

На правах рукописи



ПАРШУКОВА ОЛЬГА РАСИМОВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ДОРОЖНЫХ
БИТУМОВ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ ИХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
СВОЙСТВ**

2.6.12. – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Самара – 2025

Работа выполнена на кафедре «Химическая технология переработки нефти и газа» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» и в отделе битумов и тяжелых продуктов/специализированном институте АО «Средневолжский научно-исследовательский институт по нефтепереработке».

**Научный
руководитель -**

доктор технических наук, профессор
Тыщенко Владимир Александрович

**Официальные
оппоненты:**

Пивоварова Надежда Анатольевна
доктор технических наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Астраханский государственный технический
университет» / профессор кафедры химическая
технология переработки нефти и газа

Кемалов Руслан Алимович
кандидат технических наук, доцент
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный
университет» / доцент кафедры технологии нефти,
газа и углеродных материалов

Ведущая организация - Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный университет нефти
и газа (национальный исследовательский
университет) имени И.М. Губкина»

Защита диссертационной работы состоится «04» июня 2025 года в 16:00 на заседании диссертационного совета 24.2.428.02, созданного при ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» по адресу: 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» и на сайте www.rusoil.net.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2025 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Бадикова Альбина Дарисовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Задача повышения качества нефтяных битумных вяжущих остаётся актуальной в условиях углубления переработки нефти и ужесточения предъявляемых требований к дорожным битумам.

В соответствии с «Энергетической стратегией Российской Федерации на период до 2035 года» в настоящее время проводятся мероприятия по модернизации нефтеперерабатывающей отрасли, направленные на обеспечение выхода светлых нефтепродуктов до 70%. С целью достижения максимального отбора светлых и вакуумных дистиллятов реконструируются атмосферные и вакуумные блоки установок АВТ. Так, например, модернизация контактных устройств колонного оборудования установки ЭЛОУ-АВТ-6 позволила АО «Сызранский НПЗ» в 2023 году увеличить глубину переработки нефти на 5%.

Проектами реконструкции установок первичной переработки нефти прогнозируется повышение вязкости не только вакуумных остатков – гудронов, но и дистиллятов, являющихся также компонентом сырья производства битумов. Совокупное утяжеление гудрона и вакуумного газойля при углублении вакуумной перегонки приводит к тому, что смешение гудронов с вакуумным газойлем уже не всегда обеспечивает получение из такого сырья дорожных битумных вяжущих, удовлетворяющих современным требованиям.

В то же время в нормативной базе на дорожный битум в последние годы произошли серьезные изменения. В новой нормативной документации, предъявляющей требования к качеству дорожных битумов марок PG (ГОСТ Р 58400.1-2019, ГОСТ Р 58400.2-2019), основными критериями оценки низкотемпературных свойств установлены показатели: жесткость и параметр m (ползучесть). При этом технологические способы управления данными параметрами при производстве окисленных дорожных битумов отсутствуют.

Кроме того, в 2023 году в Российской Федерации введены новые Правила выбора марок вяжущих нефтяных битумных материалов (ГОСТ Р 71009- 2023), основанные на учете климатических и транспортных условий их эксплуатации по регионам применения. Для климатических условий большинства регионов РФ наиболее жесткие требования к дорожным битумам предъявляются по низкотемпературным характеристикам. Так, для Самарской области, а также на территориях 19 субъектов РФ допустимым к применению в верхнем слое покрытия является битум с нижней границей марки PG минус 34 °С и температурным диапазоном эксплуатации не менее 92 °С, соответствующий ГОСТ Р 58400.1-2019 к марке PG 58-34. При этом дорожные битумы, производимые на Сызранском НПЗ, соответствуют новым требованиям только к марке PG 58-28, не обеспечивая требуемый уровень низкотемпературной устойчивости.

В сложившихся условиях решение задачи производства дорожных битумов с требуемым комплексом низкотемпературных свойств из утяжеленного сырья приобретает особую актуальность.

Степень разработанности темы исследования

Битумное направление заслуженно занимает одну из ключевых позиций в науке по своей значимости для экономического развития государства. В нашей стране сформировалось несколько научных школ, занимающихся изучением и внедрением в производство актуальных и перспективных технологий производства битумных материалов, среди которых Институт нефтехимпереработки, г. Уфа (ранее – БашНИИ НП), Средневолжский научно-исследовательский институт по переработке нефти, г. Новокуйбышевск (СвНИИНП), Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, г. Москва. Издается большое количество трудов – монографий, статей и др. – посвященных данной тематике, расширяя богатую научную базу, сформированную в своей основной массе в середине XX века.

Вопросы улучшения качества вяжущих материалов (в частности низкотемпературных свойств) для дорожного строительства, включая разработку способов его регулирования, отражены в работах таких ученых, как А. С. Колбановская, Р. Б. Гун, Р. С. Ахметова, В. В. Фрязинов, Б. Г. Печеный, Д. А. Розенталь, И. Б. Грудников, А. В. Руденский, З. И. Сюняев, Л. М. Гохман.

К настоящему времени проделан значительный объем работ по исследованию влияния различных факторов на низкотемпературные свойства нефтяных битумов: параметров процесса окисления, глубины отбора в остатках вакуумной перегонки, вида и количества добавок в сырье битумного производства, степени окисления битумной основы при производстве компаундированных битумов. Предложены различные направления улучшения свойств нефтяных битумов путем модификации их состава.

С введением новых стандартов на дорожный битум, учитывающих климатические условия его эксплуатации на конкретном участке дороги, стало очевидно, что необходимы дальнейшие исследования зависимости низкотемпературных характеристик битумов от качества исходного сырья. При этом вопрос обеспечения низкотемпературных свойств битумным вяжущим, получаемым из утяжеленного сырья в условиях увеличения глубины переработки нефти, особенно актуален.

Исследования, проведенные в рамках настоящей работы, направлены на поиск технологических решений получения нефтяных дорожных битумов с необходимым комплексом низкотемпературных свойств, удовлетворяющих современным требованиям ГОСТ Р 58400.1-2019, из утяжеленных гудронов применительно к действующим производствам Самарской группы НПЗ.

