

На правах рукописи

Плотникова Кристина Игоревна



**ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ
ТРАНСПОРТА ВЯЗКИХ НЕФТЕЙ В УСЛОВИЯХ
КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

*Специальность 2.8.5. Строительство и эксплуатация
нефтегазопроводов, баз и хранилищ*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2024

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Николаев Александр Константинович

Официальные оппоненты:

Ковалева Лиана Ароновна

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий», кафедра прикладной физики, заведующий кафедрой;

Таибулатов Радмир Расулевич

кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», кафедра «Транспорт и хранение нефти и газа», доцент.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», г. Самара.

Защита диссертации состоится **11 сентября 2024 в 15:00** на заседании диссертационного совета ГУ.11 Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, **аудитория № 1171а**.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 11 июля 2024 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ФЕТИСОВ
Вадим Георгиевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Согласно энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020г. № 1523-р, одной из основных стратегических задач является развитие энергосбережения и повышение энергетической эффективности в отраслях топливно-энергетического комплекса.

В постановлении Правительства приводятся конкретные величины снижения удельного потребления электрической энергии при транспортировке нефти (нефтепродуктов) к базовому уровню:

- к 2024 году – 1,2%;
- к 2035 году – 3,3%.

Из-за истощения запасов легких углеводородов во всем мире, наблюдается тенденция роста добычи высоковязкой нефти. Транспорт высоковязкой нефти приводит к увеличению энергозатрат на преодоление гидравлических сопротивлений.

Уменьшение гидравлических сопротивлений при перекачке неньютоновской нефти позволяет повысить ее эффективность.

Одним из способов решения этой задачи служит способ транспортирования нефти с применением депрессорных присадок.

Степень разработанности темы исследования

Тематика обоснования конструктивных и технологических решений для объектов транспорта нефти является относительно хорошо разработанной. Изучением вопросов выбора рациональных режимов перекачки вязких нефтей занимались отечественные авторы: Г.В. Несын, А.М. Нечваль, А.А. Коршак, Ю.П. Белоусов, М.И. Валиев, Г.С. Голицын, И.И. Ерошкина, М.М. Гареев, А.Г. Гумеров, В.В. Жолобов, Н.Н. Голунов, А.И. Гольянов, Ю.В. Лисин, М.В. Лурье, В.Н. Манжай, В.И. Марон, А.Х. Мирзаджанзаде, В.И. Муратова, С.Н. Челинцев, а также зарубежные: R. Barth, F. Chakkalakal, J.K. Lervik, A. V. Metzner и др.

Несмотря на большое количество работ, единой теории, точно описывающей методику определения рациональных режимов перекачки вязких нефтей, не существует. В литературных источниках имеется ряд формул, описывающих эффект снижения гидравлических сопротивлений для конкретных типов нефтей на основании проведения теоретических и экспериментальных исследований. Следовательно, исследование гидравлических сопротивлений при транспорте высоковязкой нефти Восточно-Мессояхского месторождения является актуальной задачей.

Объект исследования – высоковязкая нефть Восточно-Мессояхского месторождения.

Предмет исследования – реологические характеристики нефти.

Цель работы – повышение эффективности режимов эксплуатации надземных нефтепроводов в сложных природно-климатических условиях.

Идея заключается в том, что обоснование технических решений по перекачке вязкой нефти по магистральным нефтепроводам возможно путем учета реологических свойств нефти, режима течения, концентрации депрессорных присадок, характеристик трубопровода и природно-климатических условий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ литературы, патентных источников, отечественного и зарубежного опыта в области транспорта нефти в сложных природно-климатических условиях.

2. Исследовать реологические свойства неньютоновской нефти Восточно-Мессояхского месторождения.

3. Установить зависимость для расчета коэффициента гидравлического сопротивления при неизотермическом движении высоковязкой нефти в турбулентном режиме.

4. Выполнить исследование влияния депрессорных присадок на реологические свойства нефти и подобрать оптимальную концентрацию присадки.

5. Разработать рекомендации по проектированию и эксплуатации нефтепроводов, транспортирующих высоковязкую нефть в условиях Крайнего Севера.

