС с растворами золеобразующей нефтewытесняющей композиции показали, что вязкость нефти по сравнению с исходной снижается в 2-3 раза. Наибольшее снижение вязкости нефти дает термообработка с растворами золеобразующей нефтewытесняющей композиции с концентрациями полиоксихлорида алюминия 1.5-2.0 %. При этом растворы композиции оказывают деэмульгирующее действие, количество воды в нефти снижается в 10-220 раз.

4. Экспериментально установлено, что при чередующейся закачке пара и золеобразующей нефтewытесняющей композиции – загущенной композиции НИНКА-3 – наблюдается перераспределение фильтрационных потоков и доотмыв нефти как из низко проницаемых, так и из высоко проницаемых моделей пласта, снижение обводненности продукции и увеличение коэффициента нефтewытеснения на 5-39 %, особенно существенное для более низко проницаемых моделей пласта. Величина рН достигала 9-9.5 ед. рН, наблюдался выход компонентов композиции – карбамида и селитры.

В промысловых условиях при применении комплексной технологии – чередующейся закачке пара и загущенной композиции НИНКА-3 – должно произойти перераспределение фильтрационных потоков, снизиться обводненность продукции, возрасти дебиты и по нефти, и по жидкости. Результаты проведенных работ показывают перспективность комплексных технологий с применением загущенных нефтewытесняющих композиций с регулируемой вязкостью для увеличения нефтеотдачи месторождений высоковязких нефтей, разрабатываемых площадным паротепловым и пароциклическим воздействием, в частности, пермо-карбоновой залежи высоковязкой нефти Усинского месторождения.

5. Разработан Лабораторный технологический регламент получения золеобразующих нефтewытесняющих композиций с регулируемой вязкостью и щелочностью на основе ПАВ, аммиачной селитры, карбамида и соли алюминия, предназначенных для закачки в нефтяные пласты с проницаемостью от ~1 мД до 10-20 Д, в области температур от 70 до 320 °С и минерализации воды до 300 г/дм<sup>3</sup>. Лабораторный регламент содержит общую характеристику технологии получения композиций, характеристики исходного сырья и свойства полученных композиций, перечень мер безопасности при выполнении работ, а также рекомендации по обезвреживанию, утилизации и ликвидации отходов.

Созданные термотропные золеобразующие нефтewытесняющие композиции на основе системы «ПАВ – карбамид – соль аммония – соль алюминия – вода» – загущенные композиции НИНКА-3 позволят увеличивать не только коэффициент нефтewытеснения, но и коэффициент охвата пласта заводнением, паротепловым или пароциклическим воздействием при одновременной интенсификации разработки. Композиции в поверхностных условиях являются маловязкими жидкостями, а в пластовых под действием температуры пласта или закачиваемого теплоносителя превращаются в золи с регулируемой вязкостью и плотностью, высокой нефтewытесняющей способностью. Высокие нефтewытесняющие свойства композиций обеспечиваются образованием непосредственно в пласте СО<sub>2</sub> и аммиачной буферной системы. Внутрипластовое

термотропное золеобразование за счет реакции гидролиза карбамида и сопряженного с ней процесса гидролитической поликонденсации ионов алюминия позволяет регулировать вязкость композиций. В результате увеличивается и коэффициент нефтевытеснения, и охват пласта вытесняющим агентом.

6. Предложены следующие технологии с применением термотропной золеобразующей композиции НИНКА-3: совместно с заводнением и паротепловым воздействием – технология увеличения коэффициента вытеснения нефти, перераспределения фильтрационных потоков и увеличения охвата пласта заводнением или паротепловым воздействием путем закачки в нагнетательные или паронагнетательные скважины; при пароциклическом воздействии – технология увеличения нефтеотдачи, интенсификации добычи нефти и ограничения водопритока путем закачки композиции в пароциклические скважины. Технологии применимы в широком интервале температур, от 70 до 320 °С, для пластов с терригенными, полимиктовыми и карбонатными коллекторами, различной структуры и проницаемости, в том числе для низкопроницаемых, высоконеоднородных, трещиноватых пластов, разрабатываемых или вводимых в разработку заводнением или паротепловым и пароциклическим воздействием, имеют высокую технологическую эффективность, экологически безопасны. При их реализации используется стандартное нефтепромысловое оборудование и реагенты многотоннажного отечественного промышленного производства.

Композиции НИНКА-3 образуют непосредственно в пласте золь,  $\text{CO}_2$  и щелочную буферную систему, что позволяет увеличивать нефтеотдачу не только за счет увеличения коэффициента нефтевытеснения, но и повышения коэффициента охвата пласта. В результате использования технологий происходит увеличение коэффициента вытеснения нефти водой на 10-20 %, значительно уменьшается остаточная нефтенасыщенность, что приводит к стабилизации либо снижению обводненности продукции добывающих скважин и увеличению добычи нефти.

7. Разработана технологическая инструкция, которая регламентирует использование золеобразующих нефтевытесняющих композиций НИНКА-3 и технологий их применения для закачки в нефтяные пласты с целью увеличения нефтеотдачи при заводнении и паротепловом воздействии, способы приготовления рабочих растворов, последовательность операций и технику безопасности при проведении работ.

8. Создана расчетная методика для планирования закачки золеобразующих нефтевытесняющих композиций с регулируемой вязкостью и щелочностью для увеличения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти: расчета необходимого количества реагентов, схемы закачки и прогноза эффективности. Даны рекомендации по выбору скважин под обработку с учетом применимости композиции НИНКА-3 для различных типов скважин и задач увеличения нефтеотдачи. Разработанная методика расчета объема композиции состоит из двух этапов: экспресс-метод оценки и подробная методика расчета в зависимости от типа скважин. Также приведены расчетные методы прогнозирования эффективности обработок, что позволяет проводить оптимизацию схемы закачки на этапе планирования. Созданная методика не требует специальных технических средств и рассчитана на применение инженерно-техническим персоналом, выполняющим планирование обработок скважин.

