

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И
ГАЗА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ИМЕНИ И.М. ГУБКИНА»**

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

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Капустин Владимир Михайлович

Москва – 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 АНАЛИЗ РОССИЙСКОГО РЫНКА И ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ОСНОВНЫХ ВИДОВ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ	9
1.1 Современное состояние и перспективы производства и потребления основных видов моторных топлив в России.....	9
1.1.1 Автомобильный бензин	9
1.1.2 Дизельное топливо	18
1.1.3 Реактивное топливо	29
1.1.4 Судовое топливо	36
1.2 Интегральная оценка перспективности основных видов моторных топлив	43
1.3 Выводы и постановка задач исследования	50
2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	54
2.1 Объекты исследования.....	54
2.1.1 Объекты исследования при разработке технологических решений по увеличению производства автомобильного бензина	54
2.1.2 Объекты исследования при разработке технологических решений по увеличению производства реактивного топлива.....	55
2.2 Методы исследования	56
2.2.1 Методы исследования при разработке технологических решений по увеличению производства автомобильного бензина	56
2.2.2 Методы исследования при разработке технологических решений по увеличению производства реактивного топлива.....	58
3 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНА.....	60
3.1 Анализ производства основных бензиновых компонентов и добавок.....	60

3.2 Влияние спиртов C ₃ -C ₄ и ароматических углеводородов на физико-химические и эксплуатационные свойства автомобильного бензина, полученного на основе низкооктановых углеводородных фракций	67
3.3 Влияние азеотропообразующих оксигенатов на фракционный состав бензинов.....	74
3.4 Разработка и испытания новых топливных композиций высокооктановых автомобильных бензинов.....	79
3.5 Выводы по главе 3	85
4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВА РЕАКТИВНОГО ТОПЛИВА.....	87
4.1 Анализ производства основных компонентов топлива для реактивных двигателей	87
4.1.1 Атмосферная перегонка нефти.....	88
4.1.2 Гидроочистка керосиновых фракций	89
4.1.3 Гидрокрекинг	91
4.1.4 Демеркаптанализация	93
4.1.5 Анализ производства авиационного керосина	95
4.1.6 Анализ импорта и экспорта авиационного керосина.....	97
4.2 Влияние содержания и типа сернистых соединений на смазывающую способность реактивного топлива	99
4.3 Разработка и испытания новых топливных композиций топлива для реактивных двигателей	104
4.4 Выводы по главе 4	107
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	108
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	110
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	111
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	125

ВВЕДЕНИЕ

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 фракций 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 C_3 - C_4 и простым эфиром C_5 , 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 её 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°С для изопропилового спирта и на 10°С 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 на не менее чем 80% из 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 – изопропилбензола, 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 автомобильным бензинам АИ-95-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 аттестованных методик, 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.

1 АНАЛИЗ РОССИЙСКОГО РЫНКА И ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ОСНОВНЫХ ВИДОВ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ

1.1 Современное состояние и перспективы производства и потребления основных видов моторных топлив в России

1.1.1 Автомобильный бензин

Автомобильный бензин является одним из самых крупнотоннажных продуктов нефтепереработки и главным топливом для легкового транспорта. Ассортимент и качество бензинов зависят от структуры автомобильного парка. В последние десятилетия наблюдаются тенденции ужесточения требований к качеству, в особенности к экологическим показателям продукта.

Детальный анализ структуры потребления автомобильного бензина по федеральным округам за 2023 г. представлена на рисунке 1, без мини-НПЗ, производство которых составило 235 тыс. т в 2021 г. и 867 тыс. т в 2023 г. Рынок автомобильного бензина в РФ в целом сбалансирован: импорт минимален, а экспорт – 9,9 % в 2021 г. и 13,4 % в 2023 г.

Общая профицитность по стране составляет +5,0 млн т за 2023 г. Наиболее профицитным оказался Приволжский ФО (+11,9 млн т), что объясняется большим количеством НПЗ на его территории, в том числе довольно крупных – ООО «Лукойл-Нижегороднефтеоргсинтез», АО «Танеко», ООО «Лукойл-Пермнефтеоргсинтез».

Дефицитными округами оказались Дальневосточный ФО, Северо-Западный ФО, Уральский ФО, Северо-Кавказский ФО, Южный ФО и Центральный ФО, что также связано со сравнительно небольшим количеством НПЗ на их территории. Несмотря на дефицитность ряда округов, спрос на бензин внутри них покрывается за счет поставок из профицитных округов преимущественно железнодорожным транспортом.