Научная новизна работы:

1. На основании изучения реологических свойств нефти Восточно-Мессояхского месторождения получены экспериментальные графические зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига при различных температурах. В соответствии с выполненными экспериментальными исследованиями установлено, что расчет транспорта нефти с этого месторождения рационально выполнять по нелинейной зависимости Балкли-Гершеля.

2. Получена зависимость для расчета коэффициента гидравлического сопротивления при неизотермическом течении высоковязкой нефти для турбулентного режима движения жидкости.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Разработана методика гидравлического расчета при неизотермическом режиме перекачки нелинейно-вязкопластичной нефти.

2. Разработана программа для ЭВМ по расчету оптимальной концентрации разбавителя, при которой будет обеспечена максимальная производительность трубопровода («Программа для определения концентрации разбавителя для достижения максимальной производительности трубопровода», программа зарегистрирована в Государственном реестре программ для ЭВМ, свидетельство о регистрации № 2022664428).

3. Результаты кандидатской диссертации рекомендованы к внедрению в производственной деятельности компании

ООО «НЕФТЬ-ГАЗ» в зимнее время при строительстве объекта «Переход через р.Понура» от 18.12.2023г.

Методология и методы исследования

Основой проведенных исследований является системный подход к изучаемым объектам и явлениям. При решении поставленных задач были использованы теоретические и экспериментальные методы исследований. Теоретические исследования включали в себя анализ и обобщение имеющегося опыта эксплуатации нефтепроводов, транспортирующих высоковязкие нефти совместно с депрессорными присадками. Экспериментальные исследования включали качественное и количественное определение реологических свойств нефти. Исследования проводились с помощью ротационного вискозиметра типа Rheotest.

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности **2.8.5. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ** по пункту 1. Технологические процессы и технические средства для проектирования, сооружения, эксплуатации, теоретические и практические основы взаимодействия объектов трубопроводного транспорта с окружающей средой с целью создания высокоэффективных, энерго- и ресурсосберегающих, надежных, механически и экологически безопасных сухопутных и морских систем трубопроводного транспорта для добычи, сбора, подготовки, транспортировки и хранения углеводородов, распределения, газоснабжения и нефтепродуктообеспечения, а также других газовых, жидкостных и многофазных сред, гидро- и пневмоконтейнерного транспорта.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Режим движения высоковязкой нефти в сложных природно-климатических условиях зависит от реологических свойств нефти, температуры нефти и окружающей среды.

2. Повышение эффективности транспорта высоковязкой нефти достигается путем снижения гидравлического сопротивления в нефтепроводе с учетом реологических свойств нефти, температурного режима и концентрации депрессорных присадок.

Степень достоверности результатов исследования обоснована и подтверждена теоретическими исследованиями и выводами аналитических зависимостей при транспортировании нефти совместно с депрессорными присадками, результатами экспериментальных исследований реологических свойств и состава нефти с добавлением и без добавления депрессорной присадки, сопоставлением теоретических и экспериментальных исследований с применением методов математической статистики и регрессионного анализа.

Апробация результатов. Основные положения и результаты работы докладывались на следующих семинарах и конференциях: 76-ой Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2022» (г. Москва, 2022 г.), Международной научно-технической конференции «Транспортные и транспортно-технологические средства» (г. Тюмень, 2022 г.), I Всероссийской научной конференции «Транспорт и хранение углеводородов – 2022» (г. Санкт – Петербург, 2022 г.), II Всероссийской научной конференции «Транспорт и хранение углеводородов – 2023» (г. Санкт – Петербург, 2023 г.).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач диссертационного исследования, проведен анализ зарубежной и отечественной научной литературы по теме исследования. Выполнены экспериментальные исследования реологических свойств нефти с Восточно-Мессояхского месторождения с добавлением и без добавления депрессорной присадки. Представлено теоретическое обоснование расчета эффективности депрессорных присадок и разработаны рекомендации по их применению.

