

**Сагаева Сафура Саниевна<sup>1</sup>**

доцент, PhD,

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана,  
Уральск, Казахстан, [sataeva\\_safura@mail.ru](mailto:sataeva_safura@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-2397-9069

**Мухамбетьярова Асель Толенбаевна<sup>\*2</sup>**

магистрант,

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана,  
Уральск, Казахстан, [Mukhambetyarova@gmail.com](mailto:Mukhambetyarova@gmail.com), ORCID ID: 0009-0009-4562-2958

## **СОВРЕМЕННЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ДЕПРЕССОРНЫЕ ПРИСАДКИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАСТЫВАНИЯ ПАРАФИНИСТЫХ НЕФТЕЙ**

**Аннотация.** В статье представлен обзор и аналитическая оценка современных методов регулирования реологических свойств высокопарафинистых и высоковязких нефтей. Рассмотрены основные проблемы, возникающие при добыче, транспортировке и переработке тяжелых нефтей, связанные с повышенной вязкостью, высокой температурой застывания и образованием асфальтосмолопарафиновых отложений. Установлено, что ухудшение текучести нефти при понижении температуры обусловлено процессами кристаллизации парафиновых углеводородов и формированием пространственной структуры нефтяной системы. Проведен анализ современных технологий повышения текучести высоковязких нефтей, включая тепловую обработку, применение депрессорных присадок, разбавление легкими нефтями, использование эмульсионных систем и наноматериалов. Особое внимание уделено исследованию влияния депрессорных присадок на снижение температуры застывания и уменьшение вязкости нефтей. Показано, что применение модифицирующих реагентов способствует разрушению парафиновых структур, снижению гидравлического сопротивления и повышению эффективности транспортировки нефти. Рассмотрены современные исследования по использованию нанотехнологий и интеллектуальных систем управления потоками нефти. Установлено, что внедрение цифровых технологий, автоматизированного мониторинга и математического моделирования позволяет оптимизировать режимы транспортировки, повысить надежность трубопроводных систем и снизить эксплуатационные затраты. Проведенный обзор научных публикаций подтверждает перспективность комплексного применения депрессорных присадок, наноматериалов и интеллектуальных технологий для улучшения реологических характеристик высокопарафинистых нефтей и повышения эффективности нефтетранспортных процессов в сложных эксплуатационных условиях.

**Ключевые слова:** высокопарафинистая нефть, вязкость, реология, депрессорные присадки, нанотехнологии, транспортировка нефти, температура застывания, гидравлическое сопротивление, текучесть, нефтепровод

**Сагаева Сафура Саниевна<sup>1</sup>**

доцент, PhD,

Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті,  
Орал, Қазақстан, [sataeva\\_safura@mail.ru](mailto:sataeva_safura@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-2397-9069

Мухамбетьярова Асель Толенбайевна<sup>\*2</sup>

магистрант,

Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті,  
Орал, Қазақстан, [Mukhambetyarova@gmail.com](mailto:Mukhambetyarova@gmail.com), ORCID ID: 0009-0009-4562-2958