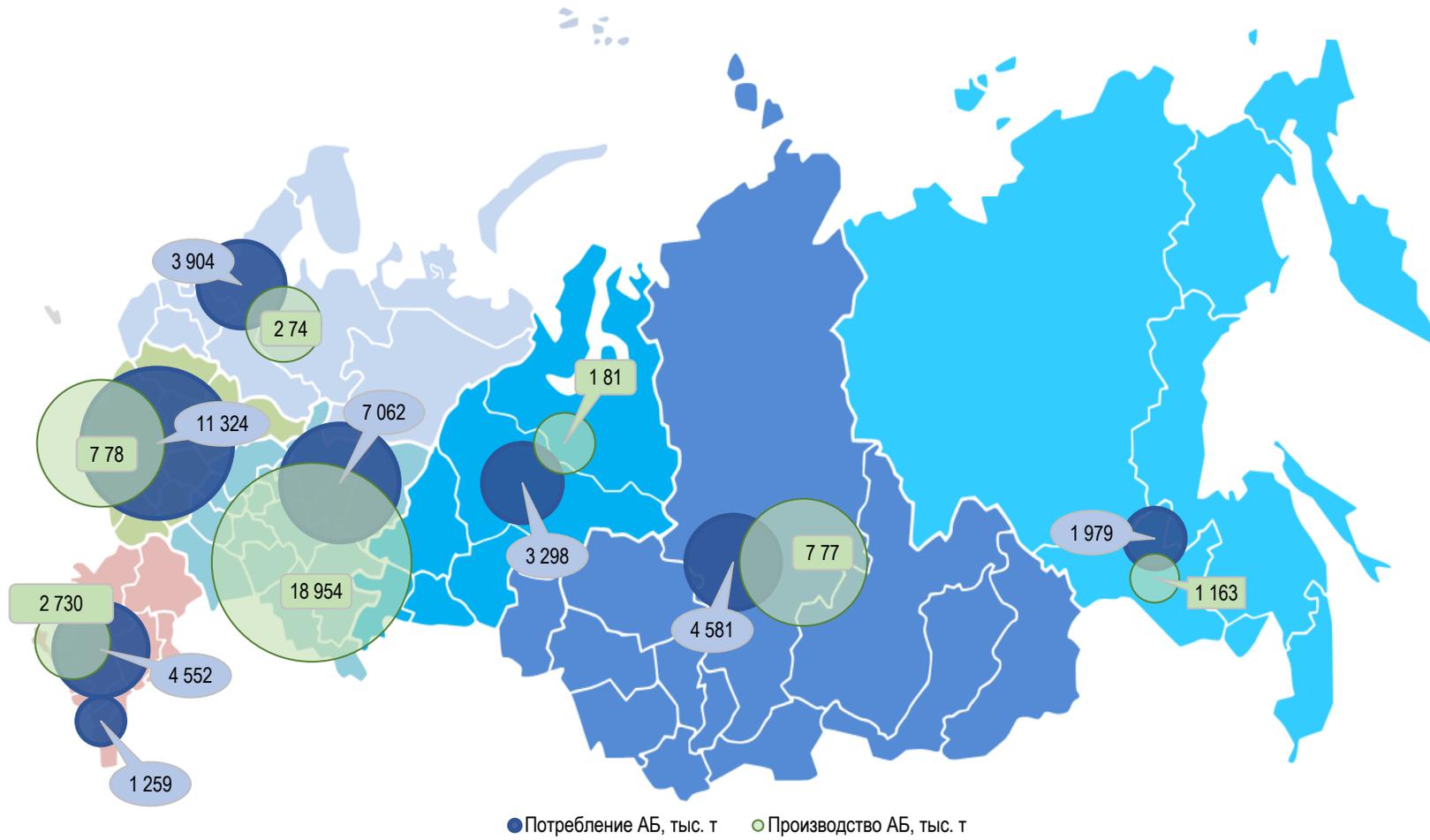


Рисунок 1 – Оценка производства и потребления автомобильного бензина по ФО РФ на 2023 г.

Профицитность и дефицитность ФО по автомобильному бензину за 2021 и 2023 гг. представлена на рисунке 2.