Соответствие паспорту научной специальности

Диссертационное исследование соответствует паспорту специальности 2.6.12. – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ, п. 2 «Технологии и схемы процессов переработки нефтяного, газового и

газоконденсатного сырья, попутного нефтяного газа на компоненты. Конструктивное оформление технологий и основные показатели аппаратуры установок для переработки сырья. Технологии подготовки указанного сырья к переработке. Разработка энергосберегающих технологий. Технологии приготовления товарных нефтепродуктов».

Целью исследования являлась разработка технологических решений для производства дорожных битумов, отвечающих современным требованиям к качеству, из утяжеленных гудронов на основе закономерностей изменения низкотемпературных свойств.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- Определить потенциал низкотемпературных свойств битумов, соответствующих современным требованиям ГОСТ Р 58400.1-2019, полученных окислением утяжеленных гудронов;
- Установить влияние температуры процесса окисления на показатели низкотемпературной устойчивости битумов – жесткость и параметр m (ползучесть);
- Исследовать направления улучшения низкотемпературных свойств дорожных битумов путем модификации утяжеленных гудронов и компаундирования окисленных битумов продуктами нефтепереработки;
- Разработать рецептуры и технологическую схему производства дорожных битумов, востребованных на территориях Приволжского и Центрального федеральных округов и соответствующих требованиям ГОСТ Р 58400.1-2019, из утяжеленных гудронов применительно к действующей схеме битумного производства Самарской группы НПЗ.

Научная новизна

1. Установлено, что получение дорожного битума с низкотемпературной устойчивостью при температуре минус 34 °С и диапазоном эксплуатации не менее 92 °С возможно окислением утяжеленных

гудронов без подготовки сырья с последующим компаундированием экстрактами селективной очистки масел.

2. Впервые показано, что битумы, полученные компаундированием с экстрактом селективной очистки дистиллятной масляной фракции, отвечают современным требованиям к низкотемпературным свойствам и характеризуются наиболее стабильной коллоидной структурой.

3. Выявлены зависимости новых низкотемпературных показателей дорожных битумов – жесткости и параметра m (ползучести) от их компонентного и группового химического состава.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость исследования состоит в установлении новых закономерностей изменения низкотемпературных свойств битумов – жесткости и ползучести, базирующихся на основных положениях теории нефтяных дисперсных систем и позволяющих оптимизировать соотношение дисперсной фазы и дисперсионной среды на стадии производства.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Разработаны технологические решения, обеспечивающие производство дорожных битумов наиболее востребованной на территориях Приволжского и Центрального федеральных округов РФ марки PG 58-34 по ГОСТ Р 58400.1-2019 из утяжеленных гудронов, что позволяет расширить сырьевую базу битумных установок в условиях повышения глубины переработки нефти.

2. Установлена зависимость между температурой размягчения и критической высокой температурой окисленных битумов, позволяющая организовать лабораторный экспресс-контроль процесса окисления при производстве дорожных битумов по ГОСТ Р 58400.1-2019.

3. Подтверждено, что асфальтобетоны, изготовленные с применением битумов, полученных по разработанным рецептурам, повышают устойчивость дорожного покрытия к образованию трещин и снижают его склонность к усталостному выкрашиванию в условиях низких температур.

4. Разработана принципиальная технологическая схема битумного производства, включающая блоки подготовки сырья, приема и дозирования пластификатора – экстракта селективной очистки масел. Схема не требует значительного изменения текущей конфигурации технологического объекта и обеспечивает производство дорожных битумов с низкотемпературной устойчивостью при температуре минус 34 °С и температурным диапазоном эксплуатации не менее 92 °С.

5. Эффективность разработанных технологических решений подтверждена результатами опытно-промышленного пробега. Производство дорожных битумов на основе разработанных технологических решений предусмотрено на битумной установке АО «Сызранский НПЗ» в 2025 г.

Методология и методы исследования

Методология исследования заключалась в системном изучении физико-химических свойств окисленных и компаундированных битумов, полученных из сырья и промежуточных продуктов нефтепереработки, а также определения качества сцепления битумного вяжущего с поверхностью щебня. При этом применялись как специальные методы для оценки группового химического состава исходных компонентов и получаемых битумов, так и стандартизированные, для анализа характеристик битумных вяжущих в соответствии с ГОСТ Р 58400.1-2019.

Положения, выносимые на защиту

- Результаты исследования зависимостей низкотемпературных свойств битумов от группового химического состава сырья, параметров технологических стадий окисления и компаундирования;

- принципиальные технологические решения производства дорожных битумов из утяжеленных гудронов, обеспечивающие соответствие их характеристик новым требованиям к низкотемпературным маркам ГОСТ Р 58400.1-2019.

Степень достоверности результатов обеспечена выполнением экспериментальных работ по предмету исследования с применением

комплекса аттестованных методик в аккредитованной лаборатории на современном оборудовании, обеспечивающем высокий уровень точности измерений, воспроизводимостью результатов и их непротиворечивостью литературным данным. Обработка результатов экспериментальных данных проведена с помощью современных программных пакетов.

Апробация результатов исследования

Основные результаты работы доложены и обсуждены на XII, XIII, XVI и XVII научно-практической конференции «Актуальные задачи нефтегазохимического комплекса» (2019 г., 2020 г., 2023 г., 2024 г., Москва), Всероссийском семинаре «Инновации и «зеленые» технологии в газохимии и нефтепереработке» (2022 г., Самара), Всероссийской научной конференции «Переработка углеводородного сырья. Комплексные решения (Левинтерские чтения)» (2023 г., Самара), XIII Международной конференции «Химия нефти и газа» (2024 г., Томск).

Публикации

По материалам представленной диссертационной работы опубликовано 15 работ, в том числе 6 статей в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, получен 1 патент на изобретение, 8 материалов в сборниках трудов конференций.

Структура и объем диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, библиографического списка из 179 наименований. Работа изложена на 162 страницах, содержит 32 таблицы, 37 рисунков.

Благодарности

Автор выражает глубокую благодарность д.т.н. Тюкилиной П. М., всему коллективу отдела битумов и тяжелых продуктов/специализированного института АО «Средневолжский научно-исследовательский институт по нефтепереработке», а также своему научному руководителю заведующему кафедрой «Химическая технология переработки нефти и газа» д.т.н.,

профессору Тыщенко В. А. и профессору кафедры «Химическая технология переработки нефти и газа» д.х.н., доценту Максимову Н. М. ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» за помощь в выполнении диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, отражены научная новизна и практическая значимость результатов исследования, описана их апробация.

