

На правах рукописи



ДУСМЕТОВА ГЮЗАЛЬ ИКРАМОВНА

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПРИСАДКИ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ТРУБОПРОВОДНОГО
ТРАНСПОРТА НЕФТЕЙ И НЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В УСЛОВИЯХ
ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ РЕЖИМОВ ПЕРЕКАЧКИ

02.00.13 - Нефтехимия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань – 2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Научный руководитель доктор технических наук, профессор,
Шарифуллин Андрей Виленович

Официальные оппоненты **Хафизов Айрат Римович,**
доктор технических наук, профессор,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уфимский государственный нефтяной технический
университет», кафедра «Разработки и эксплуатации
газовых и нефтегазоконденсатных месторождений»,
профессор

Антонов Сергей Александрович,
кандидат химических наук, акционерное общество
«Всероссийский научно-исследовательский
институт по переработке нефти (АО «ВНИИ НП»),
г. Москва, лаборатория моторных масел,
заведующий

Ведущая организация Акционерное общество «Волжский научно-
исследовательский институт углеводородного
сырья» (АО «ВНИИУС»), г. Казань

Защита состоится «17» декабря 2020 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.080.17, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, зал заседаний Ученого совета (А-330).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» и на сайте <http://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=336391>

Автореферат разослан « » октября 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.080.17



Емельянычева Елена Анатольевна

Актуальность работы. Длительная разработка нефтяных месторождений привела к исчерпыванию запасов нефтей с малой вязкостью и плотностью, таких как нефти «девона». Происходит нарастание в балансе добываемых вязких и высоковязких нефтей с повышенным содержанием асфальто-смолистых веществ (АСВ) и твердых парафинов – нефти «карбона». Ухудшение структуры добываемых остаточных нефтей связано с применением на месторождениях, находящихся на поздней стадии разработки целой гаммы вторичных методов добычи и, прежде всего методов заводнения. Когда вследствие накопления АСВ нефтескваженная продукция представляет собой высоковязкие эмульсии. Добытую таким образом нефтескваженную продукцию необходимо транспортировать до пунктов подготовки. Сбор, транспорт и перекачка такой нефтепромысловой продукции с высокой вязкостью и обводненностью представляет достаточно большую проблему, так как ухудшаются реологические характеристики в условиях изменяющихся гидродинамических режимов перекачки (турбулентного и нетурбулентного).

Степень разработанности темы исследований. Одним из способов улучшения реологических характеристик транспортируемых нефтей и нефтяных эмульсий является введение в поток реагентов, снижающих вязкость. Однако применяемые для этих целей различные высокомолекулярные полимерные присадки, вводимые в поток, с задачей снижения вязкости жидкостного течения и увеличения пропускной способности трубопровода в условиях турбулентного движения при длительной перекачке не справляются в полной мере. Причина в том, что они изначально обладают низкой структурной устойчивостью, даже при небольшой обводненности сырья. Также они значительно утрачивают свою эффективность при попадании в насос, в факторах пониженных температур и наличия жидкости. Как показывают результаты промысловой практики, вязкие и высоковязкие нефтеэмульсионные среды перекачиваются не только в турбулентном, но в постоянно меняющемся режиме: ламинарном и/или переходном. Введение промышленных высокомолекулярных присадок в такие эмульсии не приводит к увеличению пропускной способности трубопровода, а в некоторых случаях даже увеличивает вязкость среды и, как следствие, приводит к увеличению сопротивления перекачиваемой среды.

Поэтому современные требования к такого рода присадкам предполагают определенную универсальность: сочетание «вязкостных» и «противотурбулентных» свойств с сохранением устойчивости к различным видам деструкций (прежде всего к термо- и хемодеструкции) с учетом применения в нефтяных средах с различной вязкостью (в том числе и в эмульсиях). Однако используемые в настоящее время высокомолекулярные полимерные присадки не отвечают в полной мере этим требованиям. Для решения вышеназванных проблем необходимо разработать новые композиционные составы, в том числе и с добавлением наноконпонентов, снижающие вязкость перекачиваемых нефтяных сред и эффективно работающие в разных гидродинамических режимах перекачки.

Цель диссертационной работы состояла в разработке композиционных составов и технологии их производства, обеспечивающих снижение гидравлического сопротивления и затрат энергии на перекачку нефтей различного группового состава и нефтяных эмульсий на их основе в условиях различных гидродинамических режимов перекачки.

Для достижения поставленной цели были сформулированы, а также найдены решения на следующие поставленные в работе **задачи**:

1. Создать унифицированную методику выработки противотурбулентного эффекта реагентов в составе нефтей и нефтяных эмульсий, учитывающую продолжительности их действия;

2. Произвести научно и экономически обоснованный выбор компонентов присадок к нефтям и нефтяным эмульсиям и разработать композиционные составы на их основе, в том числе и с добавлением нанокomпонентов;

3. Оценить изменение реологических свойств нефтей различного группового состава и вязких нефтяных эмульсий природного и искусственного происхождения в условиях их нетурбулентного движения с добавлением разработанных композиционных присадок на основе низкомолекулярных полимеров;

4. Оценить эффективность по снижению гидравлического сопротивления нефтей и нефтяных эмульсий (естественных и искусственных) различного структурно-группового состава в условиях турбулентного режима движения (эффект Томса) с добавлением разработанных композиционных присадок;

5. Исследовать влияние разработанных композиционных составов на процессы, осложняющие транспортировку нефти и нефтяных эмульсий;

6. Оценить энергосбережение от применения реагентов при перекачке нефтяной эмульсии по модельному трубопроводу;

7. Разработать принципиальную технологию производства композиционных реагентов и дать ее технико-экономическое обоснование.

Научная новизна

1. Выявлены закономерности снижения гидравлического сопротивления для нефтей и нефтяных эмульсий различного группового состава, содержащих композиционные присадки на основе низкомолекулярных полимеров, обладающих способностью образовывать «псевдополимерные» структуры с большей молекулярной массой с «зацеплением» компонентов нефти.

2. Установлено, что на эффективность снижения сопротивления движущихся потоков нефти и нефтяных эмульсий в условиях как турбулентного, так и не турбулентного режимов перекачки влияют особенности строения и структуры низкомолекулярных полимеров в составе композиционных реагентов.

3. Установлено, что на выравнивание эффекта снижения гидравлического сопротивления при транспортировке нефтей различного группового состава влияет нанокomпонент и ПАВ, входящие в состав композиционной присадки.

4. Предложен механизм действия на высоковязких нефтях и нефтяных эмульсиях разработанных композиционных составов в условиях изменяющихся гидродинамических режимов движения.

Теоретическая и практическая значимость

1. Разработана унифицированная методика определения противотурбулентного эффекта присадок с учетом продолжительности их действия. Разработано программное обеспечение. Получен патент РФ на методику измерения;

2. Разработаны композиционные присадки на основе низкомолекулярных полимеров серии NAVA и их товарные формы. Получен патент РФ на композиционный состав;

3. Осуществлены опытно-промышленные испытания разработанной присадки NAVA 7 на ТОО «Нефтехимстрой-Юг» на нефти Узеньского месторождения. Увеличение производительности пилотного трубопровода ТОО «Нефтехимстрой-Юг» от использования присадки составило 15 %. По результатам испытаний получен акт испытаний;

4. Разработана технология и сформирована принципиальная технологическая схема производства композиционных присадок. Дано технико-экономическое обоснование разработанной технологии;

5. Оценена экономия электроэнергии от применения разработанных композиционных присадок на пилотной установке.

Методология и методы исследования

При проведении диссертационного исследования использованы стандартные и оригинальные методы изучения физических, физико-химических, химических и эксплуатационных свойств сырья, вспомогательных материалов и готовых продуктов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Закономерности изменения реологических свойств нефтей и нефтяных эмульсий различного состава с добавками «низкомолекулярных» полимеров;

2. Модификация методики оценки продолжительности эффекта снижения гидравлического сопротивления нефтяных и нефтеэмульсионных потоков в присутствии присадок при их турбулентном движении;

3. Результаты экспериментальных исследований оценки влияния состава и структуры композиционных присадок на прокачиваемость вязких нефтей и нефтяных эмульсий на их основе различного состава при изменяющихся гидродинамических режимах движения (турбулентном и нетурбулентном);

4. Результаты экспериментальных исследований эффективности действия композиционных присадок в процессах, сопутствующих процессу транспорта нефтей и нефтяных эмульсий;

5. Основные подходы к разработке технологии, подбору основного оборудования, предназначенных для производства разработанных композиционных составов с учетом экономической составляющей.

6. Принципиальная технология производства композиционных составов.