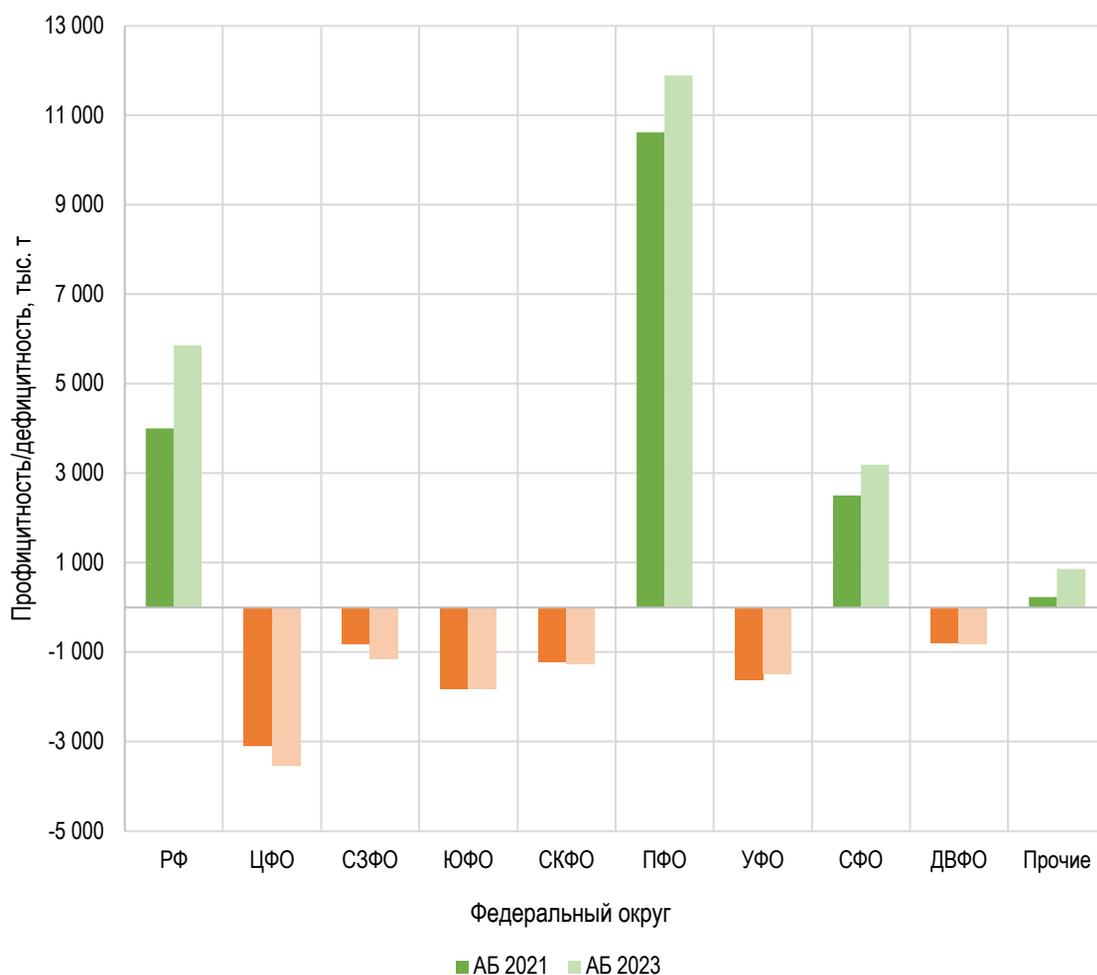


Рисунок 2 – Профицитность и дефицитность ФО РФ по автомобильному бензину в 2021 и 2023 гг.

Последние годы происходит активный спад спроса на автомобильный бензин марки АИ-80, что отражает тенденцию обновления автопарка в стране за счет устранения карбюраторной техники, которая была ориентирована на данную марку. Производство в 2024 году оказалось на уровне 43 млн т, основной маркой бензина по-прежнему остается АИ-92 объемом производства 23,1 млн т. Выработка автомобильного бензина АИ-95 составляет 19,2 млн т, на АИ-98/100 пришлось 570 тыс. т., на АИ-76/80 – 200 тыс. т. Продуктовая корзина бензинов по годам представлена на рисунке 3.

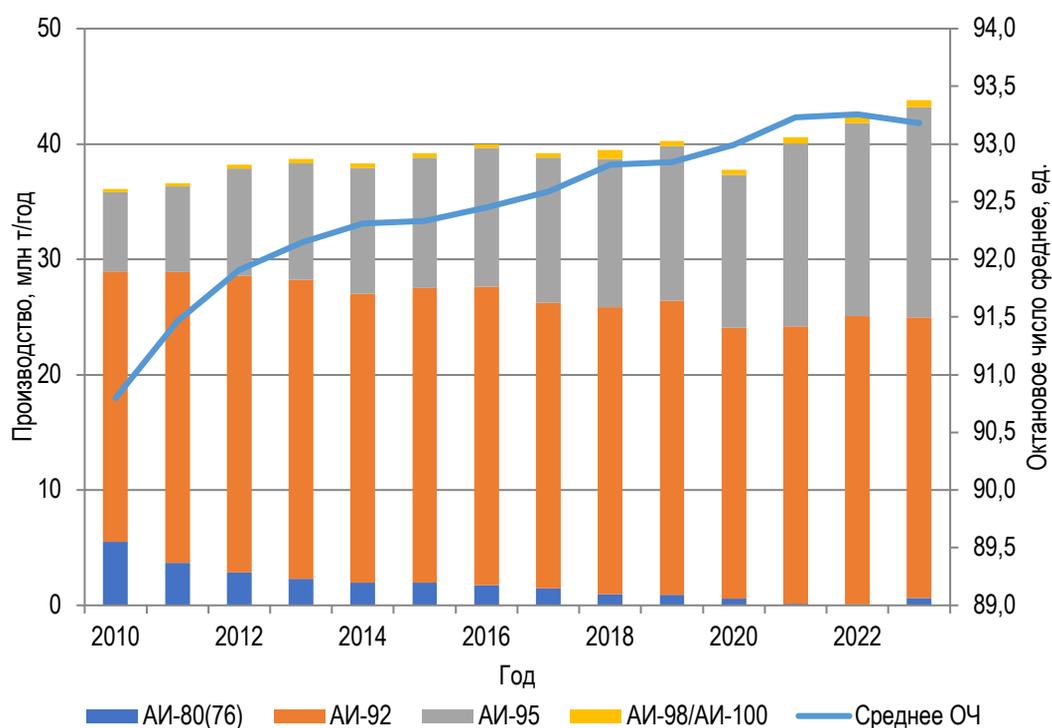


Рисунок 3 – Производство бензинов по годам в РФ и среднее октановое число

Ожидается, что к 2030 году производство увеличится на 6745 тыс. т. Рост в прогнозном периоде будет обеспечен вводом новых установок каталитического крекинга, риформинга, изомеризации, алкилирования, гидрокрекинга и замедленного коксования (таблица 1) [1].