В первой главе представлен аналитический обзор публикаций, касающихся современного представления о составе и структуре нефтяных дорожных битумов и способов их производства, подходов к исследованию их вязкоупругих свойств.

Во второй главе представлены объекты и методы исследований. В качестве сырья и компонентов для получения окисленных и компаундированных битумов использовали гудроны и тяжелые вакуумные газойли (ТВГ), полученные вакуумной перегонкой мазутов с различной глубиной отбора вакуумного газойля на установке АВТ производства АО «Сызранский НПЗ», а также вторичные продукты процесса очистки масел N-метилпирролидоном – экстракты селективной очистки дистиллятных и остаточных фракций (ЭСОМ_д и ЭСОМ_о) производства ООО «Новокуйбышевский завод масел и присадок» (Таблицы 1 и 2).

Таблица 1 – Характеристика промышленных гудронов

Показатель	Метод определения	Гудрон			
		1	2	3	4
Вязкость условная при 80 °С, с	ГОСТ 11503-74	65	105	150	200

Выбор диапазона вязкости условной при 80 °С (ВУ₈₀) гудронов обусловлен как фактическим качеством сырья битумного производства

Самарской группы НПЗ, так и качеством гудронов, получение которых предполагается после реконструкции установок первичной переработки нефти с заменой внутренних устройств атмосферной и вакуумной колонн на более эффективные с целью повышения отбора топливных дистиллятов.

Таблица 2 – Характеристика нефтяных продуктов

Показатель	Метод определения	ТВГ		ЭСОМ _д	ЭСОМ _о
		1	2		
Фракционный состав, °С	ASTM D 86 / ASTM D 1160-18	395-557	365-560	175-384	170-370
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с	ГОСТ 33-2016	26,10	26,51	11,38	30,92
Плотность при 20 °С, кг/м ³	ГОСТ 3900-2022	926	945	980	966
Температура застывания, °С	ГОСТ 20287-2023	30	32	21	36

Для наработки образцов битумов использовались методики окисления и компаундирования, определение физико-химических показателей битумов осуществляли по ГОСТ Р 58400.1-2019, методикам определения группового химического состава и качества сцепления битумного вяжущего с поверхностью щебня. Исследования проводили в лаборатории АО «СвНИИ НП», аттестат аккредитации РОСС.RU.0001.515676 от 12.10.2015 г.

В третьей главе исследовано влияние качества утяжеленных гудронов и температуры окисления на низкотемпературную устойчивость окисленных битумов. Проведено исследование низкотемпературных показателей битумов с использованием продуктов нефтепереработки в качестве модификатора гудрона и пластификатора.

На первом этапе проведен ряд окислений гудронов для исследования потенциала низкотемпературных свойств битумов по ГОСТ Р 58400.1-2019. Окисление вели до критической высокой температуры $T_b=58,0-59,0$ °С, что соответствует верхнему значению марки PG 58-34 по ГОСТ Р 58400.1-2019.

Установлено, что увеличение вязкости гудронов ведет к последовательному ухудшению низкотемпературных свойств битумов, окисленных при 250 °С, о чем свидетельствует повышение температур нижнего значения марки PG по жесткости (T_{S-10}) и параметру m (T_{m-10}) (Рисунок 1а).

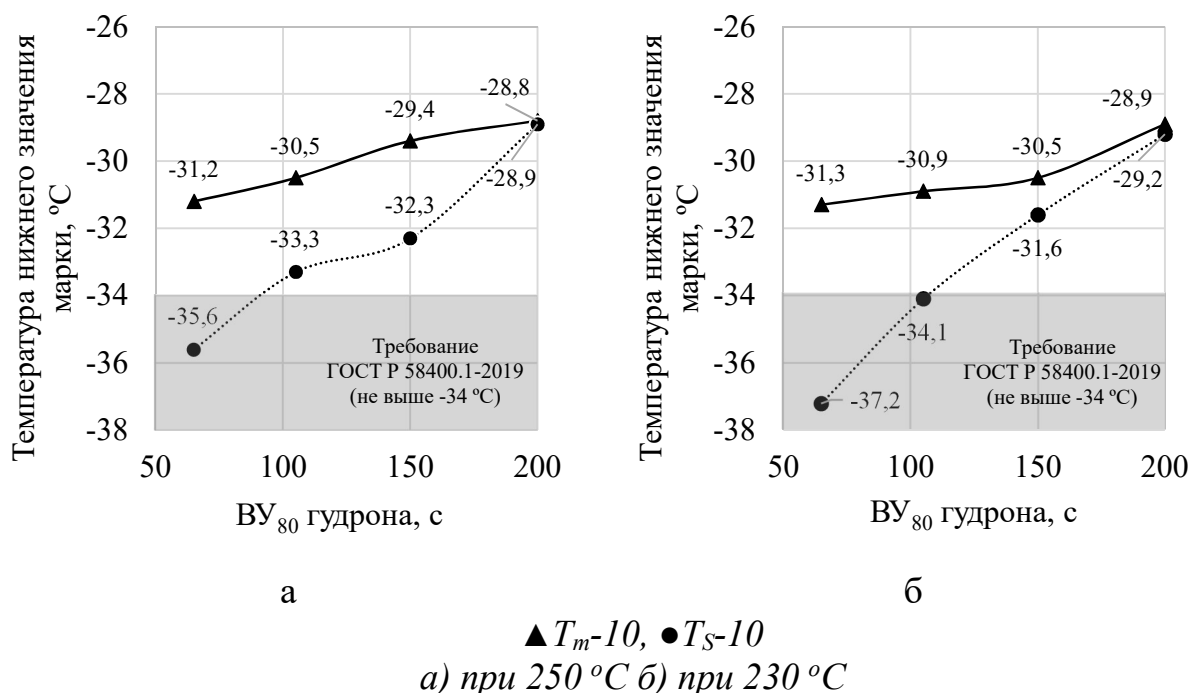


Рисунок 1 – Влияние вязкости гудронов и температуры окисления на изменение низкотемпературных свойств битумов

Низкотемпературную устойчивость битумов устанавливают по наибольшей из температур нижнего значения марки PG: по жесткости S T_{S-10} ($S=300$ МПа) или параметру m T_{m-10} ($m=0,3$). Критерии стандарта ограничивают жесткость ($S < 300$ МПа), чтобы вяжущее не было слишком хрупким, а параметр m (ползучесть или скорость релаксации растягивающих напряжений) была достаточной (параметр $m > 0,3$).