Публикации. Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 5 печатных работах, в том числе в 3 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 2 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science. Получено свидетельство о регистрации программы ЭВМ.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 160 наименований и 3 приложения. Диссертация изложена на 132 страницах машинописного текста, содержит 32 рисунка и 26 таблиц.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность и искреннюю признательность научному руководителю Николаеву А.К., сотрудникам кафедры транспорта и хранения нефти и газа Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II, научному центру «Арктика», ООО «НПК «Мономер» и НТЦ «Газпром-нефть» за помощь в работе над диссертацией.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи работы и научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимости исследования и изложены основные положения выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ современных технических решений и существующих способов транспортирования нефти в сложных природно-климатических условиях. Приведено описание Восточно-Мессояхского месторождения. Проведен анализ существующих зависимостей коэффициента гидравлического сопротивления. На основании

проведенного анализа сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе представлены результаты теоретических исследований. Рассмотрены существующие реологические модели жидкостей. Установлено, что жидкости имеют индивидуальные особенности, которые обусловлены физико-химическими свойствами.

Получена формула для вычисления коэффициента гидравлических сопротивлений при движении нелинейно-вязкопластичной жидкости.

Рассмотрено влияние депрессорных присадок на течение нефти при неизотермическом режиме течения.

В третьей главе описаны экспериментальные исследования реологических свойств нефти с Восточно-Мессояхского месторождения с добавлением депрессорной присадки и без нее. В качестве депрессорной присадки выбрана присадка Волгоградского завода ООО «НПК «Мономер».

В четвертой главе разработаны рекомендации по проектированию и эксплуатации нефтепроводов, проложенных в сложных природно-климатических условиях. Приведена методика гидравлического расчета нефтепроводов, транспортирующих нефть в условиях Крайнего Севера. На основании полученных зависимостей, даны рекомендации по времени безопасной остановки нефтепроводов, транспортирующих высоковязкую нефть.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых научных положениях:

1. Режим движения высоковязкой нефти в сложных природно-климатических условиях зависит от реологических свойств нефти, температуры нефти и окружающей среды.

Реологические исследования проводились с целью получения зависимостей, характеризующих реологические свойства

нефти: зависимостей коэффициента динамической вязкости от скорости сдвига и напряжения сдвига от скорости сдвига при различных температурах, характеризующих реологические свойства нефти. Экспериментальные исследования проводились с использованием лабораторной базы Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II с использованием ротационного вискозиметра Rheotest RN 4.1. и проводились в несколько этапов:

1. Планирование эксперимента и выбор оборудования.
2. Исследование реологических параметров с добавлением и без добавления депрессорной присадки.
3. Обработка полученных результатов методами математической статистики.

На рисунках 1-3 представлены реологические зависимости для нефти с Восточно-Мессояхского месторождения при различных значениях температуры.

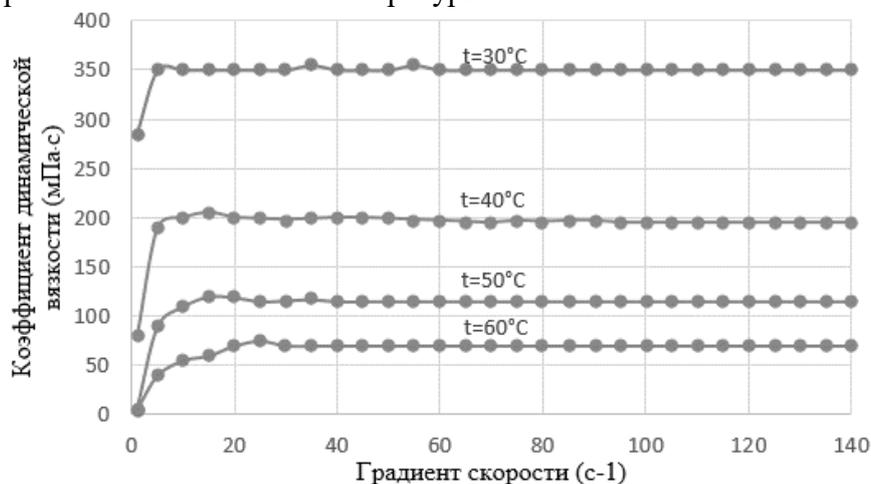


Рисунок 1 - Зависимость коэффициента динамической вязкости от скорости сдвига при температуре 30, 40, 50, 60 °C