Таблица 1 – Прогноз ввода новых установок в России до 2030 года, дающих прирост автомобильного бензина

Тип установки	Название нефтеперерабатывающего предприятия	Год запуска	Мощность установки, тыс. т/год	Прирост автомобильного бензина, тыс. т/год
Каталитический крекинг	Газпромнефтехимсалават	2020	1095	381
	Сызранский НПЗ	2021	1150	400
	Танеко	2021	1100	383
Риформинг	Туапсинский НПЗ	2026	1500	750
	Ильский НПЗ	2023	550	550
	Славянск ЭКО	2025	665	665
	Новошахтинский НПЗ	2024	300	300
	Первый завод	2025	250	250
	Марийский НПЗ	2025	100	100
	Яйский НПЗ	2020	450	450
	Коченевский НПЗ	2024	240	240

Продолжение таблицы 1

Тип установки	Название нефтеперерабатывающего предприятия	Год запуска	Мощность установки, тыс. т/год	Прирост автомобильного бензина, тыс. т/год
Изомеризации	Туапинский НПЗ	2026	840	840
	Нижегороднефтеоргсинтез	2022	440	440
	Ильский НПЗ	2024	200	200
	Славянск ЭКО	2025	335	335
	Новошахтинский НПЗ	2024	240	240
	Яйский НПЗ	2020	230	230
	Первый завод	2024	200	200
Алкилирования	Ангарская НХК	2021	130	130
	Танеко	2023	180	180
Гидрокрекинга	Ачинский НПЗ	2021	2050	285
	Комсомольский НПЗ	2023	2050	285
	Новокуйбышевский НПЗ	2021	2050	285
	Рязанская НПК	2028	2200	306
	Афипский НПЗ	2023	2500	348
	Газпромнефть МНПЗ	2022	2000	278
Замедленного коксования	Уфимский НПЗ	2023	2000	244
	Орскнефтеоргсинтез	2023	1200	146
	Газпромнефть МНПЗ	2022	2400	292
	Славнефть ЯНОС	2025	3400	414
	Газпромнефть ОНПЗ	2022	2000	244
	Афипский НПЗ	2024	1500	183
	Танеко	2022	2000	244

Как правило, потребление высокооктановых компонентов бензина происходит непосредственно по месту производства, однако такие компании, как ПАО «НК «Роснефть» и ПАО «ЛУКОЙЛ», могут при необходимости «перебрасывать» партии продуктов между собственными заводами. Алкилат и риформат также могут торговаться на товарных биржах. О торговле изомеризата открытых данных нет.

По итогам 2019 года общий избыток бензина в России составил 4,3 млн т (11% от объема производства). Вместе с тем, в регионах Дальнего Востока периодически случаются перебои с поставками автобензина, особенно марок АИ-95 и АИ-98. Профицитность по автомобильному бензину, вероятно, увеличится к 2030 году, однако степень прироста зависит от темпов ввода новых мощностей и реального роста спроса на бензиновое топливо (рисунок 4).