Возможность управления качеством битумов изучена на основе изменения технологического параметра окисления – температуры. Снижение температуры процесса окисления до 230 °С позволяет незначительно улучшить низкотемпературную устойчивость полученных образцов, однако значения T_{m-10} находятся выше минус 34 °С (Рисунок 1б).

Наименее затратным способом улучшения низкотемпературных свойств битумов в условиях утяжеления сырья является модификация гудронов масляными компонентами, представленными парафино-нафтовыми (ПНС) и ароматическими соединениями (АС) (Таблица 3).

Таблица 3 – Групповой химический состав нефтепродуктов

Показатель	Режим 1		Режим 2		ЭСОМ _д	ЭСОМ _о
	Гудрон 3	ТВГ 1	Гудрон 4	ТВГ 2		
ВУ ₈₀ , с	150	6,5	200	7,0	4,0	5,0
Масла, % мас. в т.ч.:	63,77	97,50	61,28	95,60	94,03	91,74
ПНС	12,81	40,03	9,83	37,85	16,63	21,10
АС	50,96	57,47	51,45	57,75	77,40	70,64
Смолы, % мас.	26,60	2,50	28,62	4,40	5,97	8,26
Асфальтены, % мас.	9,63	-	10,10	-	-	-

Установлено, что введение от 5 до 20% мас. ТВГ в состав утяжеленных гудронов, окисленных при 250 °С, способствует улучшению низкотемпературной устойчивости битумов, о чем свидетельствует снижение температур T_{S-10} и T_{m-10} (Рисунок 2).

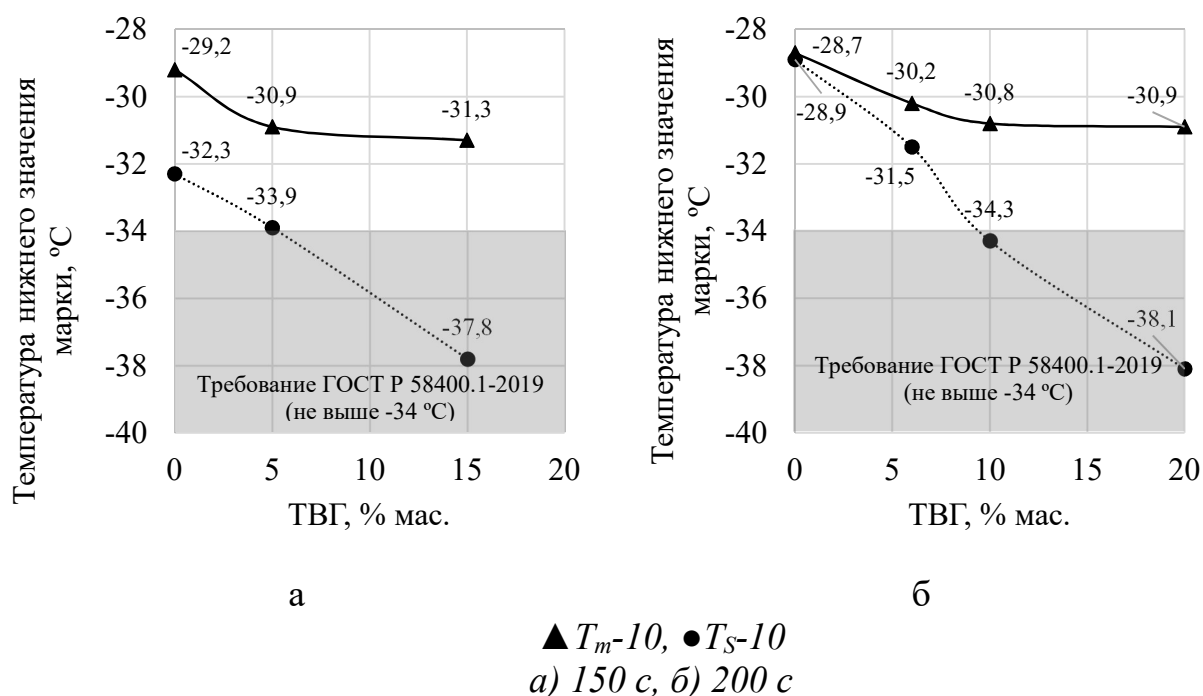


Рисунок 2 – Изменение низкотемпературных свойств битумов от содержания ТВГ в утяжеленном гудроне

Температура нижнего значения марки PG по жесткости (T_{S-10}) достигает минус 34 °C, при введении 10% мас. ТВГ в утяжеленный гудрон, что является недостаточным для обеспечения нижнего значения марки PG по параметру m (T_{m-10}). Введение дистиллятной фракции в гудрон более 20% мас. нецелесообразно поскольку приведет к испарению или уносу легких фракций, увеличению продолжительности процесса окисления, а также снижению термической стабильности получаемых битумов.

Целью следующего этапа исследования являлось изучение направлений улучшения низкотемпературных свойств битумных вяжущих, получаемых окислением при 250 °C из утяжеленных гудронов, путем компаундирования окисленного битума (битумной основы) продуктами нефтепереработки.

Установлена зависимость между показателями битума: температурой размягчения по кольцу и шару ($T_{разм}$) и критической высокой температурой. Найденное уравнение регрессии позволяет по $T_{разм}$ рассчитать T_v битумной основы для получения компаундированных битумов (Рисунок 3).