## ПАРАФИНДІ МҰНАЙДЫҢ ҚАТАЮ ТЕМПЕРАТУРАСЫН ТӨМЕНДЕТУГЕ АРНАЛҒАН ЗАМАНАУИ ХИМИЯЛЫҚ ДЕПРЕССОРЛЫҚ ҚОСПАЛАР

*Аңдатпа.* Мақалада жоғары парафинді және жоғары тұтқыр мұнайлардың реологиялық қасиеттерін реттеудің заманауи әдістеріне шолу және аналитикалық бағалау жүргізілген. Ауыр мұнайларды өндіру, тасымалдау және өңдеу кезінде туындайтын негізгі мәселелер, атап айтқанда жоғары тұтқырлық, қату температурасының жоғарылығы және асфальт-шайыр-парафин шөгінділерінің түзілуі қарастырылған. Температура төмендеген кезде мұнайдың аққыштығының нашарлауы парафин көмірсутектерінің кристалдану процестерімен және мұнай жүйесінің кеңістіктік құрылымының қалыптасуымен байланысты екені анықталды. Жоғары тұтқыр мұнайлардың аққыштығын арттырудың заманауи технологиялары, соның ішінде термиялық өңдеу, депрессорлық қоспаларды қолдану, жеңіл мұнайлармен араластыру, эмульсиялық жүйелер мен наноматериалдарды пайдалану талданды. Депрессорлық қоспалардың мұнайдың қату температурасын төмендетуге және тұтқырлығын азайтуға әсерін зерттеуге ерекше назар аударылды. Модификациялаушы реагенттерді қолдану парафиндік құрылымдарды бұзуға, гидравликалық кедергіні төмендетуге және мұнайды тасымалдау тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретіні көрсетілді. Сонымен қатар мұнай ағындарын басқарудың нанотехнологиялары мен интеллектуалды жүйелеріне қатысты заманауи зерттеулер қарастырылды. Цифрлық технологияларды, автоматтандырылған мониторинг пен математикалық модельдеуді енгізу тасымалдау режимдерін оңтайландыруға, құбыр жүйелерінің сенімділігін арттыруға және пайдалану шығындарын азайтуға мүмкіндік беретіні анықталды. Жүргізілген ғылыми шолу жоғары парафинді мұнайлардың реологиялық қасиеттерін жақсарту және мұнай тасымалдау процестерінің тиімділігін арттыру үшін депрессорлық қоспаларды, наноматериалдарды және интеллектуалды технологияларды кешенді қолданудың болашағы зор екенін дәлелдейді.

*Кілт сөздер.* жоғары парафинді мұнай, тұтқырлық, реология, депрессорлық қоспалар, нанотехнологиялар, мұнай тасымалдау, қату температурасы, гидравликалық кедергі, аққыштық, мұнай құбыры

Satayeva Safura Sanievna<sup>1</sup>

PhD,

Zhangir Khan West Kazakhstan agrarian and Technical University,  
Uralsk, Kazakhstan, [sataeva\\_safura@mail.ru](mailto:sataeva_safura@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-2397-9069

Mukhambetyarova Asel Tolenbayevna<sup>\*2</sup>

Master's student,

Zhangir Khan West Kazakhstan agrarian and Technical University,  
Uralsk, Kazakhstan, [Mukhambetyarova@gmail.com](mailto:Mukhambetyarova@gmail.com), ORCID ID: 0009-0009-4562-2958

## MODERN CHEMICAL DEPRESSANT ADDITIVES FOR REDUCING THE POUR POINT OF PARAFFINIC OILS

**Abstract.** The article presents a review and analytical assessment of modern methods for regulating the rheological properties of high-paraffin and highly viscous crude oils. The main problems arising during the production, transportation, and processing of heavy oils associated with high viscosity, elevated pour point, and the formation of asphalt-resin-paraffin deposits are considered. It was established that the deterioration of crude oil flowability at low temperatures is caused by the crystallization of paraffin hydrocarbons and the formation of a spatial structure within the oil system. The paper analyzes modern technologies for improving the flowability of highly viscous oils, including thermal treatment, the use of pour point depressants, dilution with light oils, application of emulsion systems, and nanomaterials. Particular attention is paid to the influence of depressant additives on reducing the pour point and viscosity of crude oils. It is shown that the use of modifying reagents contributes to the destruction of paraffin structures, reduction of hydraulic resistance, and improvement of oil transportation efficiency. Modern studies related to nanotechnologies and intelligent flow control systems are also reviewed. It was found that the implementation of digital technologies, automated monitoring, and mathematical modeling makes it possible to optimize transportation regimes, improve the reliability of pipeline systems, and reduce operating costs. The conducted review confirms the prospects of the integrated application of depressant additives, nanomaterials, and intelligent technologies for improving the rheological properties of high-paraffin oils and increasing the efficiency of oil transportation processes under complex operating conditions.

**Keywords.** high-paraffin oil, viscosity, rheology, depressant additives, nanotechnology, oil transportation, pour point, hydraulic resistance, flowability, pipeline

**Введение.** В современных условиях мировой нефтегазовой промышленности наблюдается устойчивое увеличение объемов добычи и транспортировки высоковязких и высокопарафинистых нефтей. Это связано с постепенным истощением запасов традиционных легких нефтей и активным вовлечением в разработку трудноизвлекаемых углеводородных ресурсов [1]. Высокопарафинистые нефти характеризуются повышенным содержанием парафиновых углеводородов, смолисто-асфальтовых компонентов и высокой температурой застывания, что существенно осложняет процессы добычи, транспортировки и переработки нефти.