Степень достоверности результатов обеспечена применением современных лабораторных методов, большим объемом и воспроизводимостью экспериментальных данных и их непротиворечивостью литературным данным, современного испытательного оборудования, обеспечивающего высокий уровень точности измерений. Обработка результатов экспериментальных данных проведена с помощью современных программных пакетов.

Апробация работы. Основные научно-практические положения и результаты диссертационной работы были представлены и докладывались на: IX Международной конференции «Химия нефти и газа» (Томск, 2015), IX Международной научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы инновационного развития нефтехимии» (Нижнекамск, 2016), Юбилейной 70-ой международной молодежной научной конференции «Нефть и газ 2016» приуроченной к III Национальному нефтегазовому форуму (Москва, 2016), Международном форуме-конкурсе молодых ученых «Проблемы недропользования» (Санкт-Петербург, 2016, 2017, 2018), Конференции молодых ученых «Молодежь и инновации Татарстана» (Казань, 2016), VII Республиканской научно-практической конференции Образование. Наука. Инновация: Актуальные проблемы и пути развития, в рамках 25-летия независимости (Казахстан, Кызылорда, 2016), IX Международной научно-практической конференции молодых ученых «Актуальные проблемы науки и техники-2016» (Уфа, 2016), VII Международной научно-практической конференции «Практические аспекты нефтепромышленной химии» (Уфа, 2017), XI Международном научно-техническом конгрессе студенческого отделения общества инженеров-нефтяников Society of Petroleum Engineers (SPE) (Тюмень, 2017), II Международной конференции «Современные решения научных и производственных задач в химии и нефтехимии» (Казань, 2017), XII Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности» (Москва, 2017), XXIX Международной конференции «Развитие науки в XXI веке» (Украина, г. Харьков, 2017), 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference – SGEM 2017 (Австрия, г. Вена, 2017), III Международной научно-

практической конференции «Современные технологии в науке и образовании: проблемы, достижения, перспективы» (Стерлитамак, 2017), XII Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России» (Москва, 2018), 72-ой Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ-2018», (Москва, 2018), III Международной научно-практической конференции молодых ученых «Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии» (Альметьевск, 2018), II Всероссийской научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт углеводородов» (Омск, 2018), Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ 2019» (Москва, 2019).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач диссертационного исследования, выборе объектов и методов исследования, непосредственном участии в проведении экспериментов, обсуждении и интерпретации полученных результатов, формулировке основных научных положений и выводов, подготовке материалов диссертации к опубликованию в виде статей.

Автор выражает благодарность к.т.н., доценту Байбековой Л.Р. за помощь и активное участие при подготовке к защите диссертации, Харитонову Е.В. за помощь при оформлении диссертации, Лыжиной Н.В. за помощь при подготовке экономического расчета производства присадок.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 34 научных трудах, из них 4 статьи в научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России и 3 статьи индексируемые в МБД Scopus, 21 тезисов-докладов, получено 2 патента РФ и 1 свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ Российской Федерации.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация изложена на 199 страницах машинописного текста, состоит из введения, 3 глав, заключения и библиографического списка, включающего 127 наименований. В работе 137 рисунков и 67 таблиц.

Работа выполнена в рамках направления РФ ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы», а также в соответствии с договором № 39-18 между КНИТУ и ПАО «Татнефть» от 27.06.2018.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава диссертации содержит аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы, где рассмотрены проблемы трубопроводного транспорта «тяжелых» нефтей, реологические свойства нефтяных дисперсных систем, изменение гидравлического сопротивления движущихся жидких сред, способы увеличения пропускной способности трубопроводов, принцип работы противотурбулентных присадок, факторы, влияющие на снижение гидравлического сопротивления, особенности реологии высоковязких и высокозастывающих нефтей в условиях перекачки, реагенты для снижения вязкости нефти и нефтяных эмульсий, технологические схемы получения присадок.

Во второй главе приведены методы исследования, использованные в работе, описание лабораторной установки, методика проведения экспериментов по оценке эффективности эффекта Томса, а также методы инструментального анализа физико-химических свойств жидкостей, и характеристик использованных присадок.

Третья глава состоит из характеристики объектов исследований и оценки эффективности промышленных противотурбулентных присадок; оценки «вязкостных» эффектов промышленных противотурбулентных присадок; разработка «вязкостно»-противотурбулентных композиционных реагентов и определение их основных физико-химических и поверхностных свойств; испытании разработанных «вязкостно-

противотурбулентных» композиционных реагентов на различных углеводородных средах, в том числе и на нефтяной эмульсии; оценки эффективности разработанных композиционных реагентов в процессах, сопутствующих процессу транспортировки; разработки технологии производства «вязкостно»-противотурбулентных композиционных реагентов; экономического расчета производства присадок.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования показали, промышленные присадки не обладают одновременно противотурбулентными и «вязкостными» свойствами на эмульсиях и нефтях, так как в условиях транспортировки происходят изменения гидродинамических режимов перекачки сред. Следовательно, необходимо создать композиционную присадку, отвечающую этим требованиям многофункциональности. С этой целью были разработаны композиционные присадки, на основе низкомолекулярного полиэтилена (побочный продукт производства полиэтилена высокого давления) и сэвилена(сополимер этилена с винилацетатом).

Составы активной части разработанных присадок приведены в таблице 1. Полученная активная часть присадки имеет мазеобразную консистенцию, обладает более длительной растворимостью в нефтях (особенно парафинистой), в связи с чем, для эффективного использования была разработана товарная форма, которая представляет собой 65 % мас. раствор активной части в дизельной фракции. Название активной части и товарной формы совпадают. Активное начало присадки NAVA5 в отличие от активного начала присадки NAVA, содержит в составе наноконкомпонент оксид алюминия. Приготовлены также присадки на основе сэвилена-11507-070 с содержанием винилацетатных звеньев – 21-24% и сэвилена-12306-020 с содержанием винилацетатных звеньев – 15-20%.

Таблица 1– Состав присадок серии NAVA

Название присадки	Содержание компонентов присадки, мас.%				
	NAVA	НМПЭ	Гидразин	Реапон-4В	
70		25	5		
NAVA5	НМПЭ	Гидразин	Реапон-4В	Наноконкомпонент (Al ₂ O ₃)	
	70	15	10	5	
NAVA6	Сэвилен 12306-020	Олеиновая кислота	Трет-бутиловый спирт	Реапон-4В	
	70	10	10	10	
NAVA7	Сэвилен 12306-020	Олеиновая кислота	Трет-бутиловый спирт	Наноконкомпонент (Al ₂ O ₃)	Реапон-4В
	70	10	5	5	10
NAVA8	Сэвилен 11507-070	Олеиновая кислота	Изопропиловый спирт	Реапон-4В	
	70	10	10	10	
NAVA9	Сэвилен 11507-070	Олеиновая кислота	Изопропиловый спирт	Наноконкомпонент (Al ₂ O ₃)	Реапон-4В
	70	10	5	5	10

На следующем этапе были проведены исследования полученных присадок. На рисунке 1 а) приведены ИК-спектры НМПЭ, присадки на его основе NAVA, и присадки с наноконкомпонентом NAVA5; б) MALDI НМПЭ (1), MALDI присадка NAVA 5.

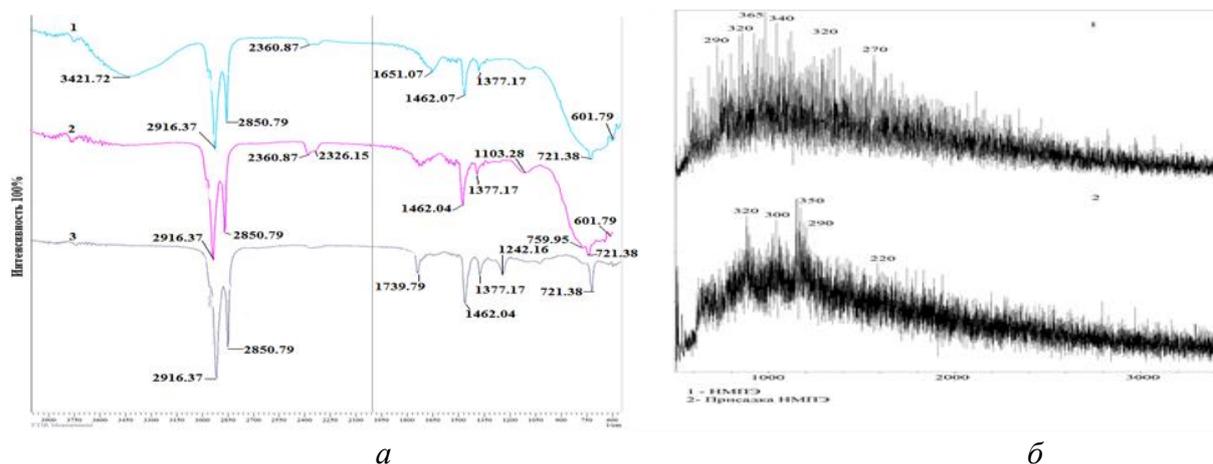


Рисунок 1-а) ИК-спектры НМПЭ(3), присадка NAVA(1), присадка NAVA 5(2);
 б) MALDI НМПЭ (1), присадка NAVA 5

Анализ данных MALDI и ИК-спектров показывает, что НМПЭ представляет собой смесь веществ, содержащих ненасыщенные связи разных типов: карбонильные, винильные и др., что делает его возможным к формированию физико-химических связей с другими компонентами. Сэвилены различной молекулярной массы имеют более разветвленные карбонильные группы и винильные группы. Одной из особенностей наночастиц является нескомпенсированность валентных возможностей атомов, находящихся на поверхности, что приводит к высокому значению поверхностной энергии, поэтому из-за наличия развитой поверхности наносистемы далеки от равновесия. Можно предположить, что в присадках произошло образование псевдополимерной структуры, предотвращающей скручивание полимера, что способствует гашению турбулентных вихрей в потоке.