9. Проведены экспериментальные исследования влияния разработанных лабораторных образцов термотропных гелеобразующих и золеобразующих высоковязких композиций на микрофлору нефтяного пласта, выделенную из пластовых флюидов опытных и контрольных участков Усинского месторождения. Загущенная нефтевытесняющая 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. Так, в пластовых условиях после закачки композиции МЕТКА отмечено появление в пластовой воде карбамида и иона аммония и рост на 2-4

порядка численности гетеротрофной микрофлоры, что свидетельствует о стимулирующем влиянии на пластовый биоценоз азотсодержащих компонентов композиции.

10. За счет внебюджетных средств проведены сбор промысловых данных, отбор проб 34 образцов нефтей и пластовых вод из скважин Усинского месторождения, выполнен их физико-химический и микробиологический анализ. Отобраны образцы и проведен анализ реагентов, используемых для разработки лабораторного регламента и технологической инструкции: неолола АФ 9-12, алкилсульфонат волгоната, нефтенолола ВВД, карбамида, полигидроксохлорида алюминия АКВА-АУРАТ 30, алюминия хлористого 6-ти водного и аммония азотнокислого. Установлено, что все исследованные реагенты соответствуют стандартам – ГОСТ и ТУ.

11. Проведена успешная апробация технологии с применением загущенной нефтewытесняющей композиция НИНКА-3 с регулируемой вязкостью и щелочностью для увеличения нефтеотдачи и ограничения водопритока на участке площадной закачки пара пермо-карбонной залежи высоковязкой нефти Усинского месторождения. В результате закачки загущенной композиции НИНКА-3 в 8 паронагнетательных скважин наблюдается устойчивое снижение обводненности продукции и повышение добычи нефти, суммарный эффект составляет более 76 тыс. т дополнительно добытой нефти.

Результаты исследований, полученные на 4 этапе проекта, представлены в докладах на 5 конференциях, двух выставках – «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (НИ-ТЕСН), г. Санкт-Петербург; IV Международный форум технологического развития "ТЕХНОПРОМ-2016", г. Новосибирск, получен Диплом I степени с вручением золотой медали – и в трех статьях в тематических журналах.

Принципиальная научная новизна заключается в использовании для повышения эффективности заводнения и комплексного паротеплового и физико-химического воздействия внутрпластовой термотропной генерации золь, CO<sub>2</sub> и щелочной буферной системы за счет энергии пласта или закачиваемого теплоносителя в результате закачки золеобразующих нефтewытесняющих композиций с регулируемой вязкостью и щелочностью, а также в технологических решениях проекта – совместном использовании пара и композиций, генерирующих в пласте подвижные золи, CO<sub>2</sub> и щелочные буферные системы для увеличения охвата и повышения нефтеотдачи при заводнении, паротепловом и пароциклическом воздействии.

Загущенная нефтewытесняющая композиция НИНКА-3 с регулируемой вязкостью и щелочностью является одновременно потокоотклоняющей и нефтewытесняющей композицией и может использоваться для повышения эффективности разработки за счет увеличения как коэффициента охвата пласта, так и коэффициента вытеснения нефти. Композиция является маловязкой низкозастывающей пожаробезопасной жидкостью, что делает ее технологичной в применении в зимний период и в арктических регионах. Для приготовления и закачки загущенной композиции в промысловых условиях используется стандартное нефтепромысловое оборудование. Композиция применима как на ранней, так и на поздней стадии разработки месторождений с трудно извлекаемыми запасами, в том числе залежей высоковязкой нефти.

Разрабатываемые технологии с использованием термотропных золеобразующих нефтewытесняющих композиций с регулируемой вязкостью и щелочностью предназначены для проведения обработок нагнетательных, паронагнетательных и пароциклических скважин с целью повышения нефтеотдачи за счет увеличения коэффициента вытеснения нефти, охвата пласта заводнением или паротепловым воздействием, интенсификации добычи нефти, ограничения водопритока. Потенциальные потребители результатов работы – нефтегазодобывающие компании России ОАО «ЛУКОЙЛ», «РОСНЕФТЬ», «ГАЗПРОМ НЕФТЬ», «ГАЗПРОМ» и его дочерние предприятия и др. Перспективно применение создаваемых технологий для месторождений Казахстана, Вьетнама, Китая, Саудовской Аравии, ОАЭ, Омана, Ирана, США, Канады и др. Конкретные потребители научно-технических результатов: ООО «ОСК»; Научно-

проектный центр (г. Ухта) «ПермНИПИнефть» (г. Пермь) филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг».

Для практического внедрения планируемых результатов предполагается выполнение опытно-технологических работ, организация опытно-промышленного и промышленного производства композиций. На основе полученных в проекте результатов созданы термотропные золеобразующие нефтewытесняющие композиции с регулируемой вязкостью и щелочностью и технологии с их использованием. 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.

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 70-320 °С и минерализации пластовой воды до 300 г/дм<sup>3</sup>. Масштабное промышленное применение технологий увеличения нефтеотдачи будет способствовать развитию нефтедобывающей промышленности России, расширению ее топливно-энергетической базы.

Задачи, поставленные в отчетном периоде, выполнены полностью. Полученные результаты соответствуют критической технологии «Технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи» и техническим требованиям к выполняемому проекту. Полученные результаты соответствуют мировому уровню. Целесообразно продолжение работ по проекту для достижения заявленных в проекте целей.

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