Одной из основных проблем при транспортировке парафинистых и тяжелых нефтей является ухудшение их реологических свойств при понижении температуры. При снижении температуры ниже температуры начала кристаллизации парафинов происходит образование пространственной кристаллической структуры, сопровождающееся резким увеличением вязкости и предела текучести нефти [1]. Это приводит к образованию асфальтосмолопарафиновых отложений на внутренних поверхностях трубопроводов, увеличению гидравлического сопротивления, росту энергозатрат на перекачку и повышению риска аварийных ситуаций. Формирование сложной структуры высокопарафинистых нефтей связано с содержанием асфальтенов, смол и парафиновых компонентов [9–11].

Особую актуальность проблема приобретает для нефтяных месторождений Казахстана, России и других стран, где значительная часть добываемой нефти относится к высокопарафинистым и высоковязким нефтям [2]. Для таких нефтей характерны повышенные значения вязкости, температуры застывания и склонность к интенсивному образованию парафиновых отложений в процессе транспортировки.

В настоящее время для повышения текучести и улучшения реологических характеристик нефтей применяются различные технологические методы, включая

тепловую обработку, разбавление легкими нефтями, использование эмульсионных систем, полимерных реагентов и депрессорных присадок [3]. Наиболее распространенным и экономически эффективным способом регулирования реологических свойств высокопарафинистых нефтей является применение депрессорных присадок, механизм действия которых основан на изменении процессов кристаллизации парафинов и снижении структурообразования в нефтяной системе.

Современные исследования также направлены на применение нанотехнологий, поверхностно-активных веществ и интеллектуальных методов управления процессами транспортировки нефти. Использование наночастиц, модифицирующих реагентов и цифровых технологий моделирования позволяет существенно снизить вязкость нефти, повысить стабильность нефтяных систем и уменьшить гидравлические потери при транспортировке [4].

Несмотря на значительное количество исследований, посвященных улучшению реологических свойств высокопарафинистых нефтей, вопросы комплексного анализа современных методов регулирования вязкости, эффективности депрессорных присадок и применения инновационных технологий остаются актуальными и требуют дальнейшего изучения.

Целью данной обзорно-аналитической статьи является анализ современных методов улучшения реологических свойств высокопарафинистых нефтей, исследование эффективности депрессорных присадок и современных технологий снижения вязкости, а также оценка перспектив применения инновационных методов повышения эффективности транспортировки нефти.

**Материалы и методы исследования.** В данной обзорно-аналитической статье использованы современные научные публикации, посвященные исследованию реологических свойств высокопарафинистых и высоковязких нефтей, а также анализу методов повышения эффективности их транспортировки и переработки [1,8]. В качестве материалов исследования использованы статьи отечественных и зарубежных авторов, рассматривающие влияние температуры, депрессорных присадок, наноматериалов, разбавителей и поверхностно-активных веществ на вязкость, температуру застывания и структурно-механические свойства нефтей [1,5].

Основное внимание уделялось исследованиям, посвященным высокопарафинистым нефтям Казахстана, России и зарубежных стран, для которых характерны повышенная вязкость, склонность к образованию асфальтосмолопарафиновых отложений и ухудшение текучести при понижении температуры [2,3]. Анализируемые материалы включали данные о влиянии термообработки, депрессорных присадок и композиционных смесей нефти на изменение реологических характеристик нефтяных систем [1,2].

Методологической основой исследования являлся сравнительный и аналитический анализ литературных данных [8]. Выполнялось сопоставление результатов различных исследований, посвященных:

- влиянию температуры на вязкость нефти [1,8];
- процессам кристаллизации парафинов [5];
- применению депрессорных присадок [3,4,5];
- использованию наночастиц и модифицирующих реагентов [7,8];
- методам снижения гидравлического сопротивления при транспортировке нефти [2,8];
- улучшению структурно-реологических характеристик нефтяных систем [1,2].

При анализе научных источников рассматривались основные физико-химические и реологические показатели нефтей:

- динамическая и эффективная вязкость [2,7];
- температура застывания [3,4];
- предел текучести [1,8];
- коэффициент трения и гидравлическое сопротивление [8];
- содержание парафинов, смол и асфальтенов [1,5];
- устойчивость нефтяных дисперсных систем [2,7].