Для оценки эффективности присадки были выбраны нефти «Азнакаевскнефть» (с повышенным содержанием смолистых веществ и асфальтенов), Ярудейская нефть (с повышенным содержанием парафинов), физико-химические характеристики и структурно-групповой состав которых приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические характеристики исследуемых нефтей

Место отбора	Плотность, кг/м ³	Темпер. застывания, °С	Сера % масс	Смолы % мас.	Асфальтены, % мас.	Парафины, % мас.
Азнакаевск нефть	881	0	1,67	21,27	4,14	3,84
Ярудейская нефть	811	+12	0,07	29,00	0,33	39,33

В основе испытаний вязкостных свойств лежит определение динамической вязкости. Были проведены исследования динамической вязкости нефти с большим содержанием смолистых веществ и парафинов с разработанной присадкой на основе низкомолекулярного полиэтилена с торговым названием NAVA, NAVA5 в температурном интервале от плюс 20÷минус 10°С. Это связано с существенным изменением температуры окружающей среды в течение года в условиях непрерывности перекачки. Проведенные исследования выявили оптимальную концентрацию присадок 100 г/т.

Оценка «вязкостного» эффекта на нефти с повышенным содержанием смолистых веществ и асфальтенов.

На рисунке 2 представлены исследования нефти НГДУ «Азнакаевскнефть» при температуре 0°С, особенность значения вязкости связана с тем, что это температура фазового перехода тяжелых компонентов нефти (гудронная часть), поэтому с позиции транспорта (перекачки) она важна для исследований.

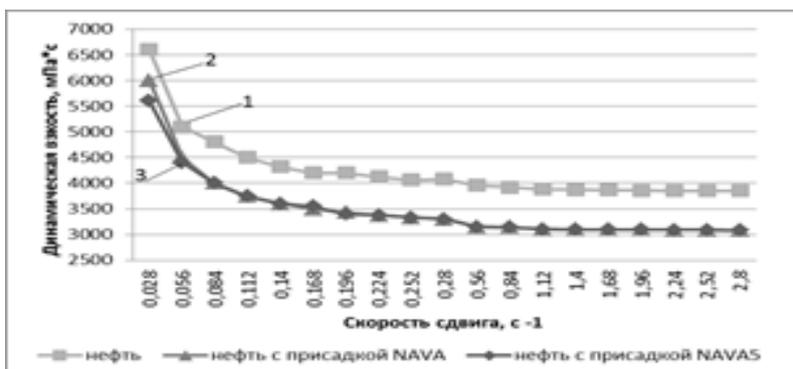


Рисунок 2 – Зависимость динамической вязкости от скорости сдвига при температуре 0°C: 1-нефть, 2-нефть с присадкой NAVA, 3-нефть с присадкой NAVAS. При общей концентрации присадки 100 г/т

Таким образом, использование присадок в температурном диапазоне 20 - минус 5 на нефти с большим содержанием смолистых веществ и асфальтенов позволяет снизить динамическую вязкость на 5,5-17%.

С целью выявления зависимости молекулярной массы и структуры присадки на снижение динамической вязкости была определена динамическая вязкость нефти с большим содержанием смолистых веществ и асфальтенов с разработанными присадками на основе Сэвилена- 12306-020 с содержанием винилацетатных звеньев – 15-20% с торговым названием NAVA6, NAVA7, проведенные в температурном интервале плюс 20÷минус 10 °С. Концентрация присадки 100 г/т.

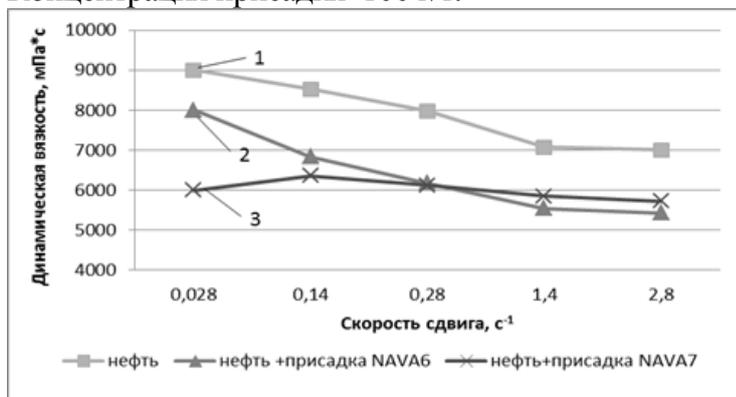


Рисунок 3 – Зависимость динамической вязкости нефти и нефти с присадками от скорости сдвига при температуре -10°C где: 1- чистая нефть, 2- нефть с присадкой NAVA6, 3-нефть с присадкой NAVA7

С целью выявления зависимости снижения динамической вязкости от изменения основного компонента присадки с сэвилена- 12306-020 на сэвилен-11507-070 были разработаны присадки с торговым названием NAVA8, NAVA9. Испытания разработанных присадок проведены в температурном интервале плюс 20÷минус 10 °С. Концентрация присадки 100 г/т. Графическое изображение результатов измерения динамической вязкости при температуре -10 °С представлено на рисунке 4.

По данным исследований добавление присадки при температуре 0°C при скорости сдвига 0,84 с⁻¹ позволяет снизить динамическую вязкость на 17%; при температуре минус 5°C, динамическая вязкость снизилась при скорости сдвига 0,028 с⁻¹ эффективность действия составила 5,5%, однако положительный эффект снижения вязкости стал уменьшаться.

Наибольшую эффективность присадка показала при температуре -10°C, результаты исследований приведены на рисунке 3.

Максимальная эффективность действия присадки NAVA6 по снижению динамической вязкости составила - 22,6%.

Максимальная эффективность действия присадки NAVA7 по снижению динамической вязкости достигается при скорости сдвига 0,028 с⁻¹ и составляет 33,3 %.

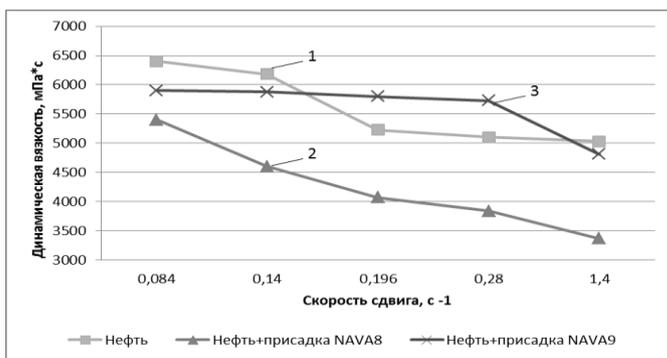


Рисунок 4 – Зависимость динамической вязкости нефти и нефти с присадками от скорости сдвига при температуре -10°C , где: 1- чистая нефть, 2- нефть с присадкой NAVA8, 3-нефть с присадкой NAVA9

Добавление присадки NAVA8 при температуре -10°C при скорости сдвига $0,084\text{ с}^{-1}$ позволяет снизить динамическую вязкость на 15,6%, а при скорости сдвига $1,4\text{ с}^{-1}$ на 33,1%. Добавление присадки NAVA9 при скорости сдвига $0,084\text{ с}^{-1}$ позволяет снизить динамическую вязкость на 7,8%, а при скорости сдвига $1,4\text{ с}^{-1}$ на 4,4%.

С увеличением содержания винилацетатных звеньев эффективность действия присадки по снижению динамической вязкости уменьшается.

Оценка «вязкостного» эффекта на нефти с повышенным содержанием парафинов

В качестве объекта исследования выбрана «парафинистая» нефть Ярудейского месторождения, разработку ведет ООО «Ярgeo».

Результаты измерений динамической вязкости при температуре 20°C и 10°C для нефти представлены на рисунках 5-6.

