

На правах рукописи

САФРОНОВ ЕГОР МИХАЙЛОВИЧ

**УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА МОТОРНЫХ ТОПЛИВ
ПРИ ИНТЕГРАЦИИ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ И
НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина»

Научный руководитель: **Капустин Владимир Михайлович**
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии переработки нефти ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»

Официальные оппоненты: **Ахметов Арслан Фаритович**
доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Академии Наук Республики Башкортостан, заведующий кафедрой технологии нефти и газа ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (ФГБОУ ВО «УГНТУ»)

Тыщенко Владимир Александрович
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химической технологии переработки нефти и газа ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

Рудко Вячеслав Алексеевич
кандидат технических наук, исполнительный директор Научного центра «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет Императрицы Екатерины II»

Защита состоится «22» апреля 2026 г. в 11⁰⁰ на заседании диссертационного совета ПДС 2022.014 при ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» по адресу: г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3, ауд. 208.

С диссертацией можно ознакомиться в Учебно-научном информационном библиотечном центре (Научной библиотеке) ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.

Объявление о защите размещено на сайтах ВАК и РУДН: <https://vak.minobrnauki.gov.ru>, <https://www.rudn.ru/science/dissovet>

Отзывы направлять по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, ПДС 2022.014.

Автореферат разослан «21» марта 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета ПДС 2022.014

Тчаро Я.А.

ОБЩАЯ ХААКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Обзор российского рынка моторных топлив показывает разнонаправленные балансы: устойчивый профицит по бензинам на фоне стагнации спроса и региональных дисбалансов; выраженную экспортную ориентацию дизельного топлива; близкую к балансовой ситуацию по авиационным керосинам при заметном промышленном потенциале роста. В этих условиях наибольший потенциал увеличения производства связан не с вводом новых мощностей, а с интеграцией нефтепереработки и нефтехимии, расширяющей компонентную базу и повышающей гибкость смесевых схем. Такая интеграция позволяет наращивать выпуск и управляемо обеспечивать качество без капиталоемкого строительства, что и определяет актуальность исследования.

Степень научной разработанности. Существенный вклад в изучение современного состояния и перспектив развития мирового и регионального рынков моторных топлив, а также в исследование технологий их производства, модернизации нефтеперерабатывающих мощностей внесли отечественные и зарубежные научно-исследовательские и отраслевые организации, а также ряд ученых-исследователей и экспертов отрасли, чьи работы отражены в обзоре литературы диссертационного исследования.

Объект исследования: низкооктановые углеводородные фракции, наиболее распространенные на НПЗ РФ, гидроочищенный керосин и легкая негидроочищенная дизельная фракция, выкипающая при температуре 240-280°C, а также нефтехимические продукты – ароматические соединения и алифатические спирты.

Предмет исследования: физико-химические и эксплуатационные свойства автомобильного бензина и топлива для реактивных двигателей.

Цель работы. Исследование и разработка рациональных способов увеличения объемов производства автомобильных бензинов и топлив для реактивных двигателей при использовании сырьевого потенциала нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслей.

В работе сформулированы и решены следующие **задачи**:

1. Исследовано влияние нефтехимических компонентов на детонационную стойкость и фракционный состав низкооктановых углеводородных фракций нефтепереработки.

2. Разработана композиция и технология производства автомобильного бензина на основе низкооктановых углеводородных фракций нефтепереработки и набора промышленно доступных ароматических углеводородов, оксигенатов и функциональных добавок.

3. Исследованы закономерности изменения смазывающей способности и содержания серы в различных формах в прямогонных узких дизельных фракциях с целью выбора оптимальной из них для вовлечения в состав авиационных керосинов.

4. Разработана композиция и технология производства топлива для реактивных двигателей марки Джет А-1 из базового гидроочищенного компонента керосинов и узкой дизельной фракции без использования противоизносной присадки.

Научная новизна:

1. Выявлен экстремальный характер скорости выкипания смесей углеводородов с высшими спиртами С₃-С₄ и простым эфиром С₅, связанный с явлением азеотропии и позволяющий неаддитивно изменять летучесть автомобильных бензинов как в сторону увеличения в случае спиртовых компонентов, так и в сторону уменьшения в случае эфира.

2. Показана более высокая антидетонационная эффективность изопропилбензола по сравнению с толуолом в составе низкооктановых углеводородных фракций в диапазоне концентрация от 10 до 40% масс.: на 4,0-5,7 по ОЧИсм и на 8,5-14,0 по ОЧМсм, при более высоком октановом числе толуола в чистом виде по обоим методам.

3. Впервые исследовано влияние узкой прямогонной фракции дизельного топлива на эксплуатационные характеристики гидроочищенного компонента топлива для реактивных двигателей и выявлена лимитная

концентрация ее вовлечения, при которой достигается соответствие топливной композиции требованиям к марке Джет А-1 по ГОСТ 32595.

Теоретическая и практическая значимость:

1. Определены смесевые характеристики по октановым числам смешения по исследовательскому и моторному методам для нефтехимических компонентов – изопропилбензола, толуола, изопропанола, изобутанола, метил-трет-бутилового эфира – в составе низкооктановых парафиновых углеводородных баз и выявлены закономерности их изменения в диапазонах концентраций от 10 до 40% масс. для ароматических углеводородов и до 3,7% масс. по кислороду.

2. Показаны профили выкипания различных оксигенатов в составе автомобильных бензинов и предложен механизм влияния эффекта азеотропии на фракционный состав топлива, с помощью которого было выявлено, что реальная температура кипения спиртов в составе бензинов находится ниже температуры кипения чистых спиртов – примерно на 5°C для изопропилового спирта и на 10°C для изобутилового – и зависит от температуры их выкипания.

3. Определены закономерности изменения смазывающей способности узких прямогонных дизельных фракций от температуры их выкипания и содержания в них общей и меркаптановой серы, а также влияние данных фракций на смазывающую способность смесевое керосина, состоящего не менее чем из 80% гидроочищенной керосиновой фракции и не содержащего противоизносных присадок.

4. Разработана топливная композиция высокооктанового автомобильного бензина АИ-92-К5 с содержанием кислорода до 2,7% и до 3,7% из низкооктановых фракций нефтепереработки и нефтехимических компонентов следующего состава (% масс.): низкооктановые фракции – 46-52, ароматические углеводороды (толуол, изопропилбензол) – 34-38, октаноповышающая присадка ЦРПП 3014 – 10-18, октаноповышающая присадка ЦРПП 3012 – до 1,3.

5. Предложена технологическая концепция получения топлива для реактивных двигателей марки Джет А-1 по ГОСТ 32595 путем смешения

прямогонной узкой дизельной фракции и гидроочищенного компонента керосина для марок ТС-1 и РТ по ГОСТ 10227-86 и без использования противоизносной присадки.

6. Предложен метод регулирования фракционного состава автомобильных бензинов путем использования в качестве высокооктановых оксигенатов высших спиртов С₃-С₄, позволяющих увеличивать летучесть топлив по точкам И70 и И100 за счет образования азеотропов с углеводородами.

Методология и методы исследования основывались на анализе отечественной и зарубежной научно-технической литературы, и нормативно-технической документации, посвященной высокооктановым бензинам и топливам для реактивных двигателей.

Исследование физико-химических и эксплуатационных свойств топливных композиций осуществлялось стандартными методами испытаний (ГОСТ, ASTM, СТО и пр.), на современном аналитическом оборудовании.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты исследований влияния нефтехимических компонентов – изопробилбензола, толуола, изопропанола, изобутанола, метил-трет-бутилового эфира – на изменение детонационной стойкости низкооктановых углеводородных фракций.

2. Экстремальная зависимость скорости выкипания бензиновых смесей углеводородов с высшими спиртами С₃-С₄ и простым эфиром С₅, связанная с эффектом азеотропии.

3. Результаты испытаний физико-химических и эксплуатационных свойств автомобильного бензина, полученного на основе низкооктановых углеводородных фракций нефтепереработки и нефтехимических компонентов, на предмет соответствия требованиям к автомобильному бензину АИ-92-К5 по ГОСТ 32513.

4. Результаты исследований влияния узкой прямогонной фракции дизельного топлива на эксплуатационные характеристики гидроочищенного

компонента топлива для реактивных двигателей в объеме требований ГОСТ 32595 и отдельных методов квалификационной оценки топлив.

5. Разработанная технологическая концепция получения топлива для реактивных двигателей марки Джет А-1 по ГОСТ 32595 путем смешения прямогонной узкой дизельной фракции и гидроочищенного компонента керосина для марок ТС-1 и РТ по ГОСТ 10227-86 и без использования противоизносной присадки.

Степень достоверности результатов подтверждена систематическим характером исследования, необходимым объемом результатов экспериментов, полученных в лабораторных условиях с применением современного оборудования и с использованием стандартизированных методов испытаний, а также высокой сходимостью результатов исследований.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 5 печатных работ в научных изданиях в соответствии с перечнем ВАК Минобрнауки России; опубликовано 2 тезиса докладов на научных конференциях в России.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и обозначений, списка использованной литературы из 120 наименований, 1 приложения. Общий объем диссертационной работы включает 126 страниц печатного текста, в том числе 40 рисунков и 28 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель и основные задачи исследования, показана новизна и практическая значимость проведенных исследований.