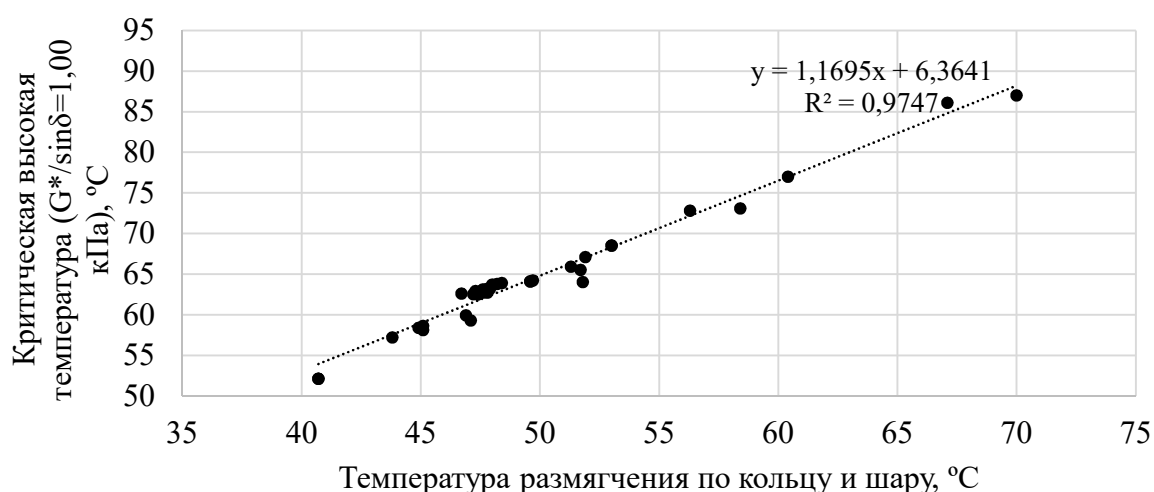


Рисунок 3 – Регрессионная зависимость между $T_{разм}$ и T_v окисленных битумов

По литературным и экспериментальным данным установлено, что окисленные битумы, применяемые для компаундирования, с $T_{разм}$ в диапазоне

от 54 до 70 °С в соответствии с регрессионной зависимостью (Рисунок 3) будут иметь T_b в диапазоне от 70 до 88 °С.

Установлено, что использование высоковязкого гудрона в качестве пластификатора приводит к получению битума (образец 1, Таблица 4) с повышенной жесткостью ($S=394$ МПа) и низким значением параметра m ($m=0,270$) (Рисунок 4).

Таблица 4 – Состав компаундированных с гудроном и ТВГ образцов

Компонент	Образец				
	1	2	3	4	5
Битумная основа $T_b=78$ °С	45,0	50,0	60,0	70,0	80,0
Гудрон 3 ВУ ₈₀ =150 с	55,0	45,5	32,4	19,5	5,0
ТВГ 1 ВУ ₈₀ =6,5 с	-	4,5	7,6	10,5	15,0

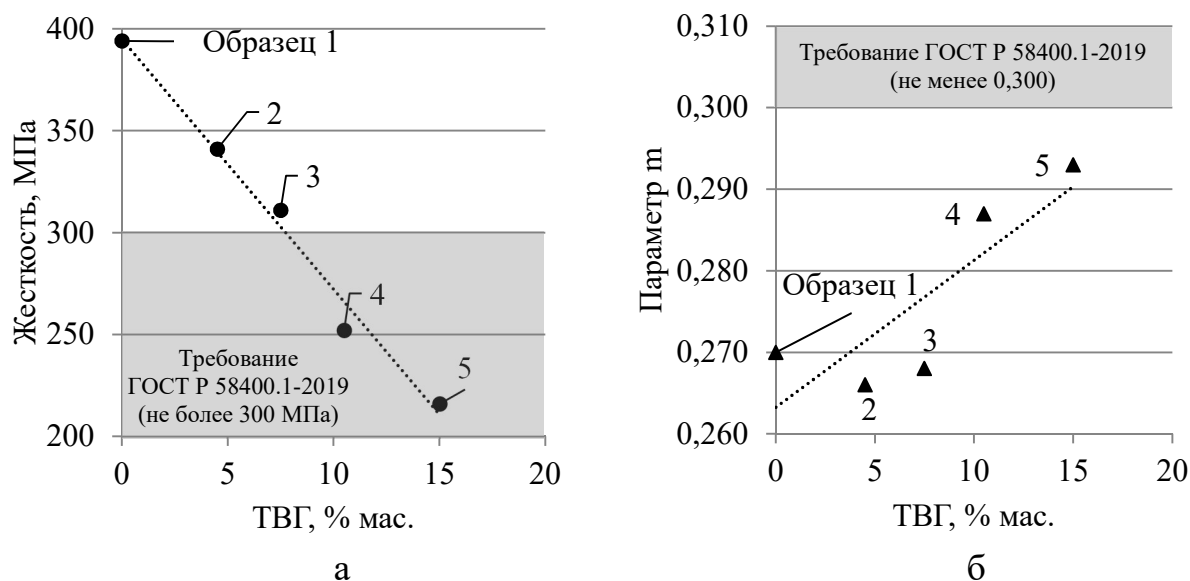


Рисунок 4 – Изменение жесткости (а) и параметра m (б) компаундированных битумов в зависимости от содержания ТВГ

Дополнительное введение фракции ТВГ в количестве от 10,5 до 15,0% мас. позволяет снизить жесткость образцов 4 и 5 до уровня нормативных требований ($S < 300$ МПа), однако ползучесть (параметр m) у всех образцов остается меньше 0,3, что не соответствует требованиям стандарта.

Для улучшения низкотемпературных показателей компаундированных битумов составлялись смеси с $T_b=58,5-59,0$ °С из битумных основ различной

глубины окисления: $T_b=71, 78$ и 86 °С, полученных из утяжеленного гудрона ($ВУ_{80}=150$ с), и легких нефтяных компонентов (Таблица 5).