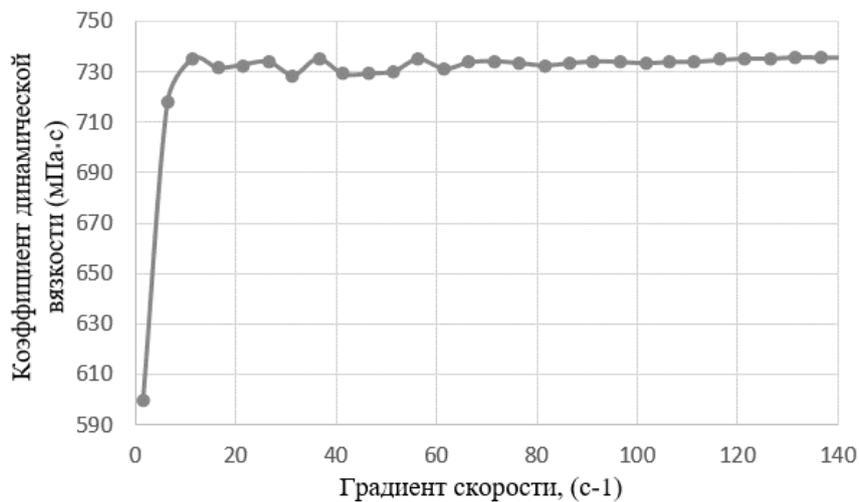


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента динамической вязкости от скорости сдвига при температуре 20 °C

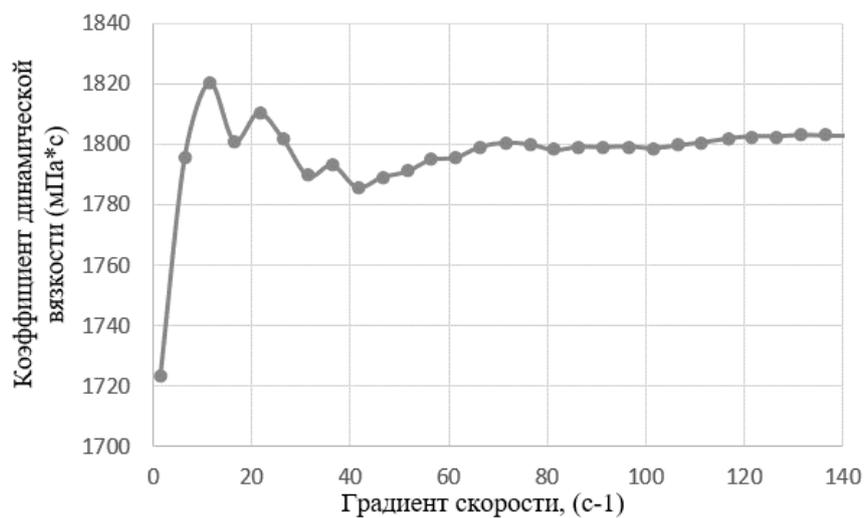


Рисунок 3 - Зависимость коэффициента динамической вязкости от скорости сдвига при температуре 10 °C

На основании проведенных экспериментальных исследований установлено, что переход от неньютоновской жидкости к ньютоновской в исследуемом образце нефти происходит в промежутке от 10 до 20 °С, нефть соответствует модели Балкли-Гершеля и зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига имеет вид (1):

$$\tau = \tau_0 + k' \cdot \gamma^n, \quad (1)$$

где τ_0 – начальное напряжение сдвига, k' – коэффициент, зависящий от консистентности системы, n – показатель степени.

Результаты экспериментальных исследований зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига при различных экспериментальных температурах представлены на рисунке 4.