В рассмотренных исследованиях для определения реологических характеристик применялись современные лабораторные методы и оборудование, включая ротационные вискозиметры, реометры, системы динамического светорассеяния, методы хроматографического анализа и методы определения температуры застывания нефтей [1,2]. В ряде исследований использовались методы анализа динамической вязкости, кривых течения и структурно-механических свойств нефтяных систем при различных температурных режимах [3,4].

Для систематизации результатов использовались методы научного обобщения, сравнительного анализа и интерпретации экспериментальных данных, представленных в научной литературе [5,8]. На основании рассмотренных публикаций были выполнены сравнительная оценка эффективности различных депрессорных присадок, анализ влияния наноматериалов на снижение вязкости нефти и оценка перспектив применения современных технологий регулирования реологических свойств нефтяных систем [4,7].

В статье использованы обобщенные результаты исследований, представленные в виде сравнительных таблиц, графиков и аналитических схем, позволяющих оценить эффективность современных методов улучшения текучести высокопарафинистых нефтей и повышения надежности их транспортировки в сложных эксплуатационных условиях [2,8].

**Результаты и их обсуждение.** Анализ современных научных публикаций показал, что основными факторами, влияющими на реологические свойства высокопарафинистых нефтей, являются температура, содержание парафиновых углеводородов, наличие смолисто-асфальтеновых веществ, а также применение депрессорных присадок и модифицирующих реагентов [1,5,8]. Установлено, что снижение температуры приводит к интенсивному росту вязкости нефти и образованию пространственной кристаллической структуры парафинов, ухудшающей текучесть нефтяной системы [1,4].

### *1. Влияние температуры на вязкость высокопарафинистой нефти*

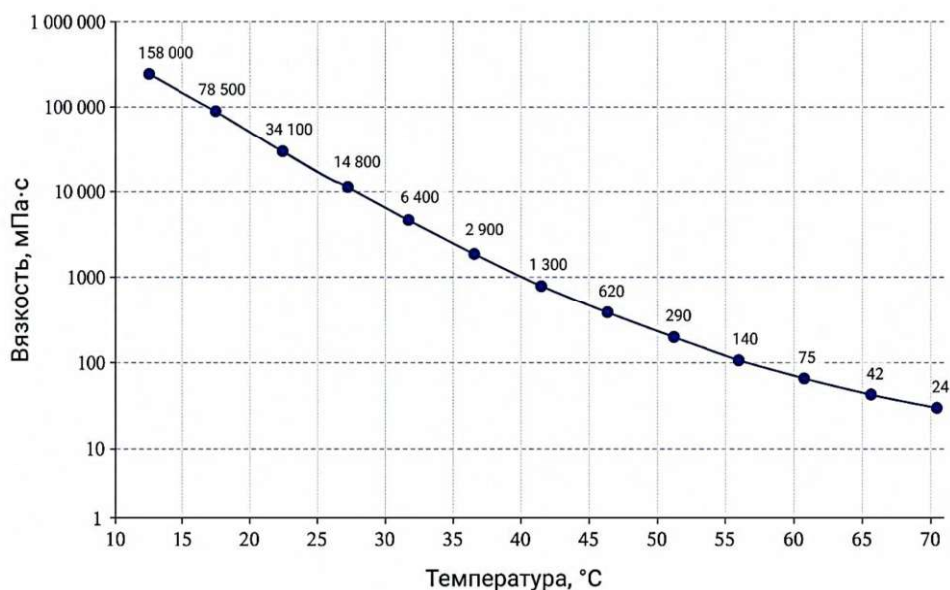


Рисунок 1 – Зависимость вязкости нефти от температуры

Как видно из рисунка 1, с повышением температуры наблюдается значительное снижение вязкости высокопарафинистой нефти. Наиболее интенсивное уменьшение вязкости происходит в интервале температур 30–50 °С, что связано с разрушением парафиновой структуры и уменьшением межмолекулярного взаимодействия компонентов нефти [1,8].

### 2. Влияние депрессорных присадок на температуру застывания нефти

Таблица 1 – Эффективность депрессорных присадок

Тип присадки	Концентрация, %	Температура застывания, °С	Снижение температуры, °С
Без присадки	—	+18	—
MR-1088	0,05	+10	8
Flexoil	0,05	+8	10
WX-161	0,05	+6	12

Данные таблицы 1 показывают, что применение депрессорных присадок способствует существенному снижению температуры застывания нефти. Наиболее высокая эффективность наблюдается у присадки WX-161, обеспечивающей снижение температуры застывания на 12 °С [3,4].