Таблица 5 – Характеристика компаундированных битумов с ТВГ и ЭСОМ

Показатель		Образец								
		6	7	8	9	10	11	12	13	14
Компонентный состав образца, % мас.										
Битумная основа, T_b °С	71	89	-	-	85	-	-	88	-	-
	78	-	84	-	-	81	-	-	85	-
	86	-	-	78	-	-	76	-	-	80
ТВГ		11	16	22	-	-	-	-	-	-
ЭСОМ _о		-	-	-	15	19	24	-	-	-
ЭСОМ _д		-	-	-	-	-	-	12	15	20
Групповой химический состав, % мас.										
Масла, в том числе:		58,38	58,03	59,19	58,78	59,37	60,10	58,50	58,30	58,41
ПНС		14,18	15,00	16,40	12,68	12,50	13,22	11,68	11,20	10,90
АС		44,20	43,03	42,79	46,10	46,87	46,88	46,82	47,10	47,51
Смолы		25,32	24,10	22,91	25,40	23,72	23,50	25,40	23,97	23,68
Асфальтены		16,30	17,87	17,90	15,82	16,91	16,40	16,10	17,73	17,91
Индекс Гастеля, I_c		0,438	0,490	0,522	0,399	0,417	0,421	0,385	0,407	0,405
Характеристика образца по ГОСТ Р 58400.1-2019										
Изменение массы после старения, %		-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3
T_s-10 , °С		-39,3	-36,5	-41,1	-37,2	-37,8	-39,0	-36,1	-36,7	-38,1
T_m-10 , °С		-29,0	-31,3	-32,4	-34,0	-34,0	-34,6	-34,1	-35,4	-35,7
Температурный диапазон эксплуатации, °С		87,5	89,9	90,4	92,0	92,2	92,6	92,4	93,4	93,7

Изменение массы после старения по методу RTFOT образцов соответствует требованию стандарта (не более $\pm 1\%$), что свидетельствует о термической стабильности продукта при введении пластификатора в количестве от 11 до 24% мас. Показано, что использование ЭСОМ в качестве пластификатора является более целесообразным, чем ТВГ, так как обеспечивает получаемым образцам битумов низкотемпературную устойчивость не выше минус 34 °С и температурный диапазон эксплуатации не менее 92 °С. Битумы, компаундированные ЭСОМ_д в концентрации

12- 20% мас., характеризуются наиболее стабильной коллоидной структурой ($I_c=0,385-0,405$).

В результате исследований определены оптимальные диапазоны группового химического состава битума, отвечающего требованиям ГОСТ Р 58400.1-2019 к марке PG 58-34: ПНС 10,90-13,22% мас., АС 46,10- 47,51% мас., смол 23,50-25,40% мас., асфальтенов 15,82-17,91% мас.

Образцы, компаундированные с ЭСОМ, показали высокую адгезию на различных гравийных материалах. Испытания образцов битумов в составе асфальтобетонных смесей представлены в Таблице 6.

Таблица 6 – Результаты испытаний асфальтобетонных смесей

Показатель	Требование ГОСТ 9128-2013 для асфальтобетона типа Б для II и III дорожно-климатических зон			Образец битума	
	I марка	II марка	III марка	PG 52-34	PG 58-28
Средняя плотность, г/см ³	-			2,54	2,54
Пористость минерального остова, % об.	14 – 19			14	14
Остаточная пористость, % об.	2,5 – 5,0			2,9	2,9
Водонасыщение, % об.	1,5 – 4,0			1,2	1,0
Предел прочности при сжатии, МПа					
- при температуре 20 °С, не менее	2,5	2,2	2,0	3,7	4,8
- при температуре 50 °С, не менее	1,2	1,0	0,9	1,5	1,9
- при температуре 0 °С, не более	11,0	12,0	12,0	11,1	11,9
Коэффициент водостойкости, не менее	0,90	0,85	0,75	0,95	1,00
Водостойкость при длительном водонасыщении, не менее	0,85	0,75	0,65	0,93	1,00
Сдвигоустойчивость по:					
- коэффициенту внутреннего трения, не менее	0,81	0,81	0,80	0,95	0,96
- сцеплению при сдвиге при 50°С, МПа, не менее	0,37	0,35	0,34	0,39	0,48
Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при 0 °С, МПа	3,5-6,0	3,0-6,5	2,5-7,0	5,1	5,8
Содержание битума (сверх 100 % минеральной части), % мас.	—			4,7	4,7

Физико-механические показатели асфальтобетонных смесей с образцами, характеризующие устойчивость, долговечность и водонепроницаемость, удовлетворяют нормам на горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон типа Б марок I, II и III – наиболее широко распространенный для устройства верхних слоев дорожной одежды.

В четвертой главе приведены разработанные рецептуры получения дорожных битумов с необходимым комплексом эксплуатационных свойств для климатических условий Приволжского и Центрального ФО на базе нефтеперерабатывающих предприятий Самарской области. Технология получения битумов из утяжеленных гудронов включает две стадии: стадия окисления гудронов $VY_{80}=150-200$ с при температуре 230-250 °С и стадию компаундирования окисленных битумов с компонентами масляного производства в количестве 12-24% мас. на композицию (Таблица 7).

Таблица 7 – Рецептуры получения дорожного битума марки PG 58-34

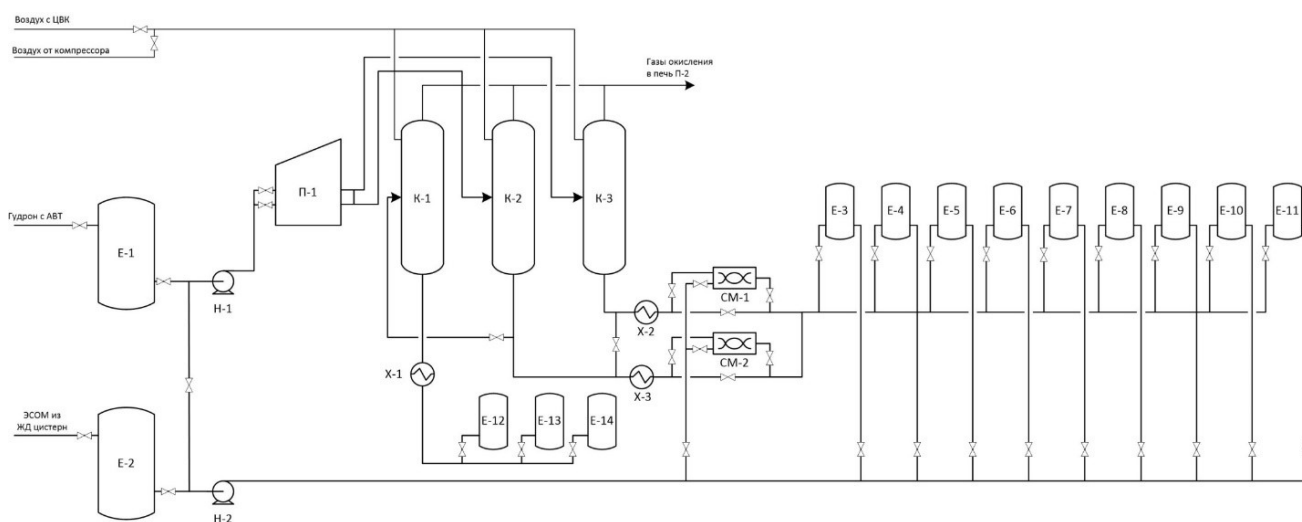
Компонент битума	Критическая высокая температура, °С	Вязкость кинематическая при 100 °С, мм ² /с	Содержание компонентов в компаундированном битуме, % мас.					
Битумная основа	71	-	88	-	-	85	-	
	78	-	-	85	-	-	81	
	86	-	-	-	80	-	-	76
ЭСОМ _д	-	10-15	12	15	20	-	-	-
ЭСОМ _о	-	25-35	-	-	-	15	19	24