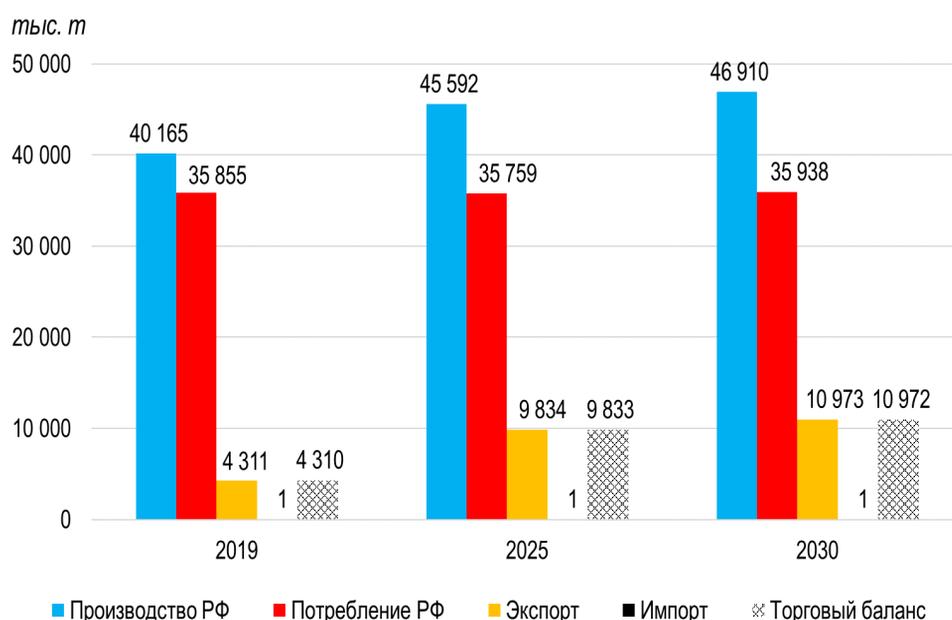


Рисунок 4 – Производство и потребление автомобильного бензина в России

В 2019 году глобальный спрос на бензин составил более 1,1 млрд тонн. Прогнозируется интенсивное снижение спроса на автобензин в странах Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) ввиду декарбонизации транспорта, при одновременном продолжении роста спроса на ненасыщенных рынках стран, не входящих в ОЭСР, что в целом создаст небольшую положительную динамику роста мирового спроса на автобензин после 2025 года [2].

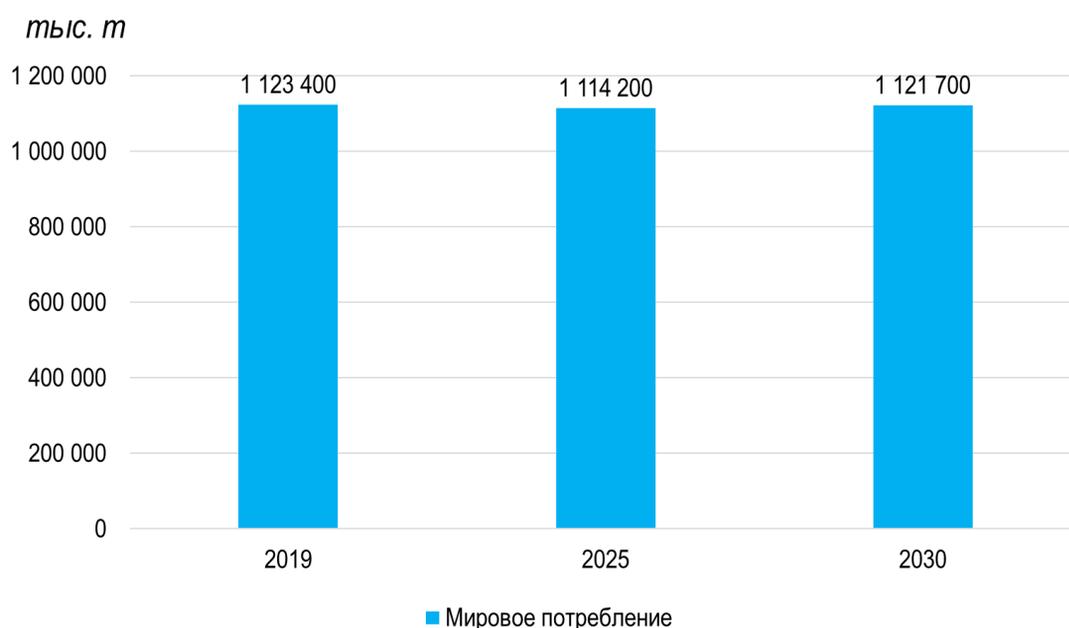


Рисунок 5 – Мировой рынок автомобильного бензина

Страны ЕАЭС, в том числе Республика Казахстан, остаются важным направлением экспорта российских НПЗ. После модернизации трех крупных НПЗ (Атырау, Павлодар, Шымкент) Казахстан с 2019 г. вышел на устойчивый баланс по автобензинам: в 2023 г. произведено около 5,3 млн т при потреблении порядка 5,1 млн т, что обеспечило умеренный профицит [3]. Внешний оборот в 2023–2024 гг. дополнительно сдерживался регулярно продлеваемыми ограничениями на вывоз топлива за пределы ЕАЭС [4]. В среднесрочной перспективе ожидается сохранение умеренной профицитности за счет загрузки действующих НПЗ, а после 2030 г. на баланс повлияют проекты по расширению Шымкентского НПЗ до 12 млн т/год и реализация одобренной Концепции развития нефтепереработки 2025–2040 [5].

Киргизия остается направлением для экспорта российских НПЗ, рынок стабильно импортозависим. В 2024 г. импорт автомобильного бензина составил порядка 560,7 тыс. т (из них около 556 тыс. т – из России, около 3 тыс. т – из Казахстана) [6]. Для сопоставления: в 2023 г. импорт – 466,3 тыс. т (из них 434,3 тыс. т из РФ) [7]. Собственная переработка ограничена, НПЗ «Джунда» модернизируется (инвестиции \$167 млн, завершение – до конца 2025 г.) для выпуска топлива класса К-5 [8]. На уровне ЕАЭС для КР действует переходный период до 01.01.2027 (национальные документы об оценке соответствия выдаются до 12.08.2025). В среднесрочной перспективе дефицит внутреннего производства сохранится, основным поставщиком останется РФ, а доля Казахстана может умеренно варьировать.