### 3. Изменение вязкости нефти при использовании депрессорных присадок

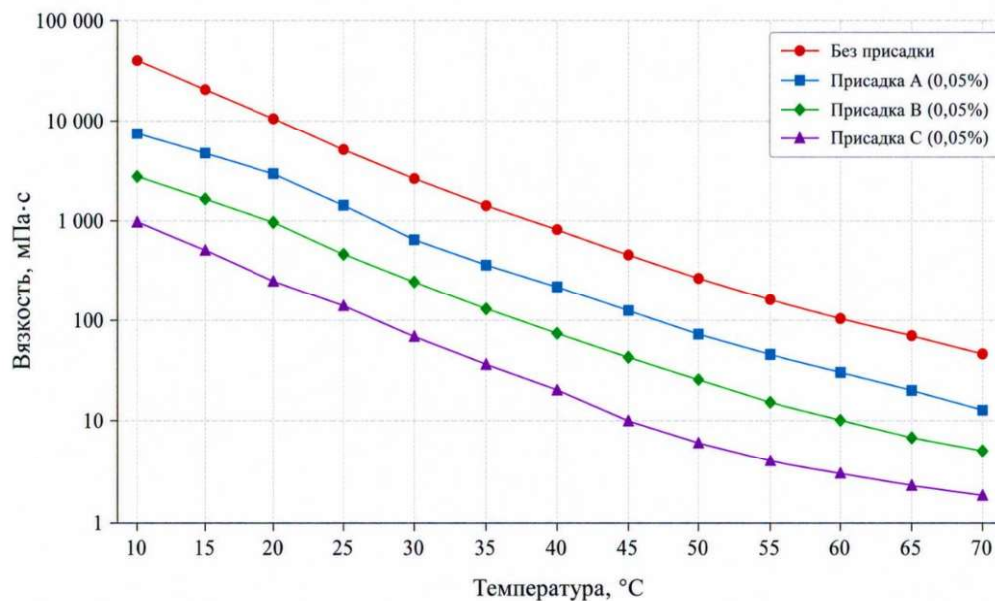


Рисунок 2 – Сравнение вязкости нефти с присадками и без присадок

Образец нефти	Вязкость, мПа·с
Без присадки	5400
MR-1088	3900
Flexoil	3100
WX-161	2600

Согласно рисунку 2, использование депрессорных присадок приводит к заметному снижению вязкости нефти. Это объясняется нарушением процессов роста парафиновых кристаллов и уменьшением структурообразования в нефтяной системе [4,5].

#### 4. Влияние разбавления нефти на реологические свойства

Таблица 2 – Изменение вязкости при добавлении легкой нефти

Содержание легкой нефти, %	Вязкость, Па·с	Температура застывания, °C
0	5,459	+15
10	3,870	+12
20	2,940	+10
30	1,850	+9
50	0,367	+5

Результаты таблицы 2 показывают, что добавление низковязкой нефти способствует значительному улучшению реологических характеристик нефтяной смеси. При увеличении содержания легкой нефти наблюдается снижение вязкости и температуры застывания системы [2].