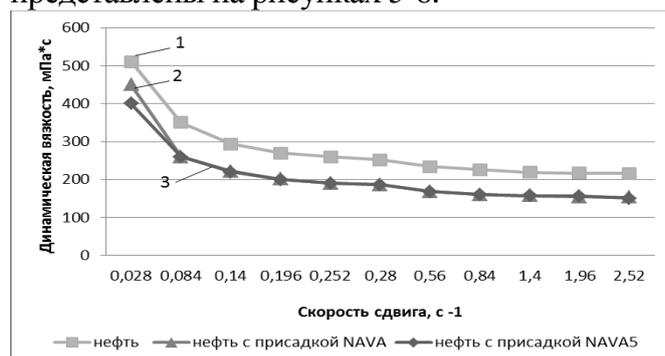


Рисунок 5 – Зависимость динамической вязкости парафинистой нефти от скорости сдвига при температуре 20°C , где: 1-нефть, 2-нефть с присадкой NAVA, 3-нефть с присадкой NAVA 5. Общая концентрация присадки 100 г/т

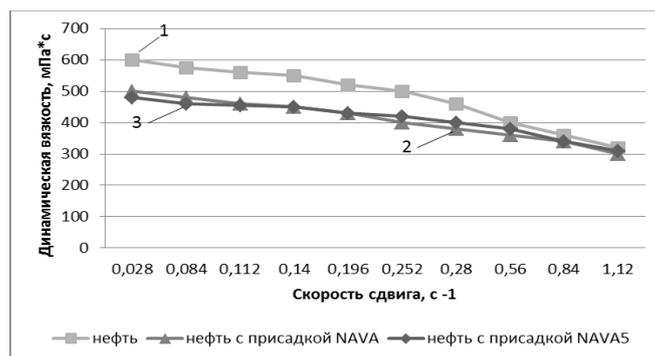


Рисунок 6 – Зависимость динамической вязкости парафинистой нефти от скорости сдвига при температуре 10°C : 1-нефть, 2-нефть с присадкой NAVA, 3-нефть с присадкой NAVA 5. Общая концентрация присадки 100 г/т

Таким образом, разработанные композиционные присадки обладают эффективностью по снижению динамической вязкости в температурном диапазоне от 20°C до 10°C для «парафинистой» нефти и до минус 5°C для «смолистой» нефти. При этом снижение вязкости в большей степени наблюдается для «парафинистой» нефти. Содержание нанокон компонента в составе присадки NAVA 5 снижает динамическую вязкость при малых скоростях сдвига.

Длительная эксплуатация нефтяных месторождений и «заводнение» нефтеносных пластов приводят к образованию стойких водно-нефтяных эмульсий. Обводненность нефти вызывает более интенсивное осадкообразование, повышает температуру застывания нефти, увеличивает ее вязкость, что существенно затрудняет процессы их транспортировки в различных климатических условиях. Прежде всего, прокачиваемость эмульсий связана с их реологическими особенностями, что особенно важно на начальном этапе перекачки, когда вязкость максимальна (пороговые значения вязкости). Поэтому представляет интерес изучение реологических свойств водонефтяных эмульсий под действием внутренних и внешних факторов.

Оценка «вязкостного» эффекта на нефтяных эмульсиях с повышенным содержанием смолистых веществ и асфальтенов

Исследования проводились на нефти Ромашкинского месторождения НГДУ «Азнакаевскнефть» в температурном диапазоне плюс 20÷минус 10 °С. Проведены исследования присадок NAVA, NAVA5 на эмульсиях с содержанием минерализованной воды от 10% до 40%. Эмульсия с содержанием воды 50% была неустойчива и имела высокую вязкость, поэтому исследования на этой эмульсии с содержанием воды 50 % и более не проводились. Концентрация присадки от 5 -100 г/т.

Проведены дополнительные исследования реологических свойств нефтяных эмульсий, содержащих 30% и 40% воды. При общей концентрации присадки 100 г/т. Результаты представлены на рисунках 7-8.

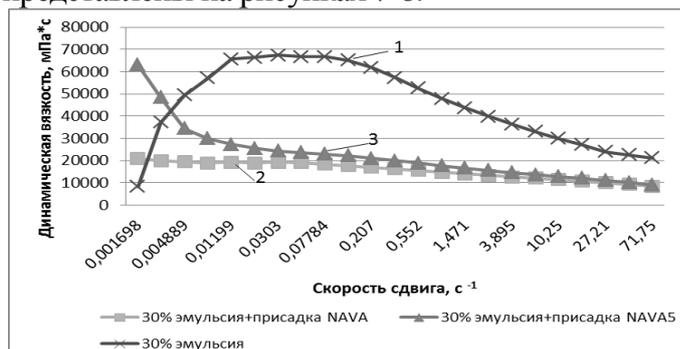


Рисунок 7 – Зависимость динамической вязкости 30% эмульсии от скорости сдвига при температуре 0 °С, где: 1-30% эмульсия, 2- 30% эмульсия с присадкой NAVA, 3-30% с присадкой NAVA 5. При общей концентрации присадки 100 г/т

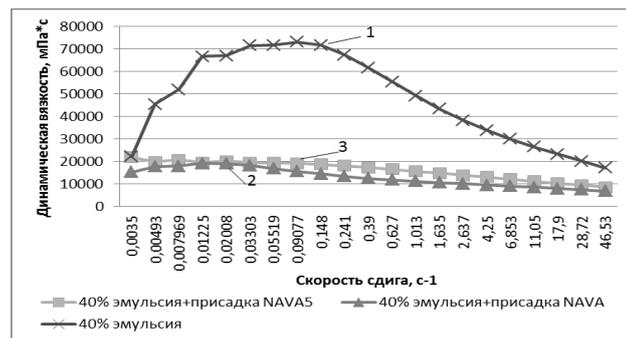


Рисунок 8 – Зависимость динамической вязкости 40% эмульсии от скорости сдвига при температуре 0 °С, где: 1-40% эмульсия, 2- 40% эмульсия с присадкой NAVA, 3-40% с присадкой NAVA 5

По данным рисунка 7 для динамической вязкости 30% эмульсии характерно увеличение вязкости до скорости сдвига 0,01198 с⁻¹ с 8924 мПа*с до 65580 мПа*с, затем от скорости сдвига 0,01198 до 0,207 с⁻¹ постепенно снижается, затем происходит резкое снижение с 61830 мПа*с до 21120 мПа*с, для эмульсии с присадками такого не наблюдается, следовательно, входящий в состав композиционной присадки низкомолекулярный полимер встраивается между слоями нефтяной эмульсии и не происходит структурообразование.

Из рисунков 7 и 8 следует, что зависимость динамической вязкости от скорости сдвига носит экстремальный характер для чистой эмульсии, при добавлении присадок, по всей видимости, экстремум сдвигается в область малых скоростей сдвига и приближаются к нулю. При рабочих скоростях сдвига значение динамической вязкости резко падает.

Оценка противотурбулентных свойств разработанных присадок на модельной системе - дизельной фракции

На настоящий момент нефтедобывающая отрасль России развивается все большим введением в эксплуатацию новых месторождений, увеличением продуктивности имеющихся месторождений путем обустройства новых добывающих кустов и подключением их сетей к магистральным нефтепроводам. В связи с этим происходит увеличение длины трубопроводов от нефтедобывающих скважин до пунктов сбора нефтескважиной продукции («кустов») и систем первичной подготовки нефти (дожимные насосные станции) и транспортировка до установок подготовки нефти (ТХУ, УПН, УКПН). В ряде случаев это расстояние достигает 100 км.

Исследования и определения эффективности ПТП проводились на жидких углеводородных средах. Модельной средой для предварительной оценки противотурбулентных составов была выбрана прямоугольная дизельная фракция (ДФ).

Дизельная фракция, обладая высоким сродством с нефтью, имеет более низкую вязкость, что позволяет создать большую турбулизацию, соответствующую реальным процессам перекачки нефти и нефтяных эмульсий.

Первичным результатом проведенных гидродинамических исследований на разработанной установке (патент РФ № 166259) является расходная характеристика – функциональная зависимость изменения расхода жидкости во времени. В нашем случае наиболее эффективной шкалой является изменение расхода по числу циркуляционных циклов присадки, т.е. по количеству раз, которое проходит условная единица жидкости через циркуляционный насос за время проведения эксперимента.