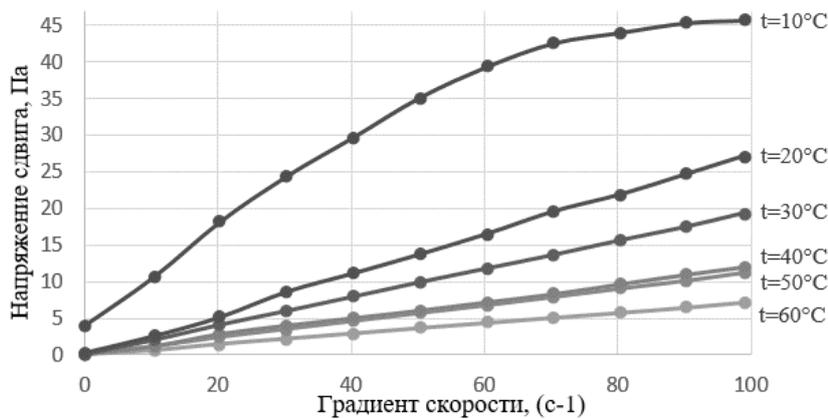


Рисунок 4 - Реологические зависимости напряжения сдвига от температуры

С учетом экспериментальных данных и проведенному регрессионному анализу получена модель расчета коэффициента динамической вязкости от температуры (2):

$$\mu = e^{4,686-0,053T} = 108,42e^{-0,053T}, \quad (2)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости нефти, T – температура нефти.

2. Повышение эффективности транспорта высоковязкой нефти достигается путем снижения гидравлического сопротивления в нефтепроводе с учетом реологических свойств нефти, температурного режима и концентрации депрессорных присадок.

Определение коэффициента гидравлического сопротивления при перекачке высоковязкой нефти производилось с учетом предварительного исследования реологических свойств нефти с Восточно-Мессояхского месторождения.

Предварительные результаты экспериментов показали, что законы движения для подобной нефти описываются уравнением Балкли-Гершеля. Течение вязкопластичной жидкости представлено на рисунке 5.

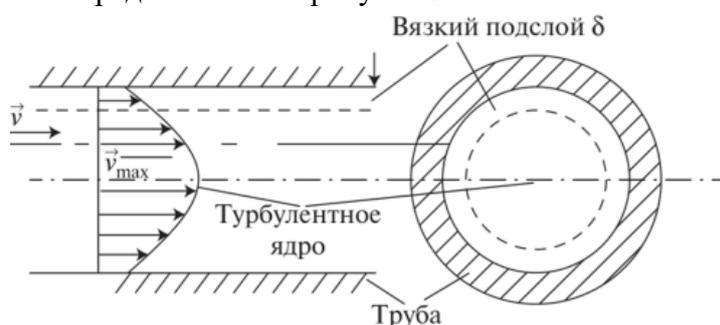


Рисунок 5 – Течение вязкопластичной жидкости

В случае течения нелинейной вязкопластичной жидкости по трубопроводу существует пристенная бесдвиговая зона, напряжение сдвига τ в которой всюду меньше статического напряжения сдвига τ_0 . Образуется ядро течения R_j , радиус которого всегда меньше радиуса трубопровода R .

В таком случае для всей зоны турбулентного режима течения коэффициент гидравлического сопротивления может быть представлен в виде (3):

$$\lambda = \frac{96 \cdot \varepsilon}{Re_{кр}}, \quad (3)$$

где $Re_{кр}$ – критическое число Рейнольдса, ε – поправка на кинетическую энергию потока, определяемая по формуле (4):

$$\varepsilon = \frac{(3n+1)^2}{(2n+1)(5n+3)} \left(1 - \frac{2nr_я}{3n+1}\right), \quad (4)$$

где $r_я$ – радиус ядра потока.

Экспериментальные исследования по определению температуры застывания нефти проводились с добавлением 4 видов присадок с Волгоградского завода НПК «Мономер» при концентрации депрессорной присадки 0,05 % (масс.), 0,1 % (масс.), 0,15 % (масс.), 0,2 % (масс.), 0,3 % (масс.), 0,5 % (масс.).