#### 5. Современные методы улучшения текучести нефти

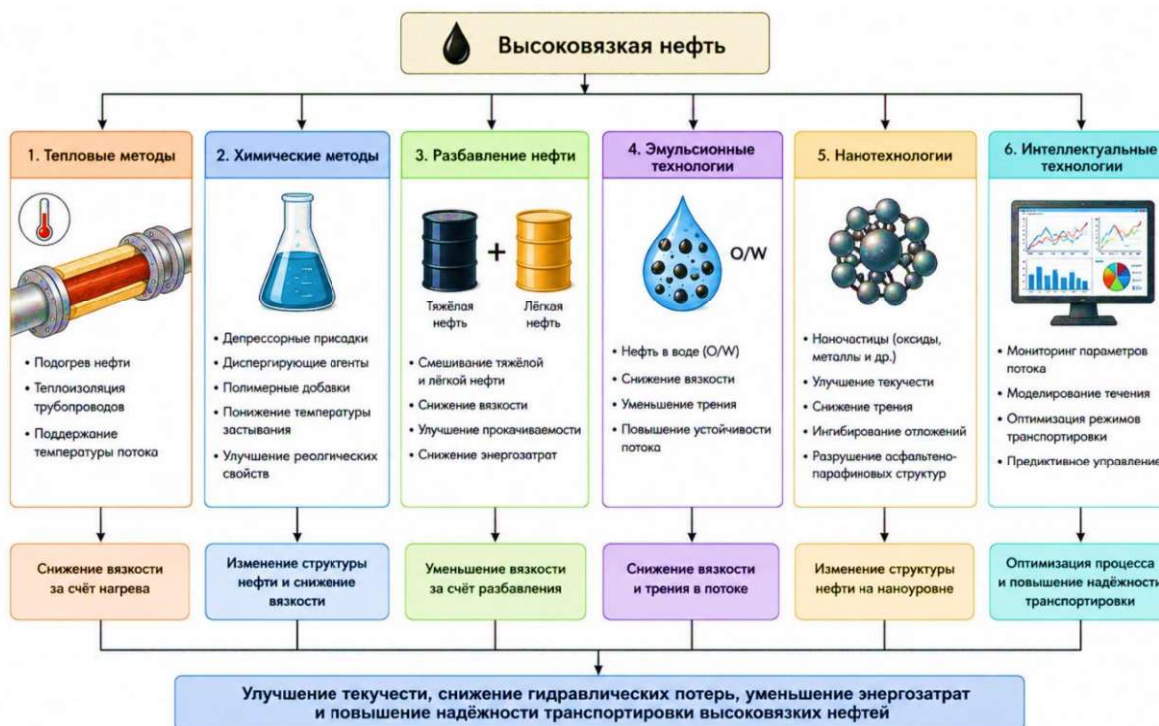


Рисунок 3 – Основные методы повышения текучести высоковязких нефтей

Рисунок 3 демонстрирует основные современные методы регулирования реологических свойств нефтей. Наиболее перспективными направлениями являются применение депрессорных присадок, тепловой обработки и нанотехнологий, позволяющих комплексно воздействовать на структуру нефтяной системы [5,7,8].

Проведенный обзор научных исследований показывает, что проблема транспортировки высокопарафинистых нефтей остается одной из наиболее актуальных задач нефтегазовой отрасли [8]. Основными причинами ухудшения текучести нефти являются кристаллизация парафинов, рост вязкости и образование асфальтосмолопарафиновых отложений [1,5].

Анализ литературных данных подтверждает высокую эффективность депрессорных присадок при регулировании реологических свойств нефтей [3–5]. Их применение позволяет снизить температуру застывания, уменьшить вязкость и повысить стабильность нефтяных систем. Одновременно перспективным направлением являются методы разбавления высоковязких нефтей легкими нефтями и применение наноматериалов, обеспечивающих снижение гидравлического сопротивления и повышение эффективности транспортировки нефти [2,7].

Современные исследования также показывают высокую перспективность цифровых технологий и интеллектуальных систем моделирования процессов транспортировки нефти. Использование автоматизированного контроля параметров потока и прогнозирования изменений реологических характеристик позволяет повысить надежность трубопроводных систем и снизить эксплуатационные затраты [8,12-15].

**Заключение.** Проведенный обзор и сравнительный анализ современных научных исследований показал, что проблема транспортировки высокопарафинистых и высоковязких нефтей остается одной из наиболее актуальных задач нефтегазовой отрасли. Основными причинами ухудшения текучести нефтей являются высокая концентрация парафиновых углеводородов, процессы кристаллизации парафинов при

снижении температуры, а также образование асфальтосмолопарафиновых отложений в трубопроводных системах. Эти процессы приводят к увеличению вязкости нефти, росту гидравлического сопротивления, повышению энергозатрат и снижению эффективности транспортировки нефти.

В результате анализа литературных данных установлено, что наиболее эффективными методами регулирования реологических свойств высокопарафинистых нефтей являются тепловая обработка, применение депрессорных присадок, разбавление легкими нефтями, использование эмульсионных систем и современных наноматериалов. Применение депрессорных присадок способствует снижению температуры застывания нефти, уменьшению вязкости и разрушению пространственной структуры парафиновых кристаллов. При этом использование композиционных смесей тяжелой и легкой нефти позволяет значительно улучшить текучесть нефтяных систем и снизить гидравлические потери при транспортировке [3–6].