В главе 1 представлен обзор современного состояния рынков и технологий основных моторных топлив. Показано, что в России сформировались устойчивые, но различающиеся по характеру балансы: по

автомобильным бензинам – незначительный профицит на фоне постоянного внутреннего спроса и региональных и сезонных дисбалансов, по дизельному топливу – выраженная экспортная ориентация с крупным положительным сальдо, по авиационным керосинам – близкая к балансовой ситуация при значительном промышленном потенциале роста выпуска. Ввод и модернизация установок вторичных процессов (каталитический крекинг, каталитический риформинг, изомеризация, алкилирование, гидроочистка, гидрокрекинг, замедленное коксование) до 2030 г. создают задел для наращивания производства светлых нефтепродуктов, при этом устойчивость внутренних балансов определяется не столько введением новых мощностей, сколько логистикой и востребованностью продукции на внешних рынках.

Для автобензинов показана ресурсная возможность повышения объемов производства высокооктанового бензина за счет формирования композиций на основе низкооктановых фракций с вовлечением высокооктановых компонентов нефтехимического происхождения. Обоснована необходимость проведения исследований влияния компонентного состава на детонационную стойкость и остальные показатели качества автобензина для определения рациональных диапазоны концентраций компонентов товарного бензина марок АИ-92-К5 и АИ-95-К5. По дизельному топливу модернизация и перераспределение потоков ведут к приросту выпуска и росту доли продукта экологического класса К5. Внутренний рынок остается профицитным, а экспортные поставки зависят от перенастройки направлений сбыта и регуляторной среды на целевых рынках. Одновременно возрастает значимость депрессорно-диспергирующих присадок и низкотемпературной надежности, что отражает климатические и логистические особенности страны.

Для авиационных топлив выявлено расхождение между промышленным потенциалом и фактическим выпуском: при преобладании на внутреннем рынке марок ТС-1/РТ сохраняется возможность расширения

производства топлива марки Джет А-1, востребованного на экспорт. С учетом ограничений на поставки в Россию международно-сертифицированных противоизносных присадок обоснована необходимость разработки композиций реактивного топлива марки Джет А-1 без противоизносной присадки за счет корректного подбора узких фракций негидроочищенных дистиллятов при соблюдении требований нормативной документации.

Таким образом, наибольший потенциал увеличения производства моторных топлив связан не только с вводом новых мощностей, но и с интеграцией нефтепереработки и нефтехимии, которая расширяет компонентную базу и повышает гибкость смесевых схем. Выявлены два наиболее перспективных продуктовых направления для разработки новых технологических решений для повышения объемов производства продукции – автобензин и реактивное топливо.

В главе 2 охарактеризованы объекты исследования – углеводородные фракции с промышленных установок, оксигенаты и функциональные добавки. Для всех объектов исследований приведены основные показатели качества. Представлены методы исследования, используемые в работе.

В главе 3 приведены результаты исследования и разработки технологических решений по увеличению производства автомобильного бензина.

Наиболее популярными в России высокооктановыми компонентами, вырабатываемыми на нефтехимических предприятиях, являются метил-трет-бутиловый (МТБЭ) и метил-трет-амиловый эфиры (МТАЭ/ТАМЭ), при этом МТБЭ занимает доминирующее положение на данном рынке. До 2016 года был распространен N-метилянлин. На российском рынке МТБЭ в настоящее время наблюдается сведенный до минимума профицит торгового баланса и рост цен темпами, опережающими динамику цен на бензин. Указанные тенденции безусловно негативно отражаются на цене на моторное топливо и требуют альтернативных решений, в том числе по

применению других высокооктановых компонентов. Рассмотрены нефтехимические компоненты, имеющие наибольший потенциал применения в составе автомобильного бензинов и разрешенные в соответствии с Техническим регламентом таможенного союза (ТР ТС 013/2011): ароматические углеводороды (толуол и кумол), биоэтанол, ароматические амины и компоненты на основе высших спиртов C₃ и C₄. Проведена сравнительная оценка (таблица 1) указанных компонентов по параметрам: октановое число смешения, рыночная цена и удельная стоимость повышения ОЧИ бензина. В качестве примера добавки на основе изопропилового спирта приведен компонент высокооктановый ЦРПП 3014, представляющий собой абсолютированный изопропанол с добавлением композиции функциональных присадок, обеспечивающих защиту металлических деталей топливной системы от коррозии и приданию бензину дополнительных противоизносных свойств, а в качестве ароматического амина – компонент ЦРПП 3012 на основе стабилизированных толуидинов. Показано, что рассматриваемые октаноповышающие компоненты располагаются в следующем порядке по убыванию эффективности: N-метиланилин > ЦРПП 3012 > биоэтанол > ЦРПП 3014 > МТБЭ > кумол > изобутанол > толуол > ксилолы.

Таблица 1 – Эффективность октаноповышающих добавок

Наименование показателя	МТБЭ	МТАЭ	ЦРПП 3014	ИБС	Биоэтанол	Толуол	Кумол	N-МА	ЦРПП 3012	О-ксилл	М-ксилл	П-ксилл
Среднее октановое число смешения по ИМ, ед.*	118	106	121	112	125	114	112	350	320	113	115	116
Требуемая концентрация для повышения ОЧИ на 1 ед., % масс.	3,6	6,3	3,2	4,5	2,9	4,2	4,5	0,4	0,4	4,3	4,0	3,8

Продолжение таблицы 1

Наименование показателя	МТБЭ	МТАЭ	ЦРП 3014	ИБС	Биоэтанол	Толуол	Кумол	N-МА	ЦРП 3012	О-ксилол	М-ксилол	П-ксилол
Рыночная цена с учетом НДС и доставкой на НПЗ Поволжья, тыс. руб./т (август 2023 год.)	95	90	82	90	85	83	75	190	210	100	92	115
Удельная стоимость повышения ОЧИ на 1 ед., руб./т	2321	3750	1677	2727	1571	2208	2045	615	783	3043	2480	3269
Примечание: Приведены средние ОЧИ смешения в базовом бензине с ОЧИ не менее 90 при концентрации компонентов и добавок, обеспечивающей прирост ОЧИ не менее 3 ед.												

Получение дополнительного объема высокооктанового бензина возможно за счет использования широкой линейки описанных высокооктановых компонентов и низкооктановых фракций нефте- и газохимических предприятий, а также НПЗ, не имеющих вторичных бензиновых процессов. Это касается прямогонных гидроочищенных бензинов, рафинатов, нефти гидрокрекинга с крупных НПЗ, а также малосернистых бензинов газовых стабильных с газоперерабатывающих предприятий и заводов по переработки газовых конденсатов. Возможность получения товарных бензинов по предложенной технологической концепции изучена в данной главе. В качестве низкооктановых фракций выбраны наиболее распространенные на НПЗ РФ варианты: бензины газовые стабильные (фракция НК-170°C и НК-130°C), гидроочищенная нефть (НК-130°C), легкий и тяжелый бензины процессы гидрокрекинга (НК-100°C и 100-130°C соответственно). БГС с более узким фракционным составом НК-130°C обладает гораздо более высокой детонационной характеристикой, чем широкофракционный прямогонный бензин НК-

170°C. Разница между октановыми числами данных типов базовых углеводородных компонентов настолько велика, что получение автобензинов АИ-92-К5 с учетом ограничений по доле ароматики и оксигенатов невозможно при использовании фракции НК-170°C. Кроме того, у более широкой фракции наблюдается слишком высокое содержание серы, которое не получится снизить до уровня К5 смешением, а также низкое значение упругости паров – ДНП лишь незначительно превышает минимальный порог. В связи для разработки рецептур использована только одна фракций бензина газового стабильного. В роли первичного списка октаноповышающих компонентов был выбран набор ароматических и кислородсодержащих компонентов, представленный в таблице 1. Однако не все представленные в таблице компоненты использованы в экспериментальной части работы. По параметрам низкой октаноповышающей эффективности и/или высокой стоимости было принято решение не использовать в рамках работы ксилолы (все изомеры). Кроме перечисленных компонентов бензинов для повышения детонационной стойкости использована наиболее эффективная октаноповышающая добавка на основе ароматических аминов, разрешенных для применения в РФ.

Исследованы композиции смеси гидроочищенной нефти с различными ароматическими соединениями и оксигенатами, для которых было определены октановые числа по исследовательскому и моторному методам, а также рассчитаны смесевые характеристики. Результаты исследования антидетонационной стойкости ароматических углеводородов (толуола и изопропилбензола) представлены в таблице 2 (натуральные значения октановых чисел) на рисунке 1 (октановые числа смешения), а оксигенатов в таблице 3 и на рисунке 2.

Для ароматических углеводородов на всем исследованном диапазоне большее октановое число смешения по обоим методами имеет изопропилбензол. Разница ОЧИсм компонентов колеблется в районе 4-6

единиц, а по ОЧМсм достигает 14 при среднем значении около 10. Данные результаты не согласуются с известными литературными данными по детонационной характеристике чистых компонентов и показывает, что в целях получения высокооктановых бензинов из низкооктановых фракций значительно большей эффективностью обладает изопропилбензол. Из анализа кривых на рисунке 1 также можно увидеть разницу в динамике изменения смесевых характеристики ароматических углеводородов в зависимости от концентрации. Для исследовательского метода виден явный тренд на увеличение октанового числа смешения при росте концентрации компонента. При этом по моторному методу данный эффект не проявляется. Смесевая характеристика остается примерно на одном уровне с небольшим экстремумом антидетонационной эффективности при 20%.