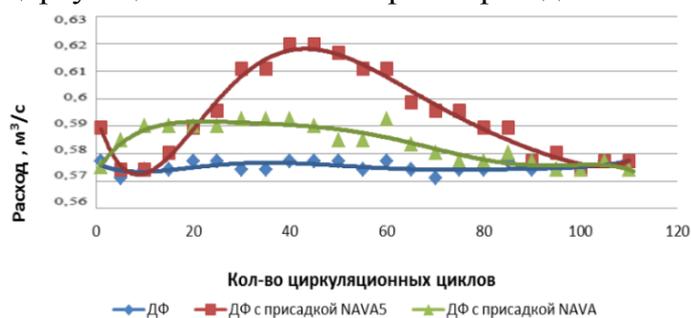


Рисунок 9 – Зависимость изменения расхода дизельной фракции (ДФ) с присадками NAVA5, NAVA от количества циркуляционных циклов, где: 1 – Дизельная фракция, 2 – ДФ+NAVA, 3 – ДФ + NAVA5

По результатам данных исследований (рисунок 9) видно, что присадки на основе низкомолекулярного полиэтилена (NAVA) и с добавлением нанокон компонента (NAVA5) обладают повышенной структурной устойчивостью к механическим воздействиям, о чем свидетельствует сохранение способности по увеличению расхода до 80-100 циркуляционных циклов.

Наличие наноразмерного оксида алюминия в составе противотурбулентной присадки (ПТП) NAVA5 позволяет значительно повысить эффективность присадки по увеличению пропускной способности трубопроводной системы.

Полученные результаты являются оценочными и предназначены для сравнения эффективности с существующими промышленными ПТП. Результаты исследований представлены на рисунке 10.

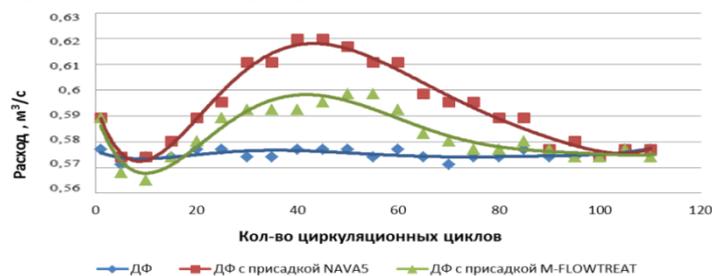


Рисунок 10 – Зависимость изменения расхода дизельной фракции (ДФ) с присадкой NAVA5 и промышленной присадкой M-FLOWTREAT от количества циркуляционных циклов, где: 1-дизельная фракция (ДФ), 2- ДФ с присадкой NAVA, 3- ДФ с присадкой M-FLOWTREAT

Согласно полученным результатам, разработанная присадка с нанокон компонентом (NAVA5) с концентрацией 100 г/т увеличивает расход дизельной фракции по сравнению с промышленной присадкой M-FLOWTREAT.

В обоих случаях эффект сохраняется приблизительно до 100 циклов перекачки (100 раз проходит через шестеренчатый насос), что свидетельствует об их достаточно высокой устойчивости к механической деструкции.

Существует несколько подходов к оценке противотурбулентного эффекта, наша задача получить лабораторные данные близкие к реальным (приближенным к промышленным условиям). Поэтому были использованы расчетные оценки действия ПТП (величина эффекта Томса (ВЭТ)) с применением нескольких методов и учетом определенных факторов на присадке на основе НМПЭ (NAVA5). Полученные данные приведены в таблице 3.

Для более точного расчета ВЭТ нами применен подход, учитывающий снижения перепада давления жидкости в трубопроводе с учетом диаметра и длины трубопровода

(формула 2). Кроме того, проведена сравнительная оценка эффекта Томса (ВЭТ) по широко применяемой формуле 1 (учитывающей только изменение расхода).

$$T = \frac{L-L_0}{L_0}, \quad (1)$$

$$T = \sqrt{\frac{\lambda_0}{\lambda}} - 1, \quad (2)$$

где Т-эффект Томса, L_0 – расход перекачиваемой среды без ПТП, м³/ч;

где λ и λ_0 – коэффициенты гидравлического сопротивления

L – расход перекачиваемой среды с ПТП, м³/ч.

Из полученных данных следует (таблица 3), что для более точной оценки необходимо учитывать потери напора на трение и потери напора по снижению местных сопротивлений (формула 2).

Таблица 3 – Результаты исследования присадки на основе НМПЭ (NAVA5) при различных методах расчета ВЭТ

Название присадки	Расход, м ³ /ч	Средняя скорость, м/с	Перепад давления на змеевике, кгс/см ²	Коэффициент гидравлического сопротивления	ВЭТ по формуле 1, %	ВЭТ по формуле 2, %
Нет присадки	0,576	8,15	4,10	0,030647		
NAVA 5	0,612	8,66	3,85	0,025338	6,250	8,06
M-FLOWTREAT	0,601	8,51	3,90	0,026881	4,375	5,55

Количественный состав присадки подбирался экспериментально.

Подтверждением выбора компонентов данного состава являются гидродинамические испытания, приведенные на рисунке 11.

Полное отсутствие нанокон компонента в присадке снижает эффективность действия присадки, что наглядно представлено на рисунке 11, однако композиция NAVA 9 является составом с повышенной устойчивостью к механическим воздействиям.

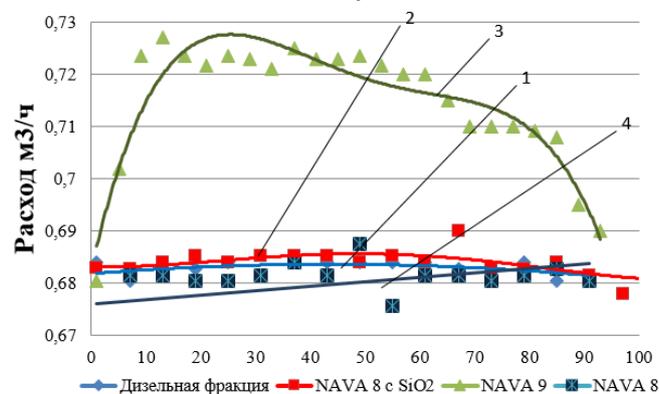


Рисунок 11– Зависимость изменения расхода дизельной фракции от количество циклов при применении присадки на основе сэвилена 11507-070 в различных вариациях состава, где: 1 – Дизельная фракция, 2 –ДФ+ NAVA8 с SiO₂, 3- ДФ+NAVA 9, 4- ДФ+NAVA 8

Определения оптимальной концентрации присадки NAVA9 – 100 г/т проведено экспериментально. Далее проведен сравнительный анализ с промышленными присадками, которые применяются на транспортных системах России и иностранных государств.

В качестве промышленно применяемых противотурбулентных присадок были выбраны основные ПТП применяемые в ПАО «Транснефть» такие как: Baker Hughes (присадка FLO-XL), Conoco Philips и присадка M-FLOWTREAT компании ГК «Миррико».

Оптимальная концентрация для промышленных присадок была выбрана в 100 г/т, так как именно при данной концентрации все присадки показали максимальную эффективность по увеличению гидравлического сопротивления на модельной жидкости - прямогонной дизельной фракции.

По полученным данным были произведены расчеты эффективности величины эффекта Томса и представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты исследования присадки NAVA9 и промышленных ПТП при различных методах расчета ВЭТ

Название Присадки	Расход, м ³ /ч	Средняя скорость, м/с	Перепад давления на змеевике, кгс/см ²	Коэффициент гидравлического сопротивления	ВЭТ по формуле 1, %	ВЭТ по формуле 2, %
Нет присадки	0,675	9,55	4,70	0,023308	0	0
NAVA9	0,730	10,33	4,46	0,018911	8,15	11,02
Baker Hughes	0,740	10,47	4,40	0,018156	9,63	13,31
M-FLOTREAT	0,705	9,98	4,58	0,020821	4,44	5,80
Conoco Philips	0,700	9,90	4,60	0,021212	3,70	4,82

Исходя из данных таблицы 4 можно сделать вывод, что присадка Baker Hughes обладает наибольшей величиной эффекта Томса по сравнению с нами разработанной присадкой на основе сэвилена 11507-070 с наноконпонентом (NAVA 9). При этом больший эффект и разница в эффектах наблюдается при расчете по формуле 2, учитывающей потери напора на трение и на преодоление местных сопротивлений.

По полученным значениям эффективности промышленной присадки, можно предположить значения эффективности на реальном трубопроводе для разработанной присадки на основе НМПЭ и наноразмерного оксида алюминия (NAVA5).

Расчет предполагаемого значения эффективности на реальной трубопроводной системе проводился по формуле 3.

$$\varphi_{\text{реал.НПП лаб.ПТП}} = \left(\frac{\sum_i^n \varphi_{\text{НПП пром. ПТП}}}{n} \right) * \varphi_{\text{мод.у. лаб ПТП}}, \quad (3)$$

где $\varphi_{\text{НПП лаб.ПТП}}$ – предполагаемая эффективность лабораторной ПТП на реальном нефтепроводе;

$\varphi_{\text{НПП пром. ПТП}}$ – значение эффективности промышленной ПТП на реальном нефтепроводе;
 n – количество сравниваемых присадок.