Результаты экспериментальных исследований по определению температуры застывания высоковязкой нефти при разной концентрации депрессорных присадок представлены на рисунке 6.

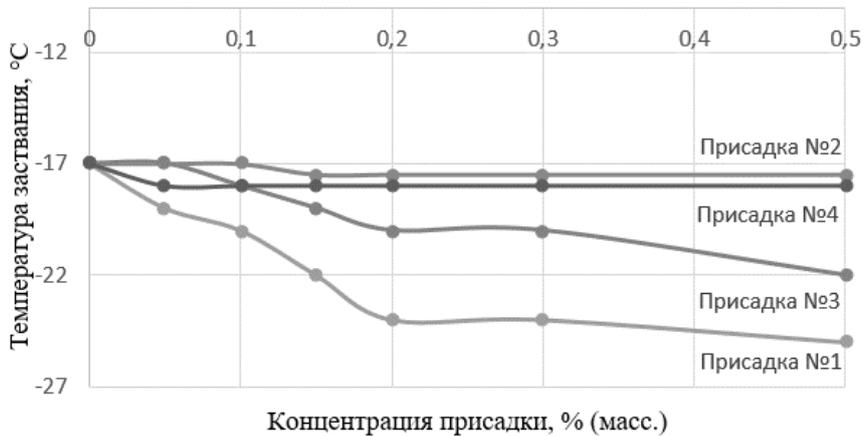


Рисунок 6 - Зависимость температуры застывания от концентрации присадки для разных видов присадок

Как видно из рисунка 6, наиболее рациональным решением является использование присадки № 1, которая понижает температуру застывания на максимальное значение с -17°C до -25°C .

Также из результатов экспериментальных исследований по определению температуры застывания нефти при разных концентрациях присадки, можно сделать вывод, что при добавлении присадки в концентрации 0,2-0,5 % (по масс.) температура застывания имеет примерно одинаковое значение. Но для определения оптимального значения концентрации депрессорной присадки для достижения рационального режима перекачки исследуемой нефти, необходимо провести реологические исследования зависимости напряжения сдвига и коэффициента динамической вязкости от концентрации присадки.

Результаты экспериментальных исследований при добавлении депрессорной присадки №1 при различных концентрациях представлены на рисунках 7-8.

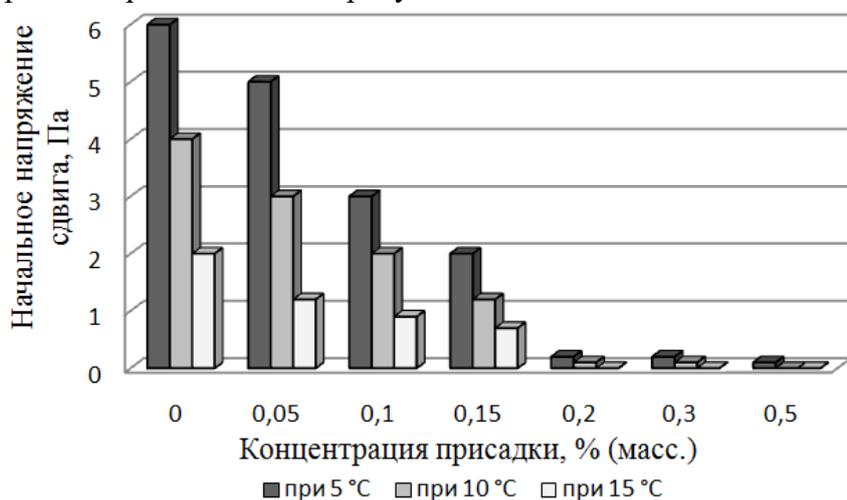


Рисунок 7 – Зависимость напряжения сдвига от концентрации присадки при различных температурах