Таблица 2 – Октановые число смесей нафта-толуол и нафта-ИПБ при разных концентрациях ароматических компонентов

Массовая доля ароматического углеводорода		0%	10%	20%	30%	40%
ОЧИМ	Толуол	63,0	67,0	71,6	76,0	81,4
	Изопропилбензол	63,0	67,4	72,4	77,7	83,4
ОЧММ	Толуол	60,6	64,6	70,1	72,7	77,0
	Изопропилбензол	60,6	65,7	71,8	76,9	81,9

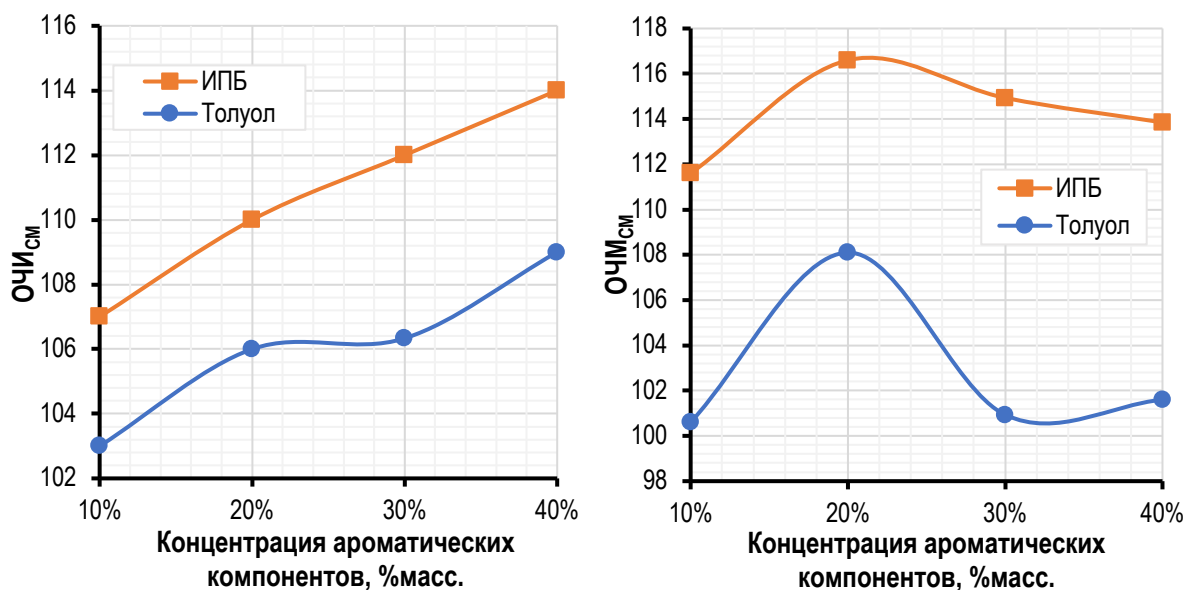


Рисунок 1 – Изменение исследовательского (а) и моторного (б) октанового числа смешения в зависимости от концентрации ароматических углеводородов

Аналогичные исследования для смесей нафта-оксигенат позволили установить, что изученные компоненты характеризуются сильно отличающимися смесевыми характеристиками особенно по исследовательскому методу, по которому наиболее эффективными являются спиртовые оксигенаты – в особенности ЦРПП 3014 на основе изопропанола. Кроме того, определено, что существенно меньшей эффективностью характеризуется МТАЭ, поэтому в рамках дальнейшей разработки композиции данный оксигенат не используется.

Таблица 3 – Октановое число смесей нафта-оксигенат при разных концентрациях компонентов

Массовая доля оксигенатов		0%	5%	10%	13%	15%	22%
ОЧИМ	ЦРПП 3014 (ИПС)	63	67,11	70,84	72,90	-	-
	ИБС	63	66,81	70,43	-	73,88	-
	МТБЭ	63	66,26	69,72	-	72,83	77,60
	МТАЭ	63	65,67	68,36	-	71,27	75,36
ОЧММ	ЦРПП 3014 (ИПС)	60,6	63,71	67,16	69,39	-	-
	ИБС	60,6	63,53	66,38	-	69,19	-
	МТБЭ	60,6	63,91	67,15	-	70,35	74,69
	МТАЭ	60,6	63,51	66,52	-	69,53	73,91

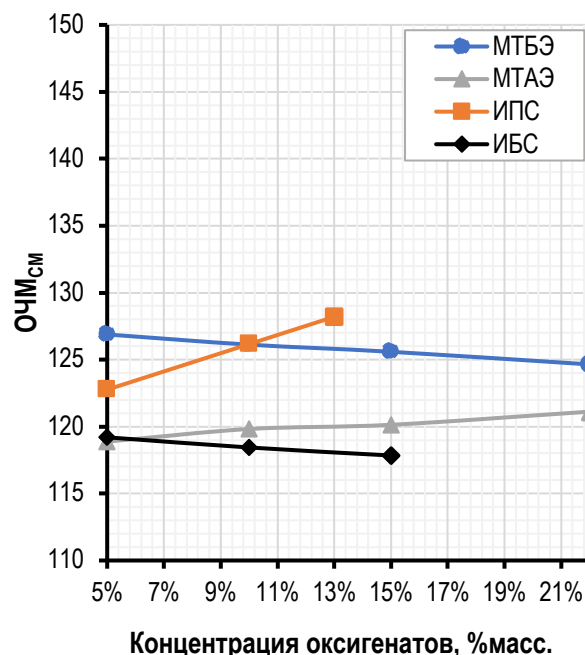
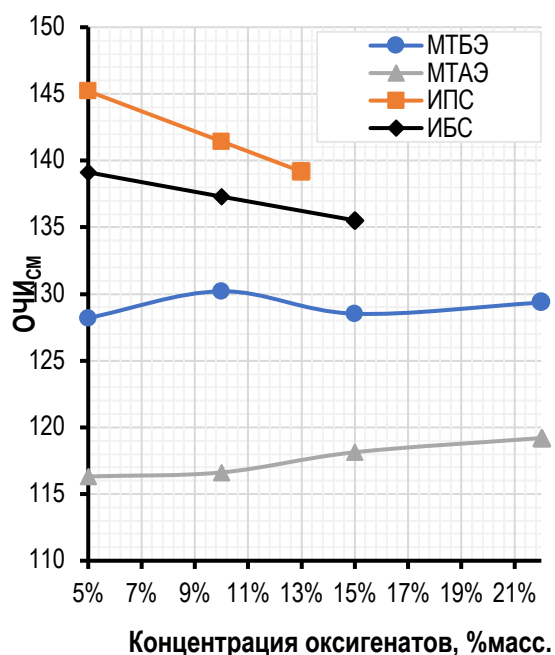


Рисунок 2 – Изменение исследовательского (а) и моторного (б) октанового числа смешения в зависимости от концентрации оксигенатов

Совокупность полученных результатов позволила выстроить исследуемые компоненты по их антидетонационной эффективности по исследовательскому методу в составе низкосернистой низкооктановой нефти в следующий ряд: изопропиловый спирт > изобутиловый спирт > МТБЭ > МТАЭ.

Для разработки композиции автобензина АИ-92-К5 на основе низкооктановых фракций изучено влияния различных оксигенатов на октановое число смеси нефти и изопропилбензола (как наиболее эффективного ароматического компонента) в концентрации 36% масс (или 31,8 % об). В смесь также был введен компонент ЦРПП 3012 (на основе смеси толуидинов) в концентрации 1,3% масс. С учетом предварительного моделирования задачей исследования стало достижение уровня детонационной стойкости для бензина АИ-92-К5 – не менее 92 по исследовательскому методу и не менее 83 по моторному. Результаты представлены на рисунке 8 и 9. Из представленных данных следует, что получение бензина марки АИ-92-К5 на основе изопропилового спирта в его максимальной концентрации (норма в бензине – не более 10% об. согласно ТР ТС 013/2011) возможно при небольшом увеличении доли ароматического компонента – до 37-38% масс (или 32,7-33,7% об.) или при переходе на выпуск бензинов с повышенной долей кислорода (3,7% масс. в соответствии с нормами Всемирной топливной хартии). В ходе исследования подтверждена более низкая эффективность МТБЭ по сравнению с изопропанолом, для достижения ОЧИ 92 необходимо не менее 12% масс. МТБЭ, против 11% для ИПС. Для изобутанола достижения целевого октанового числа возможно только при расширении допустимой концентрации до 15%, что соответствует перспективной доли кислорода – не более 3,7%.

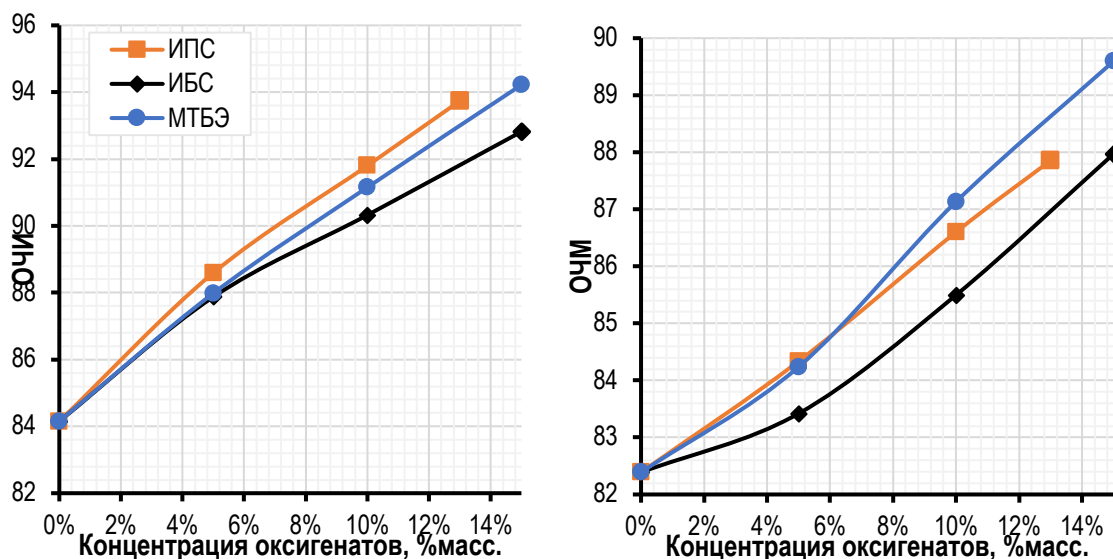


Рисунок 3 – Изменение исследовательского (а) и моторного (б) октанового числа смесей нафта + 36 % масс. ИПБ + 1,3% масс. ЦРПП 3012 + оксигенат от концентрации оксигената

Из-за своей неуглеводородной природы предлагаемые к использованию оксигенаты нелинейно влияют на фракционный состав топлив. На рисунке 4 представлены результаты определения фракционного состава различных смесей нафты, изопропилбензола, ЦРПП 3012 и трех выбранных оксигенатов. Для корректного сравнения нелинейных изменений фракционного состава стандартные кривые изменения доли отгона бензина от температуры были отформатированы в вид, представленный на рисунках 5-7.