В Беларуси сохраняется высокий уровень выработки и профицитность по автобензинам, значительная часть выпуска традиционно экспортируется [9]. В 2023 г. внутреннее потребление автобензина оценивается примерно в 1,03 млн т [10]. Производство автобензина находится на уровне 3,0–3,3 млн т/год: ориентир – 2,989 млн т в 2019 г., в 2023 г. на фоне восстановления загрузки НПЗ показатели удерживались на сопоставимых уровнях [11, 12]. В 2023 г. на ОАО «Нафтан» введен комплекс замедленного коксования (проектная мощность – 1,6 млн т/год), что повысило глубину переработки [13, 14]. На ОАО «Мозырский НПЗ» введен

комплекс гидрокрекинга H-Oil, обеспечивающий дополнительный выпуск светлых нефтепродуктов [15]. Таким образом, ожидается сохранение профицита на внутреннем рынке, что поддерживает конкуренцию для российских поставок.

В Монголии собственных мощностей по выпуску автобензина пока нет, потребности закрываются импортом, причем свыше 90 % поставок нефтепродуктов приходится на Россию [16]. В декабре 2023 г. зафиксирован рекордный объем импорта бензина – около 150 тыс. т [17]. В Алтанширээт (аймак Дорноговь) строится первый НПЗ мощностью 1,5 млн т/год при поддержке Индии, текущий ориентир ввода – I кв. 2026 г. [18-20]. Проектная корзина – 560 тыс. т/год бензина, 670 тыс. т/год дизельного топлива и 107 тыс. т/год СУГ, при выходе на проектную загрузку НПЗ призван покрывать до 55 % внутреннего спроса на нефтепродукты [21].

Выпуск моторных бензинов в Узбекистане в 2023 г. заметно вырос (с января по июль было произведено 781,4 тыс. т), а внутреннее потребление оценивается в 1,1–1,3 млн т/год [22–24]. Введенный GTL Oltin Yo'l добавляет средние дистилляты и нефть, что разгружает рынок и косвенно поддерживает рост бензинового пула [25–27]. Модернизация Бухарского НПЗ (технологии Axens, переход на Евро-5 АИ-92/95, отказ от АИ-80 с 2025 г.) и проекты на Ферганском НПЗ создают базу для полного покрытия внутреннего спроса и умеренного профицита в 2026–2030 гг. [28–32].

В Китае в 2023 году производство бензина составило 176 млн т, потребление – 168 млн т [33, 34]. Доля экспорта в производстве остается волатильной и зависит от квот: в апреле 2024 г. экспорт бензина упал до 400 тыс. т [35]. Дальнейший рост потребления ограничивается быстрым распространением электромобилей: на долю Китая в 2024 г. приходилось почти две трети мировых продаж электромобилей, а доля продаж электромобилей в стране была близка к 50% [36]. По оценкам, пик потребления бензина пришелся на 2023 г. (3,7 млн барр./сут), в 2024 г. отмечалось снижение (например, 3,2 млн барр./сут в августе, –14 % г/г), далее ожидается плато/умеренное падение, на

горизонте планирования рынок, как правило, сохраняет профицитность к 2030 году [37, 38].

В ЕС в 2023 г. объем производства автомобильного бензина составил 96,9 млн т, а потребления – 66,9 млн т [39]. Среди крупнейших стран-потребителей в ЕС – Германия, Франция, Италия, Испания [39]. ЕС остается нетто-экспортером бензина: в 2023 г. чистый экспорт составил 44,0 млн т, что эквивалентно 45 % от объема выпуска, ключевые направления поставок – Северная Америка и Африка (в т.ч. Западная Африка) [39-41]. Снижение потребления за счет повышения экономичности парка и роста доли электромобилей частично тормозится перетоком части легкового транспорта с дизеля на бензин после «дизельгейта», в целом сохраняется профицитный баланс на горизонте до 2030 г. [41].

Таким образом, анализ тенденций на рынке автобензина в России позволяет сделать следующие выводы:

- До 2030 года в России ожидается ввод новых мощностей каталитического крекинга, риформинга, изомеризации, алкилирования и гидрокрекинга, которые позволят увеличить выработку бензина на 6,7 млн т к 2030 году.

- Внутренний спрос не растет с 2015 г. ввиду невысоких продаж новых автомобилей, диверсификации парка в сторону более экономичной техники, перехода на общественный транспорт, перевода техники на СПБТ. В среднесрочной перспективе (2025-2030 гг.) ожидается дальнейшая стагнация спроса на фоне продолжения обозначенных тенденций.

- Экспортными рынками для России являются страны Средней Азии, также необходим поиск новых рынков, например, стран Африки.

- Мировой спрос на автобензин на горизонте 2025-2030 гг. будет стагнировать. В странах ОЭСР ожидается интенсивное снижение спроса (в результате борьбы за декарбонизацию транспорта), что будет компенсироваться одновременным продолжением роста потребления на ненасыщенных рынках стран, не входящих в ОЭСР.

