

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07107- «Химическая инженерия углеводородных соединений»

БОРАНБАЕВА ЛАУРА ЕРГАЛИЕВНА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПАРАФИНООТЛОЖЕНИЯ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ УЛУЧШЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОПАРАФИНИСТОЙ НЕФТИ

Актуальность темы. Одной из актуальных задач для нефтяной промышленности Казахстана является транспортировка нефтей с высоким содержанием парафинов и смол, добываемых на ряде месторождений страны. В частности, высокопарафинистые мангышлакские нефти и нефти группы кумкольских месторождений, а также смолистые нефти Бузачинского полуострова создают значительные трудности при транспортировке по магистральным нефтепроводам. Эти нефти отличаются высокими температурами застывания, аномальной вязкостью, высоким напряжением сдвига и склонностью к образованию асфальтено-смолистых и парафиновых отложений на внутренних стенках трубопроводов.

Эти факторы существенно осложняют процесс транспортировки, увеличивают энергозатраты и создают дополнительные эксплуатационные издержки. В связи с этим улучшение низкотемпературных свойств нефти — таких как подвижность и текучесть — а также предотвращение образования асфальтено-смоло-парафиновых (АСПО) отложений являются важнейшими задачами для обеспечения эффективной работы нефтетранспортной инфраструктуры.

Существующие методы снижения затрат на транспортировку высокопарафинистых нефтей включают регулирование состава нефтяной смеси, добываемой на западноказахстанских месторождениях. Формирование смеси с оптимальным соотношением компонентов позволяет добиться улучшения её реологических свойств и физико-химических характеристик. Увеличение доли лёгких актюбинских нефтей в составе смеси может существенно снизить вязкость и улучшить текучесть, что облегчит транспортировку. Одновременно с этим изменяется фракционный и компонентный состав нефти, включая концентрации парафинов, асфальтенов и смол, что приводит к перестройке структуры нефтяной дисперсной системы.

Изменение структуры дисперсии делает нефть более восприимчивой к термической и депрессорной обработке, что способствует предотвращению образования парафиновых отложений и снижению энергозатрат при транспортировке.

Таким образом, исследование процессов парафиноотложения и разработка методов улучшения вязкости высокопарафинистых нефтей

является не только актуальной задачей с научной точки зрения, но и представляет значительный практический интерес. Проведение такого исследования позволит создать эффективные технологии транспортировки нефти, снизить эксплуатационные издержки и повысить общую рентабельность нефтедобычи и транспортировки в Казахстане. Это делает данное направление особенно важным и обоснованным для выполнения в рамках диссертационной работы.

Цель исследования:

Разработка научно обоснованных методов предотвращения парафиноотложений и повышения эффективности транспортировки высокопарафинистых нефтей путем изучения их физико-химических свойств, оптимизации процессов термической обработки и внедрения инновационных химических реагентов для улучшения реологических характеристик и минимизации эксплуатационных затрат.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Исследование основных характеристик высокопарафинистой нефти и их процессов парафиноотложения;
2. Разработка способов улучшения реологических параметров и исследование влияния термообработки и состава на процессы парафиноотложения высокопарафинистых нефтей;
3. Синтез депрессорной присадки и оценка эффективности ингибирующих и разрушающих АСПО свойств разработанных реагентов для оптимизации условий транспортировки нефти.

Объектами исследования являются:

Нефть месторождения Кумколь, Акшабулак, Актюбинская и Западноказахстанская нефтесмеси (ЗКНС).

Методы исследования:

Экспериментальные исследования выполнялись с применением высокоточного современного оборудования (класс точности 0,3–1,0). Все используемые аналитические методы соответствовали требованиям стандартов ГОСТ, а полученные результаты проверялись на воспроизводимость с помощью трёхкратного повторения экспериментов. Применялись такие методы, как ИК-спектроскопия, реологические испытания, электронная микроскопия, хроматографический анализ.

Научная новизна исследования

В рамках работы впервые предложены и системно проанализированы методы борьбы с парафинообразованием, основанные на глубоком анализе физико-химических характеристик нефти, механизма кристаллизации парафинов, а также комплексном применении инновационных технологий. Также впервые синтезирован и предложен новый депрессорный реагент РТЕ, обладающий высокой эффективностью в ингибировании процессов парафинообразования. Показано, что добавление РТЕ в сырьё снижает вязкость нефти и минимизирует образование асфальтено-смоло-парафиновых

отложений (АСПО), что открывает новые возможности для повышения эффективности транспортировки тяжёлых нефтей.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в разработке принципиально новых подходов к анализу, прогнозированию и предотвращению парафиноотложений в высокопарафинистой нефти. Комплексное изучение механизмов кристаллизации парафинов, разработка инновационных химических и физических методов их подавления позволяют не только углубить фундаментальные знания в данной области, но и создать эффективные технологические решения для нефтяной промышленности. Установлены механизмы действия синтезированного реагента РТЕ, влияющие на морфологию парафиновых кристаллов, их распределение и структуру.