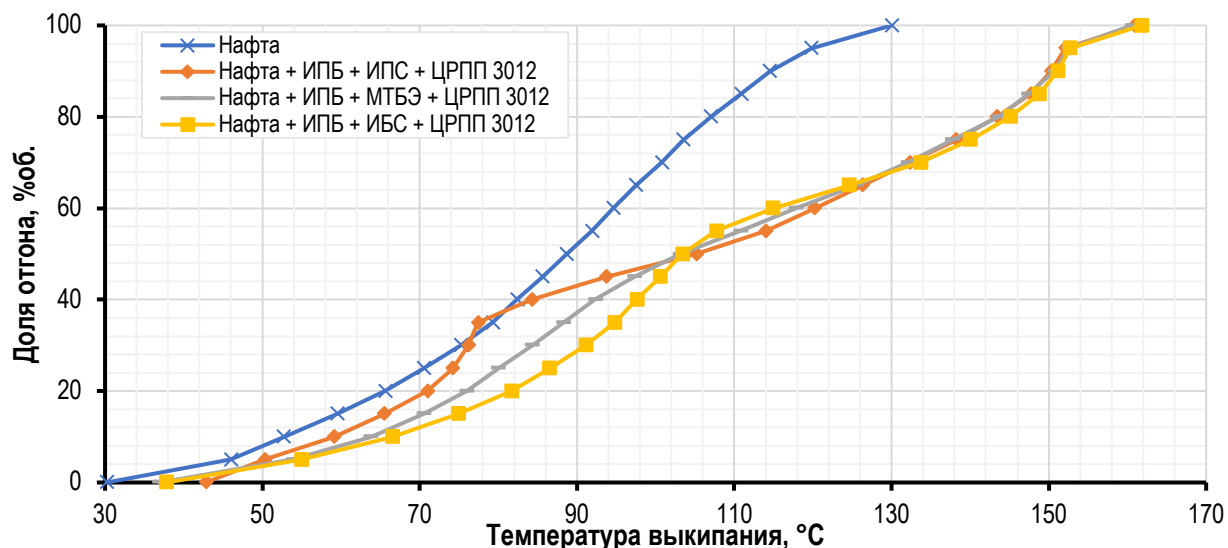


Рисунок 4 – Фракционный состав исследуемых композиций

Здесь на оси ординат представлена не доля отгона, а изменение доли отгона за градус, которое с математической точки зрения является производной по температуре, а с физической показывает долю бензина, выкипающего в конкретный интервал, величиной в 1 градус.

Наиболее нелинейное изменение фракционного состава бензина можно заметить у смеси, содержащей изопропиловый спирт (ЦРПП 3014). На рисунке 5 представлен температурный профиль выкипания бензина, содержащего 52,7% нефти, 36% изопропилбензола, 10% ИПС и 1,3% ЦРПП 3012, а также эти же компоненты, но кипящие независимо друг от друга с учетом доли их вовлечения. В случае полного отсутствия межмолекулярного взаимодействия между компонентами профиль кипения бензина должен состоять из аддитивного наложения профилей кипения всех его компонентов, однако на практике так не происходит. Профиль выкипания бензина практически не имеет ничего общего с профилем кипения ключевого компонента – нефти.

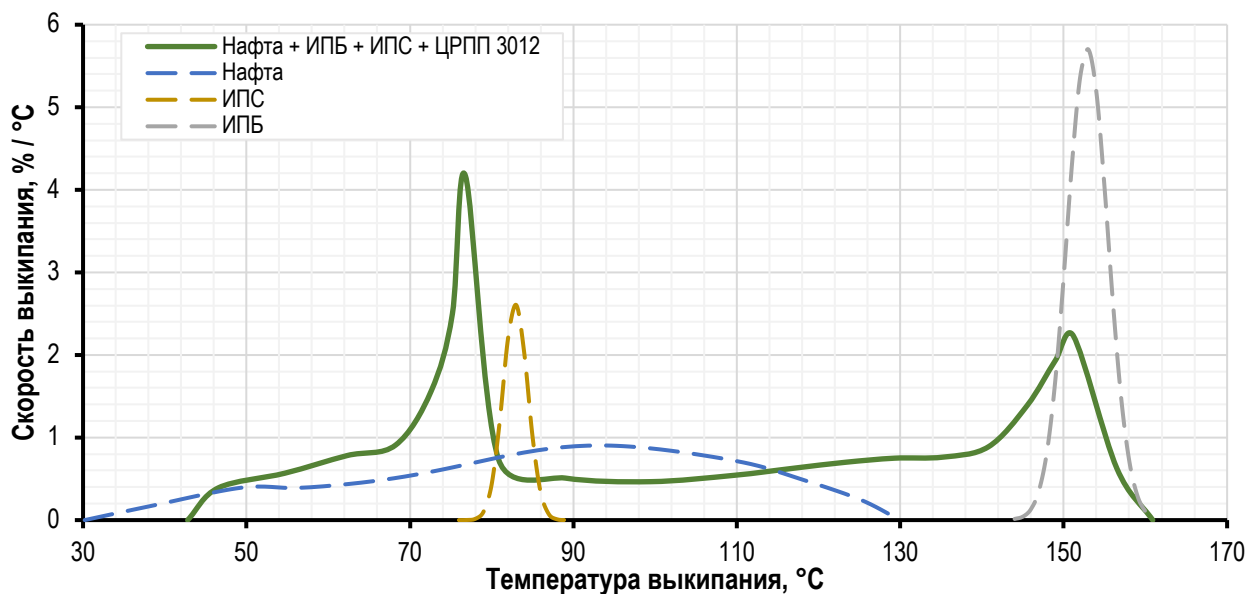


Рисунок 5 – Скорость выкипания топливной композиции с ИПС

До 80°C наблюдается значительное превосходство объема выкипающего бензина над ожидаемым количеством нефти, а после 80°C, напротив, явный провал в объеме выкипающей фракции. Максимум скорости кипения на графике находится на уровне 77°C, при этом чистый

изопропанол кипит при 82°C . То есть выкипанием данного компонента нельзя объяснить наличие такого явного экстремума. Кроме того, объем бензина, выкипающий до 80°C , превышает не только количество фракции нефти НК- 80°C , но и её суммы с изопропиловым спиртом.

С учетом всех вышеописанных фактов наиболее вероятной причиной данного экстремального изменения скорости выкипания является образование азеотропов между изопропиловым спиртом и углеводородами нефти. Данные азеотропы с углеводородами, кипящими раньше 80°C , приводят к существенному увеличению содержания фракции НК- 70°C – на графике видно, что скорость выкипания бензина существенно превышает показатель нефти в этом интервале. В более высококипящей области также происходит межмолекулярное взаимодействие компонентов смеси, благодаря чему отсутствует провал между 130 и 150°C , где ни компоненты нефти ни изопропилбензол кипеть не должен.

Эффект положительной азеотропии характерен и для другой топливной композиции, в состав которой вошли 52% нефти, 11,7% изобутилового спирта, 35% изопропилбензола и 1,3% ЦРПП 3012. Профиль выкипания описываемого бензина приведен на рисунке 6.