Оценочные значения эффективности для разработанной присадки, рассчитанные при различных методиках исследования, представлены в таблице 5.

Таблица 5– Оценочные показатели эффективности для присадки на основе НМПЭ (NAVA5) при различных методиках исследования

Присадка исследования	Метод исследования	Концентрация максимальной эффективности, г/т	ВЭТ, % по формуле 3
NAVA5	Турбореометр	30-50	35-40
	Реальный НПП	10-50	50-60
	Модельная установка	100	8,06

Исходя из полученных сравнительных оценок эффективности разработанной присадки можно предположить, что действительная эффективность по снижению гидравлического

сопротивления трубопровода разработанной присадки на основе НМПЭ (NAVA 5) будет находиться в пределах 50-60 % при рабочих концентрациях 30-50 г/т. Для разработанной присадки на основе сэвилена 11507-070 (NAVA 9) эффективность по снижению гидравлического сопротивления трубопровода будет находиться в пределах 40-70 % при рабочих концентрациях 20-40 г/т. Метод испытаний на лабораторном циркуляционном стенде характеризует, что эффективность разработанных исследуемых присадок на трубопроводе будет не ниже тех значений, что были получены на модельной установке.

Проведенный экспериментальный и сравнительный анализ разработанных присадок позволяет сделать вывод, что композиция обладает способностью эффективно снижать гидравлическое сопротивление при трубопроводном транспорте жидкостей и может быть использована в промышленности в качестве противотурбулентной присадки для транспортировки жидких углеводородных сред.

Оценка структурно-механической устойчивости разработанных присадок

Результатом проведенных гидродинамических исследований на установке, как мы отмечали ранее, является расходная характеристика – функциональная зависимость изменения расхода жидкости во времени. В нашем случае наиболее эффективной шкалой является изменение расхода по числу циркуляционных циклов присадки, т.е. количество, которое проходит условная молекула жидкости или ПТП через циркуляционный насос за время проведения эксперимента. И данная условная характеристика представлена на рисунках 12-13.

Методика оценки эффективности присадки, представленная выше по формуле 3, позволяет определить ВЭТ в ее максимальный (пиковый) период, который способен определить турбулентный реометр или по которому выдаются паспортные документы на ПТП. Данная эффективность приведена в явном виде на рисунке 12.

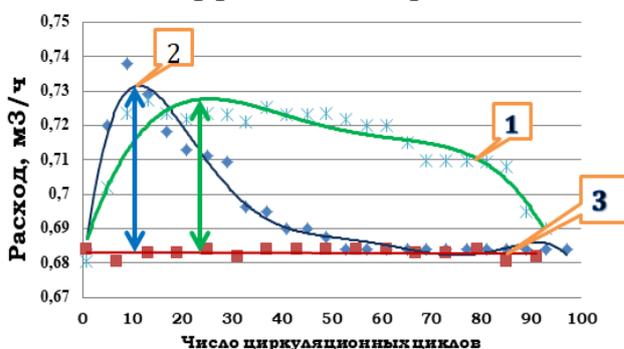


Рисунок 12 – Характер описания максимального ВЭТ по расходу, где: 1- расход жидкости с NAVA 9, 2- расход жидкости с Baker Hughes, 3- расход чистой жидкости (ДФ)

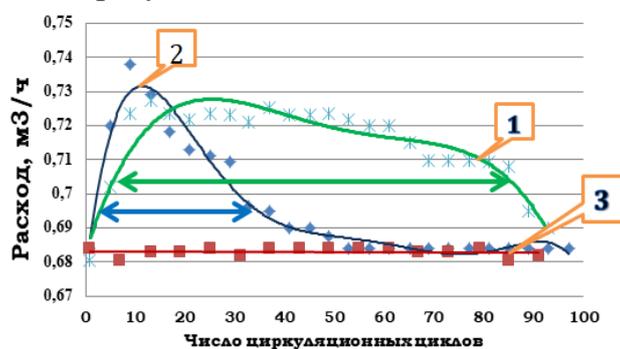


Рисунок 13 – Характер описания эффективности ПТП с учетом продолжительности действия где: 1- расход жидкости с NAVA 9, 2- расход жидкости с Baker Hughes, 3- расход чистой жидкости (ДФ)

И как видно из рисунков 12-13 эффективность разработанной присадки NAVA 9 (линия 1) ниже, чем у промышленной присадки Baker Hughes (линия 2), что подтверждалось произведенными расчетами в предыдущем разделе. Однако эта методика никак не отражает способность присадки увеличивать пропускную способность в течение времени, когда имеет место воздействие местных сопротивлений, насосных установок и др.

По данным исследований следует, что присадка NAVA 9 (линия 1) имеет больший эффект по увеличению пропускной способности по сравнению с промышленной присадкой (линия 2). Большая продолжительность действия ПТП свидетельствует о повышенной устойчивости разработанной присадки к различному роду механических воздействий, которые присутствуют при трубопроводной транспортировке.

Данная характеристика в лабораторных условиях может быть оценена суммарным увеличением производительности прокачиваемой жидкости при различных ПТП за промежутки времени (за определенное число циркуляционных циклов).

Количественной оценкой, которая покажет эффективность действия ПТП по увеличению производительности, будет являться площадь между кривыми расхода жидкости с использованием ПТП (линии 1, 2) и расхода чистой жидкости (линия 3).

Оценка будет определяться интегральным способом и рассчитывается как определенный интеграл ограниченной графиками функций, в определенном интервале циклов, представленной на формуле (4).

$$S = \int_b^a (f(x) - \varphi(x)) dx \quad (4)$$

где S – площадь, характеризующая суммарное увеличение расхода, кв. ед.

$f(x)$ – уравнение функции кривой расхода жидкости с ПТП;

$\varphi(x)$ – уравнение кривой расхода исходной жидкости;

a, b - интервал определения интеграла (циклы, длина трубопровода, время)

Способ нахождения площадей, занимаемых кривых расхода рассчитывается в программе Excel Visual Basic. Полученные данные интегрального расчета эффективности ПТП по устойчивости к механодеструкциям представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Эффективность ПТП по оценке устойчивости к механическим деструкциям

Показатели сравнения	Baker Hughes	NAVA 9	M-FLOWTREAT
S , кв.ед	1202	3091	999
Относительная эффективность ПТП между исследуемыми составами	1,2	3,1	<u>1,0</u>
	<u>1,0</u>	2,6	0,8
	0,4	<u>1,0</u>	0,3

Из полученных данных видно, что эффективность присадки NAVA 9 выше в 3,1 раз M-Flowtreat и в 2,6 раз выше Baker Hughes по суммарному увеличению производительности за однократный пропуск присадки, что говорит о высоком показателе устойчивости к механическим воздействиям разработанной ПТП по сравнению с промышленными составами.

Испытание разработанных противотурбулентных присадок на природных нефтях

Результаты полученные на дизельной фракции являются лишь оценочными, так как не учитываются дополнительные факторы, накладываемые на эффект нефтью: фактор дисперсности, фактор течения неньютоновской жидкости, анизотропии вязкости, наличие различного структурно-группового состава и т.д.. Поэтому, для оценки эффективности действия присадок на реальных системах были проведены испытания на нефтях различного состава, добытых из различных месторождений. В качестве объекта исследования выбрана Ромашкинского месторождения НГДУ «Азнакаевскнефть» (групповой состав нефти представлен в таблице 2)

На рисунке 14 представлены зависимости изменения расхода, присадка на основе НМПЭ с содержанием наноконцентра NAVA 5 в своем составе работает лучше, чем присадка NAVA. Полученные расчеты эффективности присадки подтверждают, что наибольший эффект присадки NAVA5 проявляется при концентрации 100 г/т.

Для подтверждения полученных результатов были так же проведены исследования эффективности действия присадок на основе сзвилена 12306-020 с наноконцентром (NAVA 7), и без него (NAVA 6) на нефти Ромашкинского месторождения НГДУ «Азнакаевскнефть».