Особое внимание в современных исследованиях уделяется применению нанотехнологий и интеллектуальных систем управления транспортировкой нефти. Использование наночастиц и модифицирующих реагентов способствует изменению структуры нефтяной системы на микро- и наноуровне, снижению коэффициента трения и ингибированию процессов образования парафиновых отложений. Одновременно внедрение цифровых технологий, автоматизированного мониторинга и интеллектуального моделирования потоков позволяет оптимизировать режимы транспортировки нефти, повысить надежность трубопроводных систем и сократить эксплуатационные затраты.

Основные выводы исследования заключаются в следующем:

- повышение температуры приводит к существенному снижению вязкости высокопарафинистых нефтей;
- депрессорные присадки эффективно снижают температуру застывания и улучшают реологические характеристики нефтей;
- разбавление высоковязких нефтей легкими нефтями способствует повышению текучести и снижению гидравлического сопротивления;
- применение наноматериалов является перспективным направлением повышения эффективности транспортировки нефти;
- интеллектуальные технологии и цифровые системы управления обеспечивают повышение надежности и экономической эффективности нефтетранспортных процессов.

Таким образом, дальнейшее развитие методов регулирования реологических свойств высокопарафинистых нефтей, внедрение инновационных реагентов, нанотехнологий и интеллектуальных систем управления являются важнейшими направлениями повышения эффективности добычи и транспортировки нефти в современных условиях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юдина Н.В., Лоскутова Ю.В., Чеканцева Л.В. Влияние термообработки на структурно-реологические свойства высокопарафинистой нефти // Нефтегазовое дело. – 2024. – № 2. – С. 45–53.
2. Boranbayeva L., Akhmetov D., Suleimenova G., et al. Development of Oil Blend Compositions to Improve the Rheological Parameters of Waxy Oils // Energies. – 2025. – Vol. 18. – No. 3. – P. 1–18.

3. Зайнуллина А.Ш., Арыстан А.Ж. Исследование влияния депрессорных присадок на реологические свойства нефти // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. – 2020. – № 4. – С. 52–58.
4. Деменин Е.С., Николаев А.К. Исследование реологических свойств высоkozастывающих нефтей с применением депрессорных присадок // Нефтепромысловое дело. – 2020. – № 8. – С. 34–40.
5. Лужецкий А.В., Петров И.С., Макаров Д.А. Применение депрессорных присадок для регулирования реологических свойств высокопарафинистых нефтей // Нефть. Газ. Новации. – 2021. – № 5. – С. 61–68.
6. Абдикеримов Б.А., Сейтов Н.С., Калиева А.М. Исследование влияния депрессорных присадок на температуру застывания дизельных топлив // Химическая технология топлива и масел. – 2022. – № 6. – С. 49–55.
7. Lam-Maldonado M., Valles-Minier M., Romero J., et al. Extra Heavy Crude Oil Viscosity and Surface Tension Behavior Using a Flow Enhancer and Water at Different Temperature Conditions // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2023. – Vol. 228. – P. 111–124.
8. Souas F., Safri A., Benmounah A. A Review on the Rheology of Heavy Crude Oil for Pipeline Transportation // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. – 2020. – Vol. 10. – No. 7. – P. 2961–2978.
9. Mullins O.C. The Modified Yen Model // Energy & Fuels. – 2010. – Vol. 24. – No. 4. – P. 2179–2207.
10. Spcight J.G. The Chemistry and Technology of Petroleum. – 5th ed. – Boca Raton: CRC Press, 2014. – 1024 p.
11. Yen T.F., Chilingarian G.V. Asphaltenes and Asphalts. – Amsterdam: Elsevier, 1994. – 430 p.
12. Martínez-Palou R., Mosqueira M.L., Zapata-Rendón B., et al. Transportation of Heavy and Extra-Heavy Crude Oil by Pipeline: A Review // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2011. – Vol. 75. – P. 274–282.
13. Hascakir B., Akin S. Recovery Improvement of Heavy Oil by Chemical Additives // Energy Sources. – 2008. – Vol. 30. – No. 8. – P. 745–756.
14. Farah M.A., Oliveira R.C., Caldas J.N., Rajagopal K. Viscosity of Water-in-Oil Emulsions: Variation with Temperature and Water Volume Fraction // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2005. – Vol. 48. – P. 169–184.
15. Sjöblom J., Aske N., Auflem I.H., et al. Our Current Understanding of Water-in-Crude Oil Emulsions // Recent Research Developments in Oil Chemistry. – 2003. – Vol. 4. – P. 1–21.