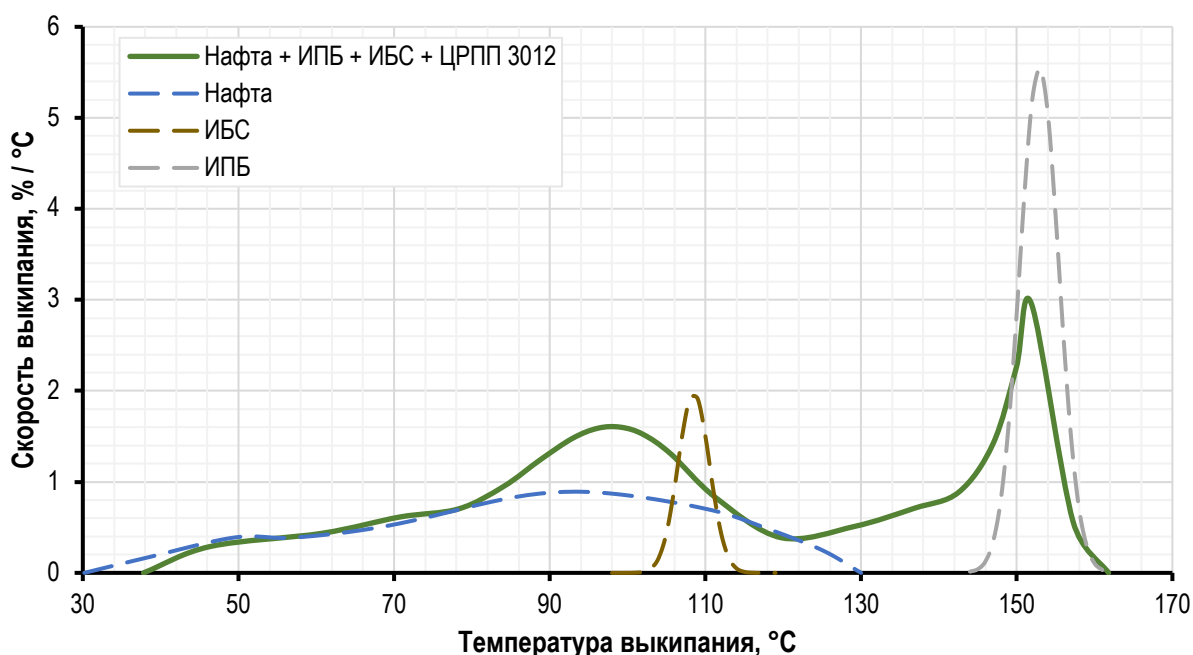


Рисунок 6 – Скорость выкипания топливной композиции с ИБС

Образующийся между изобутиловым спиртом и углеводородами, содержащимися в нефти, азеотроп выкипает на отметке 100°C , что ниже характерной для чистого изобутилового спирта точки кипения в 108°C . Аналогично другим образцам бензинов, провал в зоне $130\text{-}150^{\circ}\text{C}$ не наблюдается

Из представленных данных видно, что в составе товарного бензина смесевые компоненты обладают способностью значительно менять фракционный состав всего бензина. За счет эффекта азеотропии существенно растет доля легкокипящих фракций, что не наблюдается в случае эфира (МТБЭ), для которого, однако также нарушается аддитивность: исчезает характерный провал в зоне $130\text{-}150^{\circ}\text{C}$, а пик, связанный с выкипанием эфира, смещается к $88\text{-}90^{\circ}\text{C}$ – позже, чем у чистого МТБЭ. Профиль кипения бензина с данным оксигенатом приведен на рисунке 7.

В совокупности полученные результаты показывают, что спирты за счет явления азеотропии увеличивают долю легкокипящих фракций, а простой эфир смещает кипение к более высоким температурам, а обе группы компонентов сглаживают провал $130\text{-}150^{\circ}\text{C}$ – фактор, который необходимо учитывать при подборе рецептур.

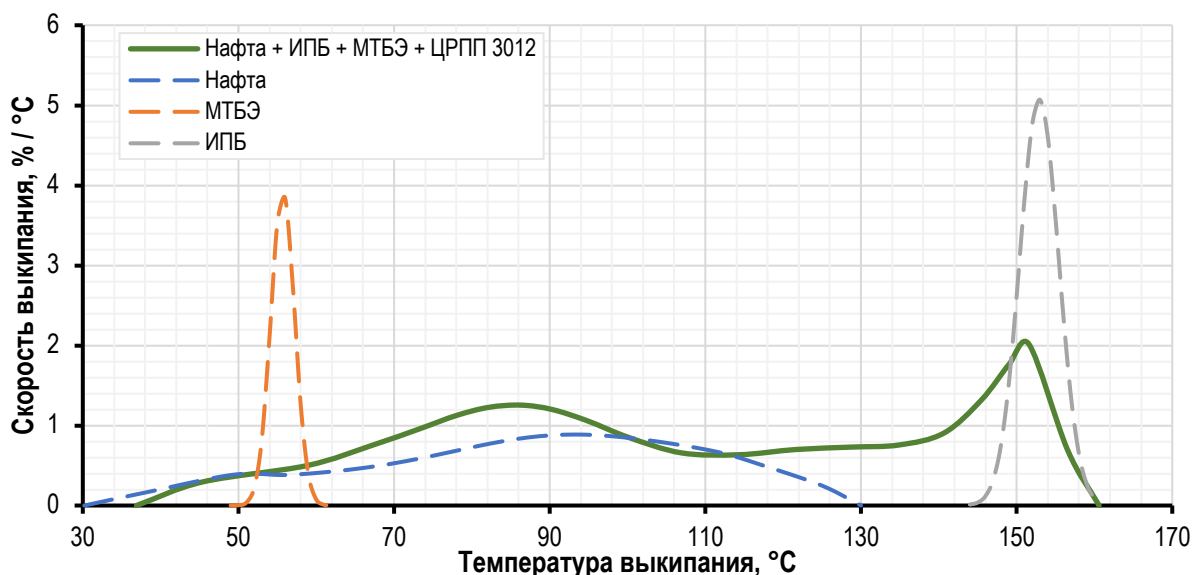


Рисунок 7 – Скорость выкипания топливной композиции с МТБЭ

С учетом проведенных исследований детонационной стойкости различных октаноповышающих компонентов и их температурных пределов выкипания были разработаны четыре оптимальные композиции, состав которых представлен в таблице 7:

1. На основе гидроочищенной нефти, ИПБ, ИПС и ЦРПП 3012;
2. На основе БГС, легкого бензина ГК, ИПБ, МТБЭ и ЦРПП 3012;
3. На основе легкого и тяжелого бензинов гидрокрекинга, толуола, ИБС и МТБЭ;
4. На основе гидроочищенной нефти, ИПБ и ИПС.

При составлении высокооктановых бензинов на основе низкооктановых фракций помимо детонационной стойкости значимой научно-технической задачей является поддержание на должном уровне летучести топлив (ДНП и точки И70). В случае композиций 1 и 4 данная проблема решается благодаря описанному выше неаддитивному влиянию изопропанола на фракционный состав, но для композиций 2 и 3 из-за менее эффективных в данном плане оксигенатов: изобутанола и МТБЭ пришлось прибегнуть к добавлению легколетучего углеводородного компонента, в роли которого был выбран легкий бензин гидрокрекинга. Отдельно стоит отметить, что композиции 3 и 4 составлены в соответствии с перспективными требованиями по содержанию кислорода – не более 3,7% масс., что позволило отказаться от использования в их составе ароматического амина. Предложенные композиции высокооктановых бензинов были исследованы по требованиям ГОСТ 32513 и ТР ТС 013/2011. Составы разработанных композиций бензина АИ-92-К5 и результаты испытаний представлены в таблице 4 и 5.

Таблица 4 – Составы разработанных композиций бензина АИ-92-К5

№ п/п	Наименование компонента	Содержание компонента в образце, % масс.			
		1	2	3	4
1	Нафта гидроочищенная	51,7	-	-	48,0
2	Бензин газовый стабильный	-	40,2	-	-
3	Легкий бензин гидрокрекинга	-	10,0	31,0	-
4	Тяжелый бензин гидрокрекинга	-	-	15,0	-
5	Изопропилбензол	37,0	34,0	-	38,0
6	Толуол	-	-	36,0	-
7	Изопропиловый спирт (ЦРПП 3014)	10,0	-	-	14,0
8	Изобутиловый спирт	-	-	10,0	-
9	МТБЭ	-	14,5	8,0	-
10	ЦРПП 3012	1,3	1,3	-	-
ИТОГО компонентов		100,0	100,0	100,0	100,0

Таблица 5 – Результаты испытаний финальных композиции бензина АИ-92-К5 на соответствие требованиям ГОСТ 32513 и ТР ТС 013/2011

№ п/п	Наименование показателя	Требования		Результаты испытания			
		ТР ТС 013/2011	ГОСТ 32513				
1	Октановое число по исследовательскому методу	80	92	92,3	92,6	92,3	92,1
		76	83	86,7	88,8	89,2	86,9
	Октановое число по моторному методу						
2	Концентрация смол, промытых растворителем, мг/100 см ³ , бензина, не более	-	5	1,0	1,0	1,0	1,0
3	Индукционный период бензина, мин, не менее	-	360	более 360	более 360	более 360	более 360
4	Массовая доля серы, мг/кг, не более	10	10	2,78	7,10	2,34	2,64
5	Объемная доля бензола, %, не более	1	1	0,2	0,3	0,5	0,2
6	Объемная доля углеводородов, %, не более: -ароматических -олефиновых	35	35	34,0	31,6	33,0	33,6
		18	18	2,1	1,7	1,2	2,0
7	Массовая доля кислорода, %, не более	2,7	2,7	2,7	2,6	3,6	3,7
8	Испытание на медной пластинке (3 часа при 50°)	-	Класс 1	Класс 1	Класс 1	Класс 1	Класс 1
9	Внешний вид	-	Чистый, прозрачный	Чистый, прозрачный	Чистый, прозрачный	Чистый, прозрачный	Чистый, прозрачный
10	Плотность при 15 °С, кг/м ³	-	725,0-780,0	770,4	766,6	775,6	772,8
11	Давление насыщенных паров, кПа, в пределах	35-100	35-100	38,6	37,6	45,4	36,7
12	Фракционный состав: - объемная доля исп. бензина, при температуре: 70 °С (И70), % 100 °С (И100), % 150 °С (И150), %, не менее - конец кипения, °С, не выше - остаток в колбе, % (по объему), не более	-					
			15-50	16,5	15,4	22,3	18,2
			40-70	41,3	54,2	50,5	42,3
			75	92,0	93,7	99,0	91,9
			215	161,0	162,2	133,8	159,5
	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
13	Максимальный индекс паровой пробки (ИПП)	-	1350	501,5	483,8	610,1	494,4

По результатам исследований по полному перечню показателей было выявлено, что для разработанных композиций 1 и 2 не наблюдается проблемы с удовлетворением требований ГОСТ 32513. Топлива 3 и 4 имеют повышенное содержание кислорода (3,6-3,7% масс.), однако в перспективе

ожидается увеличение верхней границы допустимого содержания кислорода в топливах с 2,7 до 3,7% масс., что позволит производителям осуществлять выпуск бензинов с данными рецептурами.