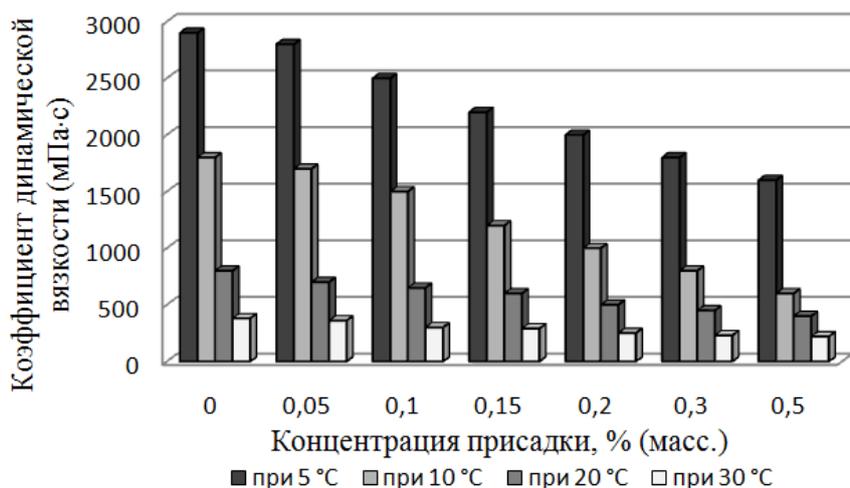


Рисунок 8 - Зависимость коэффициента динамической вязкости от концентрации присадки при различных температурах

По результатам экспериментальных исследований установлено, что рациональной концентрацией депрессорной присадки является 0,2 % (масс.).

Показателем повышения эффективности перекачки высоковязкой нефти является снижение гидравлического сопротивления трубопровода или эффективность ψ .

Эффективность применения депрессорной присадки определяется по формуле (5):

$$\psi = \frac{\lambda_0 - \lambda_f}{\lambda_0} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{\Delta P_f \cdot Q_0^2}{\Delta P_0 \cdot Q_f^2}\right) \cdot 100\%, \quad (5)$$

где λ_f , λ_0 – коэффициенты гидравлического сопротивления трения при течении нефти с присадкой и без нее, ΔP_f , ΔP_0 – потери давления на трение при течении нефти с присадкой и без нее, Па, Q_f , Q_0 – расход нефти с присадкой и без нее, м³/с.

Установлено, что при добавлении депрессорной присадки возможно не только увеличить производительность

трубопровода, но и снизить потери давления. Эффективность действия исследуемой депрессорной присадки составила 3,6 %.

Разработана математическая модель по определению эффективности применения депрессорных присадок с учетом зависимости концентрации, вязкости, режима течения, реологических свойств нефти, характеристик трубопровода и природно-климатических условий.

На основе полученных экспериментальных данных проведен регрессионный анализ и установлено, что эффективность применения депрессорных присадок зависит от концентрации, вязкости присадок, режима течения, реологических свойств нефти, характеристик трубопровода и природно-климатических условий и определяется по формуле (6):

$$\psi_T = f(d, \tau_w, L, \Pi, w, \nu, T) \cdot \exp(Y \cdot Re) \cdot \psi_0(C), \quad (6)$$

где d – внутренний диаметр магистрального трубопровода, τ_w – напряжение сдвига, L – длина участка магистрального трубопровода, Π – содержание парафина, w – скорость перекачиваемой жидкости, ν – вязкость жидкости, T – температура жидкости, Y – постоянный коэффициент для определенной марки присадки, $\psi_0(C)$ – базовая эффективность.

Регрессионный анализ проводился с помощью метода последовательного добавления входных переменных модели для определения перечня наиболее значимых переменных, которые должны быть учтены в регрессионной модели. Методом последовательного сокращения входных переменных модели были определены параметры, которые оказывают наименьшее влияние на эффективность применения депрессорной присадки.

По результатам регрессионного анализа с помощью метода последовательного исключения и добавления переменных был проведен анализ по смешанной модели, в рамках которой исключались и добавлялись в различном порядке рассматри-

ваемые переменные, влияющие на эффективность депрессорной присадки, с целью выявления удовлетворительной погрешности определения эффективности, но при использовании ограниченного набора параметров перекачки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации содержится решение актуальной задачи повышения эффективности эксплуатации надземных нефтепроводов, транспортирующих вязкие нефти в условиях Крайнего Севера.