1.1.2 Дизельное топливо

Дизельное топливо является одним из самых крупнотоннажных продуктов нефтепереработки и основным видом топлива наземных коммерческих перевозок. В зависимости от качественных характеристик выделяют летнее, зимнее, межсезонное и арктическое дизельное топливо. В России объемы рынка дизельного топлива превышают объемы рынка автомобильного бензина.

Детальный анализ структуры потребления дизельного топлива (ДТ) по федеральным округам за 2023 г. представлен на рисунке 6. На рисунке не представлены Мини-НПЗ, производство ДТ которыми составило 958 тыс. т за 2021 г. и 1 150 тыс. т за 2023 г.

Рынок дизельного топлива в РФ очень насыщен, большая часть производимого продукта поставляется на экспорт, а импорт практически отсутствует. Дизельное топливо является одним из основных экспортируемых нефтепродуктов РФ. Так, в 2021 г. было экспортировано 50,5 % произведенного ДТ (40,3 млн т), а в 2023 г. – 40,6 % (35,7 млн т).

Общая профицитность по стране составляет +35,7 млн т за 2023 г. Наиболее профицитным оказался Приволжский ФО (+31,6 млн т), что объясняется большим количеством НПЗ на его территории.

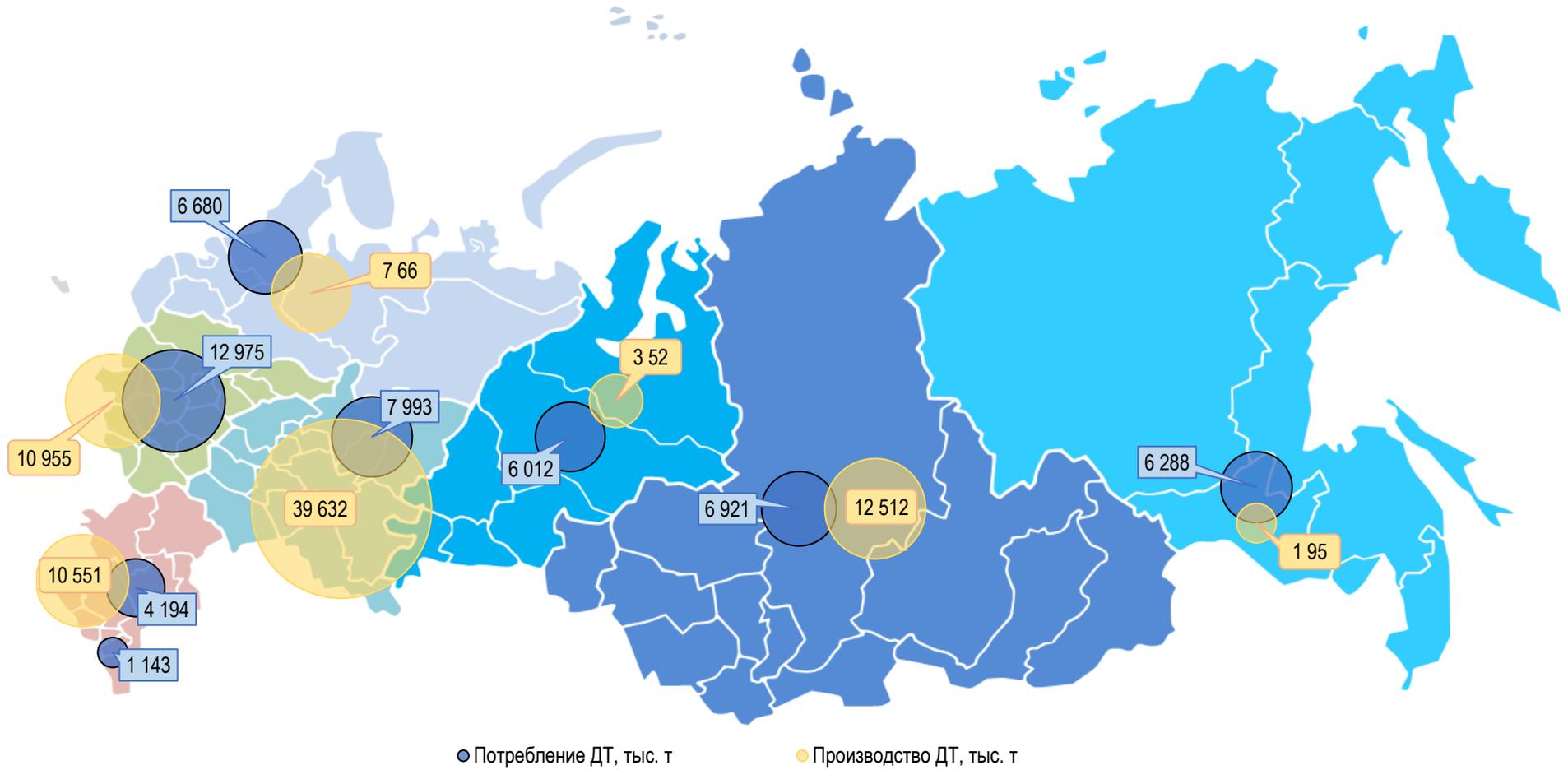


Рисунок 6 – Оценка производства и потребления дизельного топлива по ФО РФ на 2023 г.