Для оценки эксплуатационных свойств разработанных композиций бензинов требованиям автомобильной техники были проведены сравнительные моторно-стендовые испытания на двигателе ВАЗ-21124 товарного бензина марки АИ-92-К5 с одного из НПЗ и опытного АИ-92-К5, полученного по рецептуре №1. Согласно полученным результатам сделан вывод, что по мощностным, экономическим и экологическим показателям работа двигателя на опытном бензине не уступает товарному топливу. Таким образом, по результатам проведенных исследований и испытаний разработана, испытана и опробирована в промышленности топливная композиция высокооктанового автомобильного бензина АИ-92-К5 с содержанием кислорода до 2,7% и до 3,7% из низкооктановых фракций нефтепереработки и нефтехимических компонентов следующего состава (% масс.): низкооктановые фракции – 46-52, ароматические углеводороды (толуол, изопробилбензол) – 34-38, изопропанол (ЦРПП 3014) – 10-18, высокооктановый компонент ЦРПП 3012 – до 1,3.

В главе 4 приведены результаты исследования и разработки технологических решений по увеличению производства реактивного топлива.

Выпуск реактивных топлив составляет около 4% от объема первичной переработки нефти преимущественно российских марок ТС-1 и РТ. Реактивные топлива вырабатываются преимущественно из среднестиллятных фракций нефти, выкипающих в температурном диапазоне 130-280 °С. По способу получения топлива для реактивных двигателей делят на прямогонные, гидрогенизированные и смесевые. Прямогонные реактивные топлива получают непосредственно из фракций нефти (150-250 °С) без их глубокой обработки. Производство гидрогенизационных топлив включает гидроочистку прямогонных фракций

или гидрокрекинг. Смесевые топлива получают путем компаундирования прямогонных и гидрогенизированных.

Как уже было упомянуто ранее, производство авиационного керосина в 2021 году составило 11,8 млн. тонн, с долей экспорта 21,3%. Учитывая, что в мире доля авиакеросина составляет порядка 6,9% и его большую маржинальность относительно других моторных топлив, актуальным является разработка новых технологических решений по увеличению объемов производства авиатоплива международной марки Джет А-1.

В работе исследован и обоснован в качестве одного из способов увеличения выпуска авиатоплива Джет А-1 - использование узкой фракции 240-280 °С негидроочищенных дистиллятов в поток гидроочищенного керосина. Такой подход повышает выход при сохранении требуемых показателей по конечной температуре кипения и плотности топлива для данной марки.

Следует учитывать, что керосины, полученные исключительно глубокой гидроочисткой, как правило, содержат минимальные количества полярных гетероатомных соединений: это облегчает выполнение требований по кислотности, содержанию меркаптановой и общей серы, но при этом нередко снижает смазывающую способность (из-за удаления поверхностно-активных компонентов) и в ряде случаев чувствительно влияет на термоокислительную стабильность. В этой связи умеренное «утяжеление» гидроочищенного керосина узкой прямогонной фракцией 240-280 °С способно одновременно вернуть часть полярных компонентов, повышающих смазывающую способность (что позволяет обойтись без вовлечения дорогостоящей импортной противоизносной присадки), и скорректировать плотность. При этом критично соблюдать ограничения по высоте некопящего пламени, температуре конца кипения, содержанию серы и особенно по температуре застывания.

С учетом различного влияния сероорганических соединений на смазывающую способность реактивного топлива проведены оценка влияния

фракционного состава на содержание общей и меркаптановой серы (рисунок 8), а также на диаметр пятна износа по методу BOCLE (таблица 6).

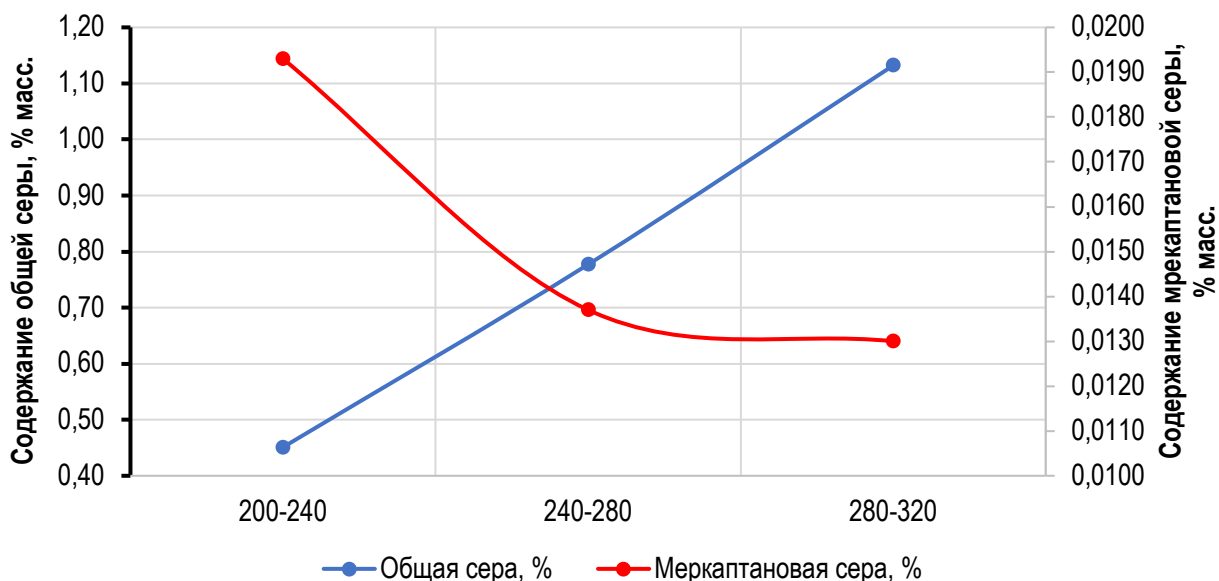


Рисунок 8 – Изменение содержания общей и меркаптановой серы по диапазонам кипения дистиллятных фракций

Таблица 6 – Изменение смазывающей способности по диапазонам кипения дистиллятных фракций

Температура выкипания фракции, °C	Диаметр пятна износа по BOCLE, мм
200-240	0,69
240-280	0,62
280-320	0,53

Показано, что по мере перехода от легкой к более тяжелой фракции (200-240 → 240-280 → 280-320 °C) с ростом содержания общей серы, снижается доля меркаптановой серы и уменьшается диаметр пятна износа. Это объясняется тем, что в тяжелых фракциях концентрируются высококипящие тиофеновые формы серы (бензотиофены, дибензотиофены и их алкильные производные), поэтому суммарная сера закономерно увеличивается. Напротив, меркаптаны более летучи и преимущественно остаются в легких фракциях, одновременно рост доли тиофенов и дисульфидов усиливает адсорбцию на металлической поверхности и облегчает формирование защитных граничных пленок, из-за чего диаметр пятна износа уменьшается, а повышенная ароматичность и немного

большая вязкость тяжелых фракций дополнительно стабилизируют эту пленку. На основании проведенных исследований установлено, что наиболее оптимальной фракцией для добавления в гидроочищенный керосин является фракция 240-280 °С, так как она сохраняет достаточную концентрацию полярных соединений, которые формируют защитные граничные пленки и стабильно снижают диаметр пятна износа, при этом меркаптаны в данном интервале уже существенно истощены.

Для определения оптимальной доли вовлечения прямогонной фракции 240-280 °С в состав авиатоплива, проведены исследования зависимости диаметра пятна износа, содержания общей и меркаптановой серы от количества этой фракции в смеси с гидроочищенной керосиновой дистилятом 240-280 °С (Рисунок 9).