## REFERENCES

1. Yudina, N. V., Loskutova, Yu. V., Chekanceva, L. V. Vliyanie termoobrabotki na strukturno-reologicheskie svoystva vysokoparafinistoy nefti // Neftegazovoe delo. [Influence of heat treatment on structural and rheological properties of highly paraffinic oil // Petroleum Engineering.]. – 2024. – № 2. – S. 45–53. – (In Rus)
2. Boranbayeva, L., Akhmetov, D., Suleimenova, G. et al. Development of Oil Blend Compositions to Improve the Rheological Parameters of Waxy Oils // Energies. – 2025. – Vol. 18, No. 3. – P. 1–18.
3. Zajnullina, A. Sh., Arystan, A. Zh. Issledovanie vliyaniya depressornykh prisadok na reologicheskie svoystva nefti // Vestnik neftgazovoy otrasli Kazakhstana. [Investigation of the effect of pour point depressants on the rheological properties of oil // Bulletin of the Oil and Gas Industry of Kazakhstan.]. – 2020. – № 4. – S. 52–58. – (In Rus)

4. Demenin, E. S., Nikolaev, A. K. Issledovanie reologicheskikh svoystv vysokozastyvayushchih neftej s primeneniem depressornyh prisadok // Neftepromyslovoe delo. [Investigation of rheological properties of high-pour-point oils with the use of pour point depressants // Oilfield Engineering.]. – 2020. – № 8. – S. 34–40. – (In Rus)
5. Luzheckij, A. V., Petrov, I. S., Makarov, D. A. Primenenie depressornyh prisadok dlya regulirovaniya reologicheskikh svoystv vysokoparafinitnyh neftej // Neft'. Gaz. Novacii. [Application of pour point depressants for regulating the rheological properties of highly paraffinic oils // Oil. Gas. Innovations.]. – 2021. – № 5. – S. 61–68. – (In Rus)
6. Abdikerimov, B. A., Seitov, N. S., Kalieva, A. M. Issledovanie vliyaniya depressornyh prisadok na temperaturu zastyvaniya dizel'nyh topliv // Himicheskaya tehnologiya topliva i masel. [Investigation of the effect of pour point depressants on the pour point of diesel fuels // Chemistry and Technology of Fuels and Oils.]. – 2022. – № 6. – S. 49–55. – (In Rus)
7. Lam-Maldonado, M., Valles-Minier, M., Romero, J. et al. Extra Heavy Crude Oil Viscosity and Surface Tension Behavior Using a Flow Enhancer and Water at Different Temperature Conditions // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2023. – Vol. 228. – P. 111–124.
8. Souas, F., Safri, A., Benmounah, A. A Review on the Rheology of Heavy Crude Oil for Pipeline Transportation // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. – 2020. – Vol. 10, No. 7. – P. 2961–2978.
9. Mullins, O. C. The Modified Yen Model // Energy & Fuels. – 2010. – Vol. 24, No. 4. – P. 2179–2207.
10. Speight, J. G. The Chemistry and Technology of Petroleum. – 5th ed. – Boca Raton: CRC Press, 2014. – 1024 p.
11. Yen, T. F., Chilingarian, G. V. Asphaltenes and Asphalts. – Amsterdam: Elsevier, 1994. – 430 p.
12. Martínez-Palou, R., Mosqueira, M. L., Zapata-Rendón, B. et al. Transportation of Heavy and Extra-Heavy Crude Oil by Pipeline: A Review // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2011. – Vol. 75. – P. 274–282.
13. Hascakir, B., Akin, S. Recovery Improvement of Heavy Oil by Chemical Additives // Energy Sources. – 2008. – Vol. 30, No. 8. – P. 745–756.
14. Farah, M. A., Oliveira, R. C., Caldas, J. N., Rajagopal, K. Viscosity of Water-in-Oil Emulsions: Variation with Temperature and Water Volume Fraction // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2005. – Vol. 48. – P. 169–184.
15. Sjöblom, J., Aske, N., Auflem, I. H. et al. Our Current Understanding of Water-in-Crude Oil Emulsions // Recent Research Developments in Oil Chemistry. – 2003. – Vol. 4. – P. 1–21.