Положения, выносимые на защиту:

1. Изучены исходные физико-химические свойства нефти, а также структура и природа нормальных алканов, содержащихся в её составе. Установлено их влияние на агрегативную устойчивость дисперсной системы нефти. Выявленные закономерности позволили разработать оптимальные условия транспортировки высокопарафинистых нефтей, обеспечивающие снижение вязкости и предотвращение парафинообразования. Реализация данных условий способствует минимизации энергетических затрат при транспортировке нефти по магистральным трубопроводам.

2. Установлено, что температурная обработка оказывает значительное влияние на реологические свойства нефтяных смесей. Для кумколь-акшабулакской нефтесмеси (КАНС) оптимальная термообработка при температуре 60°C способствует существенному снижению вязкости нефти. В случае ЗКНС термическая обработка при 90°C обеспечивает сохранение ньютоновских свойств нефти до температуры 10°C. Эффект улучшения реологических характеристик нефтесмесей сохраняется до 5 дней, после чего наблюдается постепенное увеличение вязкости. Эти результаты позволяют рекомендовать оптимальные параметры термообработки для повышения эффективности транспортировки нефтей с высоким содержанием парафинов. Увеличение концентрации актюбинской нефтесмеси приводит к улучшению реологических параметров западноказахстанской нефтесмеси (уменьшение вязкости, напряжения сдвига), с увеличением доли актюбинской нефтесмеси до 20% и более повышается восприимчивость западноказахстанской нефтесмеси к тепловой обработке 60°C.

3. Установлено, что комбинированное применение термической обработки и синтезированного нового депрессорного реагента РТЕ позволяет существенно улучшить реологические свойства высокопарафинистых нефтей. Максимальная депрессия температуры потери текучести для ЗКНС достигается при термообработке при 90°C и введении реагента РТЕ в концентрации 1000 ppm, что снижает температуру застывания на 15°C. Для кумколь-акшабулакской нефтесмеси снижение достигает 9°C. Введение РТЕ в концентрации 500 ppm при температурах 90°C для ЗКНС и КАНС демонстрирует стабильное ингибирующее действие, сохраняя вязкость,

напряжение сдвига и температуру потери текучести на оптимальном уровне в течение 10 суток, что подтверждает долгосрочную эффективность и надёжность реагента для повышения текучести и минимизации парафинообразования в нефтяных смесях.

Соответствие диссертации направлениям развития науки или государственным программам. Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2024-2026 годы BR24992868 «Разработка инновационной технологии и программных продуктов применения многокомпонентных сплавов для повышения продуктивности скважин высоковязкой нефти» Договор № 375 ПЦФ 24-26 от 01.10. 2024 года.

Личный вклад автора, публикации и апробация практических результатов работы.

Личный вклад автора заключается в анализе и критической оценке данных литературных источников, проведении экспериментальных исследований, применении физико-химических методов анализа, систематизации и интерпретации полученных результатов, а также формулировании научных выводов на основе проведённых исследований.

Апробация работы. Материалы диссертации были доложены и обсуждены на VI Международной научно-практической конференции «Перспективы инновационного развития химической технологии и инженерии», посвященной 100-летию профессора Бориса Константиновича Марушкина (Марушкинские чтения-VI), проводимой в смешанном очно-дистанционном формате в ФГБОУ ВО УГНТУ (17-19 ноября 2021г., Республика Башкортостан, г. Уфа.) Материалы направлены для доклада на конференции проводимой в смешанном очно-дистанционном формате «4th Global Summit on Advances in Earth Science and Climate Change» (Adv. ESCC 2025) Сентябрь 29-30, 2025г. Берлин, Германия.

Публикации. Основные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационного исследования, опубликованы в трёх научных изданиях. Среди них — две статьи, опубликованные в международных журналах с процентилем 60 и одна статья с процентилем 76, включённые в базу данных Scopus. Также опубликованы две работы в материалах международных научных конференций.

Структура и объём диссертации

Диссертационная работа включает нормативные ссылки, перечень обозначений и сокращений, введение, три главы, заключение и список использованных источников. Общий объём работы составляет 107 страниц и включает в себя 19 таблиц и 62 рисунка. В список использованных источников вошли 134 наименования.