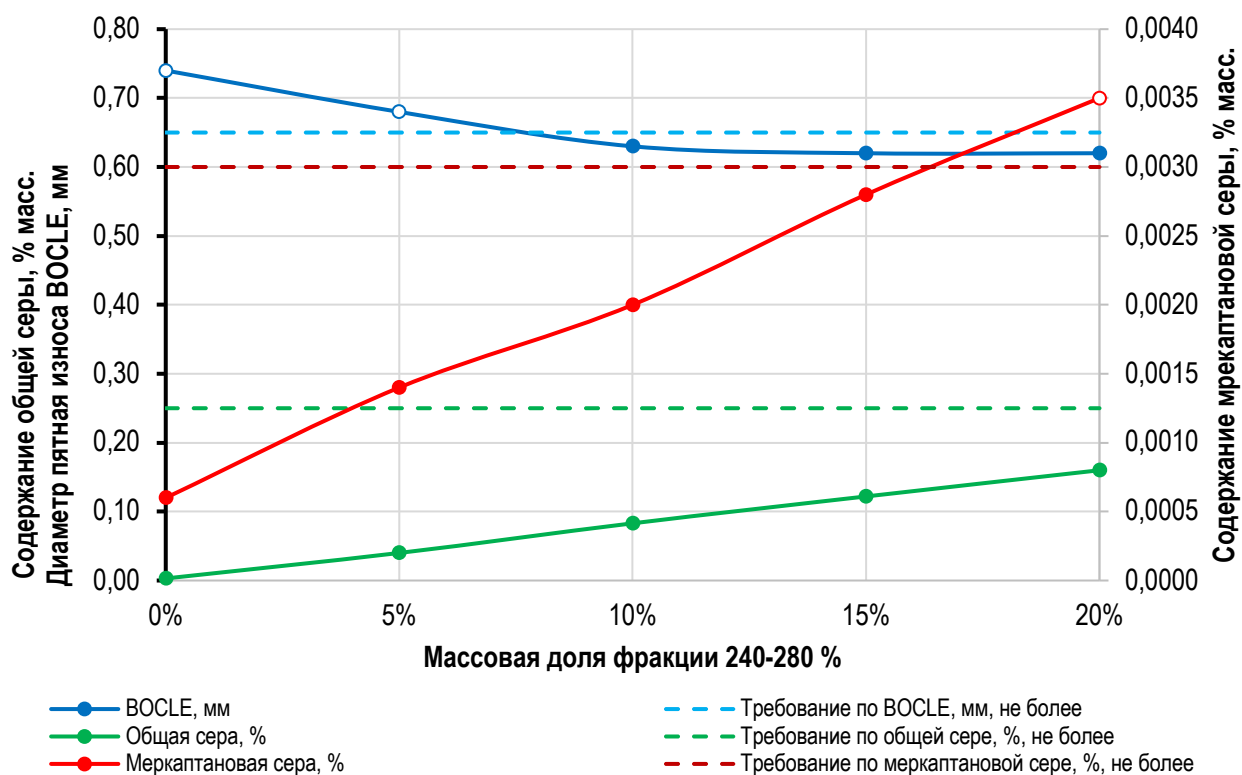


Рисунок 9 – Влияние добавления прямогонной фракции 240-280°С в гидроочищенную керосиновую фракцию 240-280°С на диаметр пятна износа по ВОСЛЕ и содержание общей и меркаптановой серы

Полученные результаты показывают, что уже при содержании в смеси 5-10 % прямогонной фракции 240-280 °С диаметр пятна износа становится

$< 0,65$ мм, тогда как общий содержание серы растет умеренно и остается существенно ниже предела, меркаптановая сера в этом интервале имеет уверенный запас качества до нормы на топливо Джет А-1, но уже при содержании прямогонной фракции ≥ 15 % быстро приближается к лимиту и на 20 % его превышает (рисунок 9). На основании проведенных исследований показано, что содержание прямогонной фракции в смеси с гидроочищенную керосиновую фракцию 240-280 °С в диапазоне 5-10 % обеспечивает диаметр пятна износа $< 0,65$ мм, соответствие международным требованиям и технологический запас по содержанию серы, что подтверждает промышленную перспективность подхода.

С учетом полученных результатов исследований наработаны четыре опытных образца топлива Джет А-1, в которых содержание прямогонной фракции 240-280 °С варьируется от 0 до 15 % масс. (0, 5, 10 и 15 %), с проверкой соответствия требованиям ГОСТ 32595 (ASTM D1655) и ТР ТС 013/2011 (таблица 7).

Таблица 7 – Результаты испытаний опытных образцов топлива Джет А-1 с различным вовлечением фракции 240-280°С

Показатели качества	Норма по ГОСТ 32595	Норма по ТР ТС 013/2011	Содержание Фр. 240-280, % масс.				Макс. доля Фр. 240-280, %
			0%	5%	10%	15%	
Плотность при 15 °С, кг/м ³	775-840	-	782,4	786,1	788	790,5	0-100%
Фракционный состав:							
б) 10% отгоняется при температуре, °С:	не выше 205	не выше 205	162	164	165	166	<80%
в) 50% отгоняется при температуре, °С:	не норм.	-	182	185	189	193	0-100%
г) 90% отгоняется при температуре, °С:	не выше 300	-	214	220	227	241	0-100%
Кинематическая вязкость при минус 20 °С, мм ² /с	не более 8	не более 8	3,06	3,08	3,11	3,24	<50%
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	не менее 42800	-	43430	43400	43350	43320	0-100%
Высота некоптящего пламени, мм	не менее 25	не менее 25	29	28	27	25	≤15%
Кислотное число общее, мгКОН/г	не более 0,1	-	0,003	0,005	0,008	0,01	0-100%
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	не ниже 38	не ниже 38	39	39	40	40	0-100%
Температура замерзания, °С	не выше -47	не выше -47	-62	-53	-47	-40	≤10%
Объемная доля ароматических углеводородов, %	не более 25	не более 25	10	11	12	13	<80%
Концентрация фактических смол, мг на 100 см ³	не более 7	не более 7	< 1	2	3	5	<20%
Массовая доля общей серы, %	не более 0,25	не более 0,25	0,003	0,04	0,083	0,122	<30%
Массовая доля меркаптановой серы, %	не более 0,0030	не более 0,0030	0,0006	0,0014	0,0020	0,0028	<17%
Коррозия медной пластинки (2 ч) при температуре 100 °С, класс	не более 1	-	1	1	1	1	0-100%
Термоокислительная стабильность при контрольной температуре не ниже 260 °С:							
а) перепад давления на фильтре, мм. рт. ст.	не более 25	не более 25	0,1	0,2	0,3	0,3	<50%
б) цвет отложений на трубке, баллы	не более 3	не более 3	1	1	1	1	<50%
Взаимодействие с водой, балл: состояние поверхности раздела / разделенных фаз	не более 1 / 1	-	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1	0-100%
Удельная электрическая проводимость без АС при температуре 20 °С, пСм/м	не более 10	не более 10	2	4	3	3	0-100%
Смазывающая способность, диаметр пятна износа, мм, не более	0,85/0,67*	-	0,74	0,68	0,63	0,61	≥7%
<ul style="list-style-type: none"> Рекомендуемая значение показателя по комплексу методов квалификационной оценки 							

В результате анализа полученных результатов, выявлено, что максимально допустимое количество вводимой в состав авиатоплива прямогонной фракции 240-280°C регламентируется совокупностью показателей: высота некоптящего пламени, температура замерзания, концентрация фактических смол, массовая доля меркаптановой серы и смазывающая способность (диаметр пятна износа). При увеличении доли фракции в составе смеси плотность и температура конца кипения закономерно возрастают, но остаются в пределах норм, высота некоптящего пламени снижается и уже при 15 % подходит к минимально допустимому уровню, тогда как фактические смолы и меркаптановая сера в интервале 0-15 % сохраняют запас качества. Ключевым ограничителем выступает температура замерзания: ее ухудшение при росте доли фракции определяет максимально допустимое содержание порядка 10 % масс. Одновременно утяжеление состава положительно сказывается на уровне смазывающей способности: за счет увеличения доли сероорганических соединений диаметр пятна износа последовательно снижается и уже при 5-10 % становится < 0,65 мм, при этом низкая доля меркаптановой серы поддерживает стабильность и снижает коррозионную активность топлива. Таким образом, оптимальное вовлечение фракции 240-280 °С на уровне 5-10 % обеспечивает выполнение требований ГОСТ 32595 и ТР ТС 013/2011 для топлива Джет А-1 при целевом улучшении противоизносных свойств без необходимости применения дополнительных присадок.

Схема получения реактивного топлива марки Джет А-1 на основе гидроочищенной керосиновой фракции с вовлечением легкой дизельной прямогонной фракции 240-280 °С, будет иметь следующий вид, представленный на рисунке 10: нефть после первичной перегонки (АВТ) разделяется на прямогонную керосиновую фракцию и узкие дизельные фракции, прямогонная керосиновая фракция направляется на гидроочистку и образует малосернистую базу топлива Джет А-1, а отобранная фракция 240-280 °С без гидроочистки дозированно вводится в этот поток как компонент, обеспечивающий требуемую смазывающую способность, остальные дизельные фракции (200-240 и

280-320 °С) идут по своим направлениям, включая гидроочистку, для получения компонентов дизельного топлива.

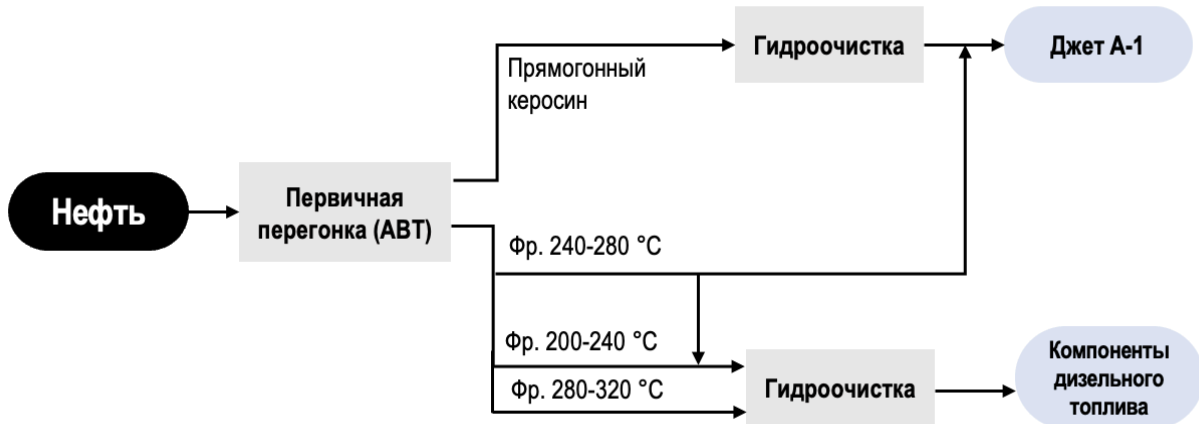


Рисунок 10 – Блок-схема получения топлива Джет А-1

Благодаря предложенному подходу при производстве авиатоплива возможно исключить необходимость применения противоизносных присадок, что особенно важно в текущих условиях, а также увеличить объем выпуска этого топлива за счет вовлечения до 10 % прямогонной фракции дизельного топлива 240-280 °С. Примером площадки для внедрения предлагаемого решения является Сызранский НПЗ, где уже реализовано разделение прямогонной дизельной фракции на более узкие на установке АВТ, что позволяет получать топливо Джет А-1 по данной схеме. Расчетный потенциал технологии для российских НПЗ оценивается порядка 25 млн т авиационного керосина в год, что практически вдвое увеличивает объем его производства в стране.