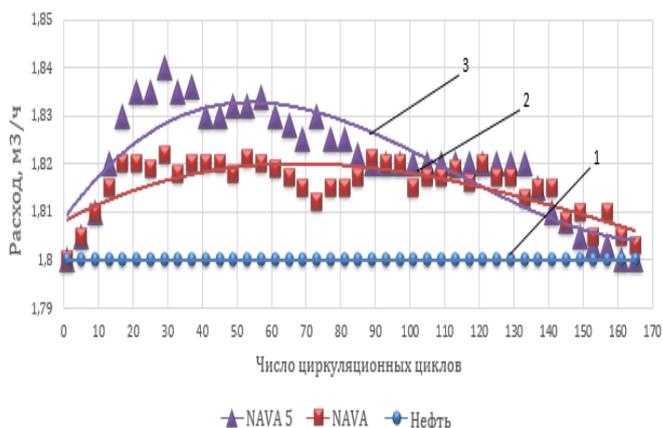


Рисунок 14 – Зависимость изменения расхода нефти с ПТП от числа циркуляционных циклов, где: 1 – Нефть, 2 – Нефть+ NAVA, 3 – Нефть+NAVA 5

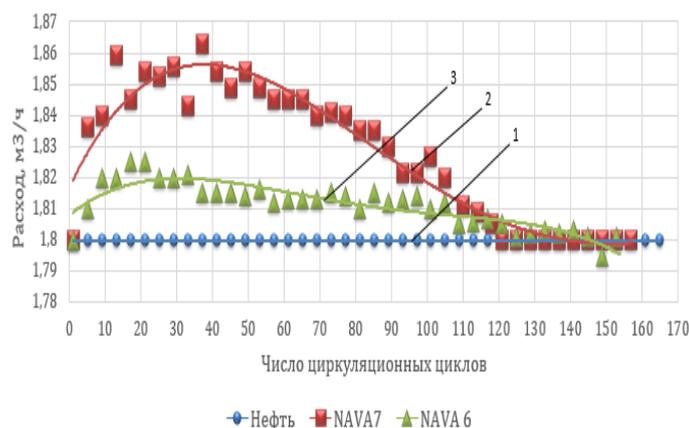


Рисунок 15 – Зависимость изменения расхода нефти с ПТП от числа циркуляционных циклов, где: 1 – Нефть, 2 – Нефть+NAVA 7, 3 – Нефть+NAVA 6

На рисунке 15 приведены зависимости изменения расхода нефти с присадками NAVA 7, NAVA 6 от числа циркуляционных циклов. Из полученных данных следует, что и для присадок на основе сэвилена 12306-020 (NAVA6), и с содержанием нанокompонента (NAVA 7) эффективнее работает присадка, содержащая нанокompонент.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана методика сравнительной оценки эффективности и длительности действия присадки по длине трубопровода. Выявлено, что разработанные присадки значительно превосходят промышленные ПТП по структурной устойчивости к механическим деструкциям и продолжительности действия.

2. Произведен подбор компонентов композиционной присадки. По результатам исследования на модельной жидкости – дизельной фракции выявлено, что высокомолекулярные полимеры дают существенно меньший эффект на более вязких неоднородных дисперсных системах типа нефть вследствие своей меньшей устойчивости к механодеструкциям, а на нефтяных эмульсиях очень низкий. Большой эффект на таких системах дают разветвленные низкомолекулярные полимеры, способные к формированию псевдомолекулярных звеньев с большой молекулярной массой совместно с наночастицами.

3. Установлено, что разработанные композиционные присадки обладают высокой эффективностью по снижению динамической вязкости в температурном диапазоне от 20°C до 10°C для нефти с повышенным содержанием парафинов и от 20 С до минус 5°C для нефти с повышенным содержанием смол. При этом снижение вязкости в большей степени наблюдается для нефти с повышенным содержанием парафинов. Выявлено, что введение в композиционный состав нанокompонента снижает динамическую вязкость при малых скоростях сдвига.

4. Выявлено, что в условиях турбулентного течения на нефти Ромашкинского месторождения с повышенным содержанием смол (21,27%), композиционная присадка на основе сэвилена 11507-070 в 1,-1,93 раза эффективнее по сравнению с промышленными присадками. Эффективность на таких нефтях обусловлена наличием в присадках сэвилена, имеющего полярные заместители (винилацетатные группы обладают сродством к САВ, формирующих оболочку ССЕ, чем и объясняется их большой эффект на асфальтосмолистых нефтях, так как САВ являются полярными (полярными) структурами.)

Из этого следует, что при использовании разработанных нами реагентов в промышленных условиях приведет к возможности уменьшения числа дозировочных станций. По результатам исследований в условиях турбулентного движения водонефтяных эмульсий установлено, что с увеличением обводненности и концентрации минеральных солей, эффективность действия разработанных присадок на основе низкомолекулярных полимеров снижается, так как происходит более быстрое разрушение псевдополимерной структуры большой молекулярной массы без последующего восстановления. Однако промышленные присадки при данных условиях практически полностью теряют свою эффективность. Установлено, что для высокомолекулярных промышленных полимерных присадок на нефтях в турбулентном потоке, увеличение молекулярной массы данных ПТП до определенной критической величины приводит к высаживанию частично

нерастворенного полимера (ППП) в виде геля или отдельной фазы, что приводит к увеличению вязкости и забиванию оборудования гелеобразным веществом. Однако для разработанных нами композиций такого эффекта не наблюдается.

5. Результаты проведенных исследований показывают, что разработанные композиции обладают защитным антикоррозионным и детергентно-диспергирующим эффектом, не усиливают коррозию оборудования. Также присадки обладают демульгирующими свойствами, что подтверждает предполагаемый механизм их действия в условиях турбулентного движения (водная смазка у поверхности трубы) и неустановившегося движения (образование пропластков).

6. Оценено энергосбережение от применения разработанных реагентов при перекачке нефтяных эмульсий по модельному трубопроводу.

7. Разработана принципиальная схема получения композиционных присадок и дано ее описание. Произведен экономический расчет полной себестоимости 1 кг присадки, который составил 67,04 руб/кг.

Выявлены закономерности изменения гидродинамических характеристик нефтяных и водоземulsionных потоков в присутствии «вязкостно-противотурбулентных» присадок, которые могут быть положены в основу разработки энергосберегающих технологий трубопроводного транспорта в условиях изменяющихся режимов перекачки. Полученные результаты могут быть применены для развития нефтехимической отрасли.

СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Дусметова, Г.И.** Энергосбережение при транспортировке высоковязких нефтей и нефтяных эмульсий / А.В. Шарифуллин, Л.Р. Байбекова, Г.И. Дусметова // Вестник технологического университета. – 2015. – Т.18. – №7. – С. 99-102.

2. **Дусметова, Г.И.** Разработка вязкостной присадки на основе сэвилена с добавлением наноконпонента / Г.И. Дусметова, А.В. Шарифуллин, Е.В. Харитонов, Д.Р. Насыпов // Вестник технологического университета. – 2016. – Т.9. – №22. – С. 47-49.

3. **Дусметова, Г.И.** Исследование структурно-группового состава наноструктурированной присадки для снижения вязкости / Г.И. Дусметова, А.В. Шарифуллин, С.М. Петров, Л.Р. Байбекова // Вестник технологического университета. – 2017. – Т.20. – №1. – С. 54-57.

4. **Dusmetova, G.I.** Structure and efficiency of nanostructured "viscosity" additive based on sevilene / L.R. Baibekova, F.A. Aliev, A.V. Sharifullin, G.I. Dusmetova, E.V. Kharitonov // 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. – SGEM 2017. – V.17. – P. 469-476. DOI:10.5593/sgem2017H/15/S06.059

5. **Dusmetova, G.I.** Development and testing of a visco-antiturbulent additive with a nanocomponent / L.R. Baibekova, F.A. Aliev, A.V. Sharifullin, G.I. Dusmetova, E.V. Kharitonov // 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. – SGEM 2017. – V. 17. – P. 107-114. DOI:10.5593/sgem2017H/15/S06.014

6. **Дусметова, Г.И.** Разработка и испытание вязкостно-противотурбулентной присадки с наноконпонентом / Г.И. Дусметова, А.В. Шарифуллин, В.Н. Шарифуллин, Е.В. Харитонов // Нефтяное хозяйство. – 2017. – №4. – С. 117-120.

7. **Дусметова, Г.И.** Исследование реологических свойств присадки с наноконпонентом при транспортировке вязкой нефти / Г.И. Дусметова, А.В. Шарифуллин, В.Н. Шарифуллин, Е.В. Харитонов, А.Ф. Вильданов // Вестник технологического университета. – 2017. – Т.20. – №21. – С.37-39.

Патенты и свидетельство

1. Пат. №166259 РФ, МПК G01F 25/00 (2006.01). Установка для стендовых испытаний расходных характеристик гидравлических сопротивлений / А.В. Шарифуллин, Л.Р. Байбекова, Р.Р. Хуснуллин, Г.И. Дусметова, Е.В. Харитонов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет». – 2016100724/28; заявл. 11.01.2016; опубл. 20.11.2016. Бюл. № 32.