1. Анализ трубопроводного транспорта высоковязкой нефти в условиях Крайнего Севера показал, что в настоящее время нет единой методики по определению рационального режима работы нефтепровода. При выборе метода транспорта нефти необходимо учитывать реологические свойства и природно-климатические условия эксплуатации нефтепровода. По результатам анализа свойств нефти установлено, что рациональным методом транспорта исследуемой нефти является метод добавления депрессорной присадки.

2. В ходе обработки экспериментальных исследований установлено, что исследуемая нефть подчиняется закону Балкли-Гершеля. Установлена зависимость коэффициента динамической вязкости от температуры.

3. Установлено, что для определения коэффициента гидравлических сопротивлений необходимо определить модель исследуемой нефти. Получена модифицированная формула для расчета коэффициента гидравлического сопротивления для нелинейно-вязкопластичных жидкостей. Рассмотренный процесс действия депрессорных присадок показал, что эффект достигается при содержании в составе нефти парафинов. Депрессорные присадки влияют на температуру застывания и реологические характеристики нефти. Получена регрессионная формула для определения эффективности действия депрес-

сорной присадки, которая позволяет учитывать реологические свойства нефти и ее состав, параметры трубопровода, свойства присадки.

4. Проведенные экспериментальные исследования транспорта нефти с присадкой показали, что депрессорная присадка положительно влияет на реологические свойства нефти. Получено, что оптимальной концентрацией является концентрация 0,2 % (масс.). При этом коэффициент гидравлического сопротивления понижается на 3,6 %, что показывает эффективность действия депрессорной присадки для данной нефти.

5. Разработанные рекомендации по проектированию и эксплуатации нефтепроводов, транспортирующих нефть в условиях Крайнего Севера, показывают, что для проведения гидравлического расчета необходимо учитывать зависимости, которые соответствуют данной нефти. Приведена методика расчета безопасной остановки нефтепровода.

Перспективы дальнейшего развития темы заключаются в разработке совершенствовании существующих и разработке новых технических решений по эксплуатации надземных нефтепроводов, транспортирующих высоковязкую нефть, которые учитывают реологические свойства транспортируемой нефти.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Николаев А.К. Исследование применения противотурбулентных и депрессорных присадок в трубопроводном транспорте высоковязкой нефти / А.К. Николаев, Е.С. Деменин, **К.И. Плотникова** // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2021. - № 4 (124). - С. 54-57.

2. Николаев А.К. Оценка эффективности работы нефтепровода, оборудованного системой подогрева, при транспортировке высоковязких нефтей / А.К. Николаев, **К.И. Плотникова**, Н.А. Бадашина, А.И. Фидусь // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - 2022. - № 3-4. - С. 16-20.

3. Николаев А.К. Сравнительный анализ эффективности методов и технологий обработки тяжелых и высоковязких нефтей для улучшения их транспортных свойств для трубопроводного транспорта / А.К. Николаев, **К.И. Плотникова**, А.С. Голунцов, Е.Д. Журба // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2023. - № 4 (136). - С. 57-63.

Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus, Web of Science):

4. Ямилев М.З. Модифицированные формулы гидравлического расчета нефтепровода для условий изотермического течения степенной жидкости / Ямилев М.З., Масагутов А.М., Николаев А.К., Пшенин В.В., Зарипова Н.А., **Плотникова К.И.** // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов – 2021. Т. 11. № 4. – С. 388-395.

5. Nikolaev A.; **Plotnikova K.** Study of the Rheological Properties and Flow Process of High-Viscosity Oil Using Depressant Additives. *Energies* 2023, 16, 6296.

Свидетельство на объект интеллектуальной собственности:

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022664428 «Программа для определения концентрации разбавителя для достижения максимальной производительности трубопровода». Заявка № 2022663556. Заявл. 20.07.2022. Оpubл. 29.07.2022. Авторы: Николаев А.К., **Плотникова К.И.** – 32 КБ.