Необходимая глубина окисления высоковязких гудронов с получением битумных основ достигается рекомендуемыми технологическими параметрами (Таблица 8). Представленный технологический режим апробирован и применяется при производстве дорожных битумов на битумной установке АО «Сызранский НПЗ».

Таблица 8 – Технологические параметры окисления

Параметр	Стандартный технологический режим	Рекомендуемое значение
Стадия окисления		
Температура сырья на входе в колонну, °С	не более 240	190-220
Температура верха колонны, °С	110-240	210
Температура низа колонны, °С	200-260	230-250
Расход сырья, м ³ /час	10-80	35
Расход воздуха в колонну, удельный, м ³ /т	не нормируется	50
Давление в колонне, кг/см ²	не более 0,6	не более 0,6
Стадия компаундирования		
Температура в резервуаре, °С	-	200

Представленная принципиальная технологическая схема битумного производства рассмотрена на примере битумной установки Сызранского НПЗ (Рисунок 5).



*Е-1 – накопительная емкость для гудрона (смеси гудрона с ТВГ);
Е-2 – накопительная емкость для ЭСОМ; П-1 – печь нагрева сырья;
К-1, К-2, К-3 – колонны окисления; СМ-1, СМ-2 – смесители (нов.);
Х-1, Х-2, Х-3 – холодильники погружного типа; Е-3÷Е-14 – ёмкости
товарного парка*

Рисунок 5 – Принципиальная технологическая схема битумной установки
АО «Сызранский НПЗ»

Существующая технологическая схема производства битумных вяжущих позволяет обеспечить ведение процесса получения дорожных

битумов марок PG по ГОСТ Р 58400.1-2019 с учетом оборудования эстакады и парка.

В таблице 9 представлены результаты расчета ожидаемой эффективности, выполненного в модели линейного программирования (LP- модели) месячного производственного планирования предприятия, при использовании утяжеленного сырья в производстве битумов.

Таблица 9 – Сравнение рентабельности производства нефтяных битумов при увеличении глубины нефтепереработки

Наименование	Гудрон ВУ ₈₀ ≤ 100 с		Гудрон ВУ ₈₀ ≥ 150 с		Дельта
	%	т/мес	%	т/мес	
Переработка сырья					
Нефть Urals	100,00	506 893	100,00	506 893	0
Потери при обессоливании	0,01	71	0,01	71	0
ИТОГО	99,99	506 822	99,99	506 822	0
Получено в производстве					
Автомобильные бензины	20,45	103 645	21,09	106 889	3244
Дизельное топливо	34,61	175 411	35,13	178 047	2636
Фракция широкая легких углеводородов марки "Б"	1,33	6 741	1,31	6 639	-102
Серная кислота	1,72	8 717	1,76	8 920	203
Сжиженные газы	0,27	1 368	0,23	1 166	-202
Топливо нефт. тяжелое вид III	10,90	55 244	12,84	65 076	9832
Битум нефтяной дорожный	3,35	16 979	3,35	16 979	0
Мазут	24,17	122 499	21,09	106 889	-15610
Потери безвозвратные	3,20	16 218	3,20	16 218	0
БАЛАНС	100,00	506 822	100,00	506 822	0
Глубина переработки нефти	75,13	-	77,83	-	2,70
Экономический эффект, тыс. руб	-	2555827	-	2596717	40890

Рассчитанный экономический эффект складывается из увеличения производства автомобильных бензинов и дизельных топлив, топлива тяжелого

и сокращения выработки мазута с 24,17 до 21,09%. Прирост экономической эффективности переработки нефти в объеме 506,893 тыс. т составит 40,89 млн руб. в месяц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определены оптимальные диапазоны группового химического состава дорожных битумов с низкотемпературной устойчивостью минус 34 °С и температурным диапазоном эксплуатации не менее 92 °С, а также коллоидной стабильностью в интервале $I_c=0,385-0,405$: парафино-нафтяных соединений 10,90-13,22% мас., ароматических – 46,10-47,51% мас., смол 23,50-25,40% мас., асфальтенов 15,82-17,91% мас. Установлено, что заданные низкотемпературные свойства битума достигаются при окислении утяжеленных гудронов ($ВУ_{80}=150-200$ с) до критической высокой температуры $T_b=71-86$ °С при температуре окисления 230-250 °С, расходе воздуха 3 л/(мин·кг) и времени пребывания битумной массы в реакционной зоне колонны – не более 3 ч, что укладывается в допустимые типовые границы параметров производства.

2. Разработаны рецептуры получения дорожных вяжущих марки PG 58-34 по ГОСТ Р 58400.1-2019. Экспериментально подтверждено получение дорожного битума с низкотемпературной устойчивостью не менее минус 34 °С и температурным диапазоном эксплуатации не менее 92 °С при введении в окисленный битум экстракта селективной очистки масел в количестве: 12-20% мас. дистилятного или 15-24% мас. остаточного.