2. Пат. №2637942 РФ, МПК C10L 1/12, C10L 1/14 (2006.01). Присадка комплексного действия для транспортировки нефти и нефтепродуктов / Л.Р. Байбекова, Г.И. Дусметова, Е.В. Харитонов, А.В. Шарифуллин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Казанский национальный

исследовательский технологический университет». – 2016150792; заявл. 22.12.2016; опубл. 08.12.2017. Бюл. № 34.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018663928. Программа расчета сравнительной эффективности структурно-механической устойчивости противотурбулентных присадок / Е.В. Харитонов, Г.И. Дусметова, А.В. Шарифуллин, Л.Р. Байбекова. Правообладатель ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет». – 2018661229; Дата гос. регистрации 7 ноября 2018.

Тезисы докладов на научных конференциях:

1. Хуснуллин, Р.Р. Применение полимерных присадок для снижения гидравлического сопротивления в циркуляционных системах. // Р.Р. Хуснуллин, А.В. Шарифуллин, Л.Р. Байбекова, **Г.И. Дусметова** // IX Международная конференция «Химия нефти и газа»: тезисы докладов – Федеральное агентство научных организаций Российская академия наук Сибирское отделение Институт химии нефти. – Томск, 2015. – С. 443-445.

2. **Дусметова, Г.И.** Вязкостные присадки для нефтей и тяжелых нефтепродуктов. / Г.И. Дусметова, А.В. Шарифуллин, Л.Р. Байбекова // IX Международная научно-практическая конференция «Современное состояние и перспективы инновационного развития нефтехимии» – Нижнекамскнефтехим. – Нижнекамск, 2016. – С. 148.

3. **Дусметова, Г.И.** Эффективность действия присадки для снижения вязкости. / Г.И. Дусметова, Л.Р. Байбекова // Юбилейная 70-я международная молодежная научная конференция «Нефть и газ 2016» приуроченная к III Национальному нефтегазовому форуму – РГУ Нефти и газа им. И.М. Губкина – Москва, 2016. – Т.2, С.365.

4. Харитонов, Е.В. Исследование Эффекта Томса на экспериментальной установке. / Е.В. Харитонов, **Г.И. Дусметова** // Международный форум-конкурс молодых ученых «Проблемы недропользования» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» – Санкт-Петербург, 2016. – Ч. 2, С.141.

5. Харитонов, Е.В. Разработка энергосберегающих реагентов с наноконпонентами комплексного вязкостно-противотурбулентного действия для транспортировки тяжелых нефтей и нефтяных эмульсий. / Е.В. Харитонов, **Г.И. Дусметова**, А.В. Шарифуллин, Л.Р. Байбекова. // Конференция молодых ученых «Молодежь и инновации Татарстана» Фонд содействия развитию малых форм предприятий Е.К. Завойского Казанский научный центр РАН–Казань, 2016. – С. 68-71.

6. **Дусметова, Г.И.** Разработка и исследование комплексной присадки с наноконпонентом для транспортировки вязких углеводородных систем. // Г.И. Дусметова, А.В. Шарифуллин, Е.В. Харитонов. // VII Республиканская научно-практическая конференция "Образование. Наука. Инновация: Актуальные проблемы и пути развития" проводимого в рамках 25-летия независимости. Кызылординский государственный университет им. Коркыт Ата – Казахстан, Кызылорда, 2016. – С.181.

7. **Дусметова, Г.И.** Разработка присадки комплексного действия для процессов транспортировки. // Г.И. Дусметова, А.В. Шарифуллин, Е.В. Харитонов. // VII Республиканская научно-практическая конференция "Образование. Наука. Инновация: Актуальные проблемы и пути развития" проводимого в рамках 25-летия независимости. Кызылординский государственный университет им. Коркыт Ата – Казахстан, Кызылорда, 2016. – С. 184-189.

8. Харитонов, Е.В. Разработка и испытание вязкостной присадки на основе сополимера этилена с винилацетатом с добавлением частиц наноконпонента. // Е.В. Харитонов, **Г.И. Дусметова**, А.В. Шарифуллин. // 9 Международная научно-практическая конференция молодых ученых. Актуальные проблемы науки и техники-2016. Уфимский государственный нефтяной технический университет – Уфа, 2016. – Т.1, С. 130-132.

9. **Дусметова, Г.И.** Разработка энергосберегающего состава для транспорта нефти. / Г.И. Дусметова, А.В. Шарифуллин, Е.В. Харитонов, Л.Р. Байбекова. // VII Международная научно-практическая конференция «Практические аспекты нефтепромысловой химии» – Уфа, 2017– С.129-131.

10. Оладале, Э. Т. Development of a complex additive with a nanocomponent for oil transportation / Э. Т. Оладале, **Г.И. Дусметова**. // XI Международный научно-технический конгресс студенческого отделения общества инженеров-нефтяников Society of Petroleum Engineers (SPE) ТИУ – Тюмень, 2017. – С. 135-137.
11. Харитонов, Е.В. Разработка и испытание вязкостно-противотурбулентной присадки для нефтяных сред. / Е.В. Харитонов, **Г.И. Дусметова**, Д. Узвезимана, Э. Толувайни // Международный форум-конкурс молодых ученых «Проблемы недропользования» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» – Санкт-Петербург, 2017. – Ч. 2, С.180.
12. Харитонов, Е.В. Исследование структурно-группового состава присадки на основе наноразмерных частиц для снижения вязкости тяжелых углеводородов. / Е.В. Харитонов, **Г.И. Дусметова**, А.В. Шарифуллин. // II Международная конференция «Современные решения научных и производственных задач в химии и нефтехимии ФГБОУ ВО «КНИТУ» – Казань, 2017. – С. 112-115.
13. Харитонов, Е.В. Разработка экспериментальной установки для исследования эффекта томса в компьютерных пакетах программы AUTODESK. / Е.В. Харитонов, **Г.И. Дусметова**, А.В. Шарифуллин. // XII Всероссийская конференция молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности» (газ, нефть, энергетика) РГУ Нефти и газа им. И.М. Губкина – Москва, 2017. – С. 297.
14. Харитонов, Е.В. Исследование реологических свойств присадки для транспортировки вязкой нефти и оценка эффективности поверхностных свойств. / Е.В. Харитонов, **Г.И. Дусметова**, А.В. Шарифуллин, Л.Р. Байбекова. // XXIX Международная конференция «Развитие науки в XXI веке» – Украина, г. Харьков, 2017. – С. 55-64.
15. Харитонов, Е.В. Разработка энергоэффективных противотурбулентных присадок в рамках политики импортозамещения. / Е.В. Харитонов, **Г.И. Дусметова**, А.В. Шарифуллин, Л.Р. Байбекова, Г.О. Бурова, Э. Оладале, Р. Окекве // XII Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России» РГУ Нефти и газа им. И.М. Губкина – Москва, 2018. – С.183.
16. Харитонов, Е.В. Противотурбулентные присадки в процессах транспорта как пути повышения пропускной способности трубопроводной системы / Е.В. Харитонов, **Г.И. Дусметова**, Г.О. Бурова // 72-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ-2018», РГУ Нефти и газа им. И.М. Губкина –Москва, 2018. – Т.3, С. 106.
17. Бурова, Г.О. Комплексная присадка для улучшения реологических свойств нефтей и нефтяных эмульсий. / Г.О. Бурова, **Г.И. Дусметова**, Е.В. Харитонов, Э.Оладале // Международный форум-конкурс молодых ученых «Проблемы недропользования» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» – Санкт-Петербург, 2018. – Ч. 2, С.142.
18. Харитонов, Е.В. Противотурбулентные присадки для транспортировки высоковязких нефтей и нефтяных эмульсий трубопроводным способом на основе низкомолекулярных полимеров / Е.В. Харитонов, **Г.И. Дусметова**, А.В. Шарифуллин, Г.О. Бурова, Л.Р. Байбекова // III Международная научно-практическая конференция молодых ученых «Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии» Альметьевский государственный нефтяной институт – Альметьевск, 2018. – С 326-329.
19. Бурова, Г.О. Комплексная присадка для улучшения реологических свойств нефтяных сред. / Г.О. Бурова, **Г.И. Дусметова**, Е.В. Харитонов, А.В. Шарифуллин, Л.Р. Байбекова // III Международная научно-практическая конференция молодых ученых «Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии» Альметьевский государственный нефтяной институт – Альметьевск, 2018. – С 260-263.
20. Харитонов, Е.В. Разработка и испытание противотурбулентной присадки и оценка ее действия в условиях модельных испытаний./ Е.В.Харитонов, **Г.И.Дусметова** // II Всероссийская научно-практическая конференция «Трубопроводный транспорт углеводородов» ОмГТУ – Омск, 2018. – С. 77-81.
21. **Дусметова, Г.И.** Технология получения и оценка эффективности присадки для увеличения пропускной способности трубопроводов / **Г.И. Дусметова**, Г.О. Бурова, Е.В. Харитонов, Л.Р. Байбекова, А.В. Шарифуллин, Н.В. Лыжина. // Сетевое научное издание «Нефтяная провинция». – 2019. – № 1(17). – С. 227-237.