Таким образом в результате проведенных исследований предложена и обоснована технологическая концепция получения топлива для реактивных двигателей марки Джет А-1 по ГОСТ 32595 путем смешения прямогонной узкой дизельной фракции и гидроочищенного компонента керосина для марок ТС-1 и РТ по ГОСТ 10227-86 и без использования противоизносной присадки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании обзора российского рынка моторных топлив выявлены два наиболее перспективных продуктовых направления для разработки новых технологических решений для повышения объемов производства продукции – автобензин и реактивное топливо.

2. Определены смесевые характеристики по октановым числам смешения по исследовательскому и моторному методам для нефтехимических компонентов - изопропилбензола, толуола, изопропанола, изобутанола, метил-трет-бутилового эфира в составе низкооктановых парафиновых углеводородных баз и выявлены закономерности их изменения в диапазонах концентраций от 10 до 40% масс. для ароматических углеводородов и до 3,7% масс. по кислороду.

3. Показана более высокая антидетонационная эффективность изопропилбензола по сравнению с толуолом в составе низкооктановых углеводородных фракций в диапазоне концентрация от 10 до 40% масс.: на 4,0-5,7 по ОЧИсм и на 8,5-14,0 по ОЧМсм, при более высоком октановом числе толуола в чистом виде по обоим методам.

4. Определены профили выкипания различных оксигенатов в составе автомобильных бензинов и предложен механизм влияния эффекта азеотропии на фракционный состав топлива, с помощью которого было выявлено, что реальная температура кипения спиртов в составе бензинов находится ниже температуры кипения чистых спиртов - примерно на 5°C для изопропилового спирта и на 10°C для изобутилового - и зависит от температуры их выкипания.

5. По результатам проведенных исследований разработана, испытана и опробирована в промышленности топливная композиция высокооктанового автомобильного бензина АИ-92-К5 с содержанием кислорода до 2,7% и до 3,7% из низкооктановых фракций нефтепереработки и нефтехимических компонентов следующего состава (% масс.): низкооктановые фракции – 46-52, ароматические углеводороды (толуол, изопропилбензол) – 34-38, изопропанол (ЦРПП 3014) – 10-18, высокооктановый компонент ЦРПП 3012 – до 1,3.

6. Впервые исследовано влияние узкой прямоугольной фракции дизельного топлива на эксплуатационные характеристики гидроочищенного компонента топлива для реактивных двигателей и выявлена лимитная концентрация ее вовлечения, при которой достигается соответствие топливной композиции требованиям к марке Джет А-1 по ГОСТ 32595.

7. Предложена и обоснована технологическая концепция получения топлива для реактивных двигателей марки Джет А-1 по ГОСТ 32595 путем смешения прямоугольной узкой дизельной фракции и гидроочищенного компонента керосина для марок ТС-1 и РТ по ГОСТ 10227-86 и без использования противоизносной присадки.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

Работы, опубликованные соискателем в рецензируемых научных изданиях из числа рекомендованных Перечнем ВАК РФ:

1. **Е.М. Сафронов**, А.О. Вихрицкая, В.Д.Савеленко, М.А. Ершов, Е.А. Шарин, У.А. Махова, В.М. Капустин. Результаты исследований по оценке возможностей увеличения объемов производства топлив для реактивных двигателей // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2025. – № 10.

2. **Е.М. Сафронов**, М.А. Ершов, В.Д. Савеленко и др. Высокооктановые компоненты автомобильных бензинов как решение проблем топливного обеспечения России // Мир нефтепродуктов. – 2024. – № 1. – С. 40-52.

3. Е.С. Бугаев, **Е.М. Сафронов**, А.В. Зуйков и др. Программные средства для планирования и оптимизации технологических схем НПЗ // Мир нефтепродуктов. – 2023. – № 5. – С. 46-54.

4. **Е.М. Сафронов**, Е.С. Бугаев, А.В. Зуйков и др. Анализ и сопоставление российских технологий нефтепереработки // Мир нефтепродуктов. – 2023. – № 4. – С. 18-29.

5. **Е.М. Сафронов**, Е.С. Бугаев, А.В. Зуйков и др. Анализ перспективы производства и потребления нефтепродуктов в российской федерации // Мир нефтепродуктов. – 2023. – № 1. – С. 32-41.

В других изданиях:

1. **Е.М. Сафронов**, Е.С. Бугаев, А.В. Зуйков и др. Анализ и перспективы производства и потребления нефтепродуктов в РФ // Актуальные задачи нефтегазохимического комплекса. Глубокая переработка углеводородных ресурсов. Низкоуглеродные энергоносители и продукты нефтегазохимии: Материалы XV научно-практической конференции, Итогового заседания технологической платформы и I Научной школы молодых учёных, Москва, 24–25 ноября 2022 года. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2023. – С. 14-15.

2. А.О. Вихрицкая, М.М. Лобашова, У.А. Махова, В.Д. Савеленко, М.А. Ершов, **Е.М. Сафронов** Исследование влияние утяжеления керосиновой фракции на характеристики товарного керосина Jet A-1 / // Актуальные задачи нефтегазохимического комплекса. Глубокая переработка углеводородных ресурсов. Низкоуглеродные энергоносители и продукты нефтегазохимии: Материалы XVI научно-практической конференции, Итогового заседания технологической платформы и II Научной школы молодых учёных, Москва, 30 ноября 2023 года. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, 2024. – С. 45-46.

Сафронов Егор Михайлович

АННОТАЦИЯ К ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

на тему: «Увеличение производства моторных топлив при интеграции нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий»

В диссертации проведен анализ российского рынка и технологий производства бензинов, дизельных и реактивных топлив; показано, что наибольший потенциал роста выпуска связан с интеграцией нефтепереработки и нефтехимии, расширяющей компонентную базу и гибкость смесевых схем.

Разработаны технологические решения для получения высокооктановых автомобильных бензинов из низкооктановых потоков с вовлечением ароматических углеводородов (толуол, изопропилбензол), оксигенатов (изопропанол, изобутанол, МТБЭ) и функциональных добавок; композиции соответствуют требованиям ГОСТ 32513 и ТР ТС 013/2011. Выявлен экстремальный характер скорости выкипания смесей углеводородов с высшими спиртами C₃-C₄ и простым эфиром C₅, связанный с явлением азеотропии и позволяющий неаддитивно изменять летучесть автомобильных бензинов как в сторону увеличения в случае спиртовых компонентов, так и в сторону уменьшения в случае эфира. Показана более высокая антидетонационная эффективность изопропилбензола по сравнению с толуолом в составе низкооктановых углеводородных фракций в диапазоне концентрация от 10 до 40% масс.: на 4,0-5,7 по ОЧИсм и на 8,5-14,0 по ОЧМсм, при более высоком октановом числе толуола в чистом виде по обоим методам

Предложена схема получения топлива для реактивных двигателей Джет А-1 без вовлечения противоизносной присадки: дозированное добавление узкой прямогонной дизельной фракции 240–280 °С в гидроочищенную керосиновую фракцию обеспечивает нормативную смазывающую способность (ВОСЛЕ) при соблюдении требований ГОСТ 32595; обоснованы пределы доли ввода (≈5–10 % масс.) и эксплуатационные ограничения (низкотемпературные показатели, высота некопящего пламени, вязкость и др.).

Safronov Egor Mikhailovich

ABSTRACT OF THE DISSERTATION

on the topic: « Increasing the Production of Motor Fuels through the Integration of Oil Refining and Petrochemical Enterprises »

In the dissertation, an analysis of the Russian market and production technologies for gasolines, diesel fuels, and aviation fuels was carried out; it was shown that the greatest potential for output growth is associated with integrating oil refining and petrochemicals, which expands the component base and the flexibility of blending schemes.

Technological solutions were developed for producing high-octane motor gasolines from low-octane streams by involving aromatic hydrocarbons (toluene, cumene), oxygenates (isopropanol, isobutanol, MTBE), and functional additives; the blends meet the requirements of GOST 32513 and TR CU 013/2011. An extremal (non-monotonic) behavior of the evaporation rate of hydrocarbon mixtures with higher alcohols C₃–C₄ and a C₅ simple ether was identified, associated with azeotropy and enabling non-additive adjustment of gasoline volatility—both upward in the case of alcohol components and downward in the case of the ether. A higher antiknock effectiveness of cumene compared to toluene was demonstrated in low-octane hydrocarbon fractions within the concentration range of 10–40 wt%: by 4.0–5.7 points in RON (blend) and by 8.5–14.0 points in MON (blend), despite neat toluene having a higher octane number by both methods.

A scheme is proposed for producing aviation turbine fuel Jet A-1 without using a lubricity improver: metered addition of a narrow straight-run diesel fraction (240–280 °C) to a hydrotreated kerosene fraction ensures the required lubricity (BOCLE) while meeting GOST 32595; limits for the dosage (≈5–10 wt%) and operational constraints (low-temperature properties, smoke point, viscosity, etc.) are substantiated.