3. Результаты испытаний полученных образцов битумов в составе асфальтобетонных смесей показали, что основные параметры, характеризующие стабильность дорожного полотна к разрушению полностью соответствуют требованиям на горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон типа Б марок I, II и III – наиболее широко распространенный для устройства верхних слоев дорожного покрытия.

4. Предложена принципиальная технологическая схема битумного производства, включающая блоки подготовки сырья, приема и дозирования экстракта селективной очистки масел. Схема не требует значительного изменения текущей конфигурации технологического объекта. Эффективность разработанных технологических решений подтверждена результатами опытно-промышленного пробега. Постановку на производство дорожных битумных вяжущих по ГОСТ Р 58400.1-2019 на АО «Сызранский НПЗ» планируется осуществить в 2025 г.

5. Экономический эффект производства дорожных битумных вяжущих в соответствии с разработанными технологическими решениями достигается за счет увеличения производства товарных топлив и сокращения выработки мазута. Прирост экономической эффективности переработки нефти на НПЗ в объеме 507 тыс. т составит более 40 млн. рублей в месяц.

Список работ, опубликованных соискателем по теме диссертации:

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Тюкилина П. М. Способы повышения устойчивости компаундированных дорожных битумов к необратимым деформациям / П. М. Тюкилина, **О. Р. Паршукова**, О. В. Гавриленко // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2019. – № 12. – С. 18-23.
2. Исследование повышения релаксации напряжений нефтяных дорожных битумов / П. М. Тюкилина, **О. Р. Паршукова**, А. Г. Егоров, О. В. Гавриленко // Башкирский химический журнал. – 2020. – Т. 27, № 3. – С. 81-87.
3. Исследование корреляций свойств нефтяных битумов по классической системе и методологии Суперпейв / **О. Р. Паршукова**, А. Г. Егоров, А. А. Андреев [и др.] // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2020. – № 11. – С. 9-16.
4. Технология «двойного компаундирования» в производстве современных дорожных битумов / П. М. Тюкилина, А. А. Гуреев, А. А. Андреев, **О. Р. Паршукова**, А. А. Пименов // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2021. – № 5. – С. 3-8.
5. Получение современных марок дорожных битумов на утяжеленных гудронах АО «СНПЗ» / В. В. Поздняков, **О. Р. Паршукова**, Н. А. Родина, П. М. Тюкилина, Р. Е. Соловьев // Мир нефтепродуктов. – 2023. – № 3. – С. 67-74.
6. Улучшение низкотемпературной устойчивости нефтяных битумов в свете требований системы объемного проектирования автодорог / **О. Р. Паршукова**, В. В. Поздняков, А. Г. Егоров, П. М. Тюкилина, В. А. Тыщенко // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2025. – № 1. – С. 21-28.

В патенте:

7. Патент № 2729248 Российская Федерация, МПК C10C 3/04 (2006.01), C08L 95/00 (2006.01). Способ получения компаундированного дорожного битума : № 2019131286 : заявл. 02.10.2019 : опубл. 05.08.2020 / Тюкилина П. М., Егоров А. Г., **Паршукова О. Р.**, Шейкина Н. А., Тыщенко В. А. – 10 с.

В материалах научных конференций:

8. **Паршукова О. Р.** Исследование зависимости температурного диапазона эксплуатации дорожных битумов от группового химического состава сырья / О. Р. Паршукова, П. М. Тюкилина, А. А. Андреев : материалы XII научно-практической конференции «Актуальные задачи нефтегазохимического комплекса». – 21-22 ноября 2019 года, Москва : РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2020. – С. 85-86.

9. Применение параметра долговечности для оценки потери релаксационных свойств дорожных битумов / **О. Р. Паршукова**, П. М. Тюкилина, А. Г. Егоров, А. А. Андреев : материалы научно-практической конференции «Актуальные задачи нефтегазохимического комплекса». – 19-20 ноября 2020 года, Москва : РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2020. – С. 23-24.

10. Влияние параметров окисления на низкотемпературную устойчивость битумов / **О. Р. Паршукова**, П. М. Тюкилина, А. Г. Егоров, А. А. Андреев : материалы научно-практической конференции «Актуальные задачи нефтегазохимического комплекса». – 19-20 ноября 2020 года, Москва : РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2020. – С. 72-73.

11. **Паршукова О. Р.** Оценка возможности получения дорожных битумов по ГОСТ Р 58400.1-2019 на утяжелённом гудроне / О. Р. Паршукова, Н. М. Максимов, В. А. Тыщенко : материалы Семинара «Инновации и «зеленые» технологии в газохимии и нефтепереработке». – 21 декабря 2022 года, Самара : ГБУК «Самарская областная универсальная научная библиотека», 2023. – С. 69-71.

12. **Паршукова О. Р.** Возможность получения дорожных битумов PG марок при утяжелении гудронов на Сызранском НПЗ / О. Р. Паршукова, В. В. Поздняков, П. М. Тюкилина : материалы Всероссийской научной конференции «Переработка углеводородного сырья. Комплексные решения». – 5-6 октября 2023 года, Самара : ФГБОУВО «Самарский государственный технический университет», 2023. – С. 147-148.

13. Влияние газовых конденсатов, вводимых в нефтепереработку, на качество дорожных битумов PG марок / **О. Р. Паршукова**, В. В. Поздняков, А. Г. Егоров, П. М. Тюкилина : материалы XVI научно-практической конференции «Актуальные задачи нефтегазохимического комплекса». – 30 ноября 2023 года, Москва : РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2024. – С. 100-102.

14. **Паршукова О. Р.** Изучение возможности улучшения низкотемпературных свойств жесткости и ползучести дорожных битумов / О. Р. Паршукова, А. Г. Егоров, В. А. Тыщенко : материалы XIII Международной конференции «Химия нефти и газа». – 23-27 сентября 2024 года, Томск : Издательство ИОА СО РАН, 2024. – С. 274-275.

15. **Паршукова О. Р.** Обеспечение низкотемпературной устойчивости дорожных битумов в соответствии с новыми подходами к проектированию асфальтобетона / О. Р. Паршукова, В. В. Поздняков, А. Г. Егоров : материалы научно-практической конференции «Актуальные задачи нефтегазохимического комплекса». – 28 ноября 2024 года, Москва : РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2024. – С. 155-156.