Дефицитными округами оказались Дальневосточный ФО, Уральский ФО и Северо-Кавказский ФО, а также Центральный ФО в 2023 г., что также связано со сравнительно небольшим количеством НПЗ на их территории. Несмотря на дефицитность ряда округов, спрос на ДТ внутри них покрывается за счет поставок из профицитных округов преимущественно железнодорожным транспортом.

Профицитность и дефицитность федеральных округов по дизельному топливу за 2021 и 2023 гг. представлена на рисунке 7.

Подавляющее большинство произведенного ДТ соответствует марке летней (72,2 % в 2021 г. и 70,9 % в 2023 г.), за которым следует ДТ зимнее (18,7 % в 2021 г. и 20,1 % в 2023 г.). Экспорт же практически целиком приходится на летнее ДТ (93,8 % за 2023 г.), что связано с направлениями экспорта.

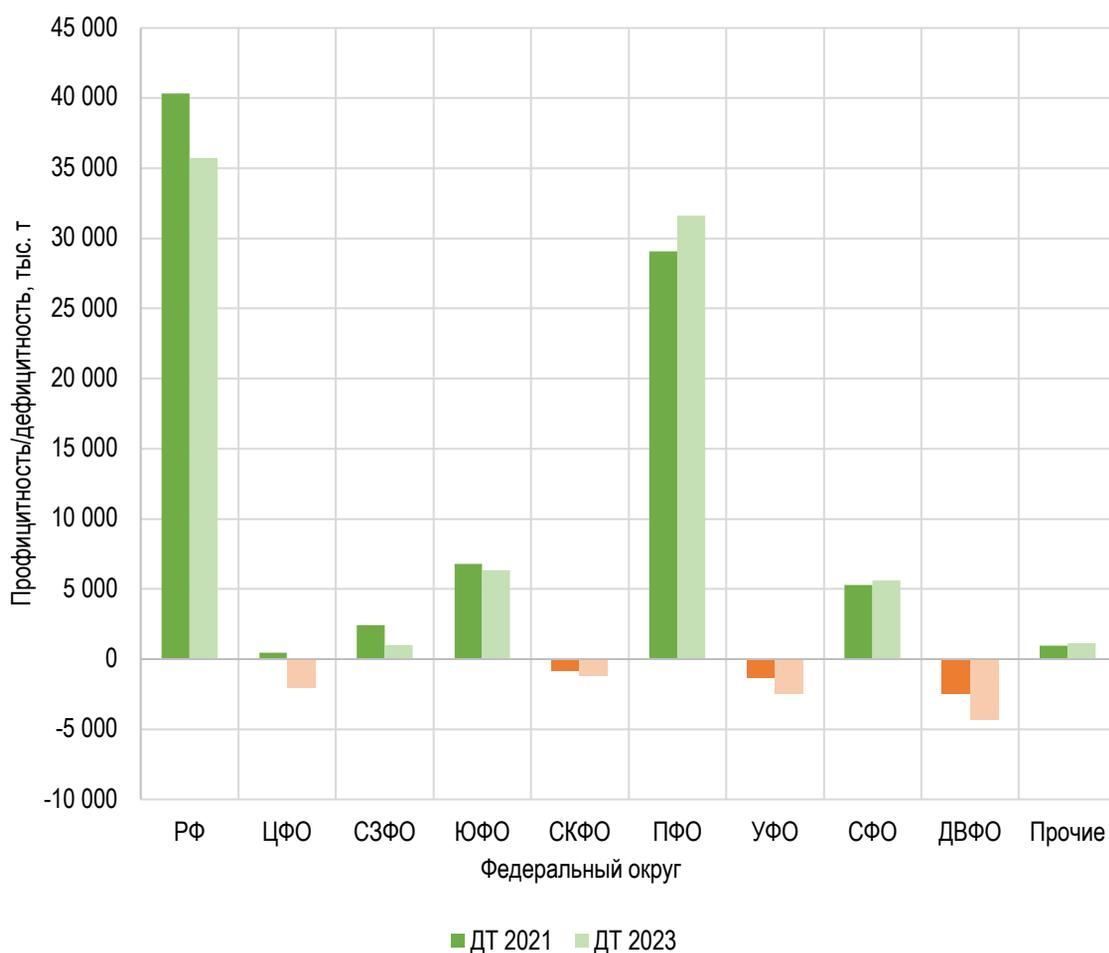


Рисунок 7 – Профицитность и дефицитность ФО РФ по дизельному топливу в 2021 и 2023 гг.

Производство в 2024 году оказалось на уровне 85,7 млн т, доля летнего дизельного топлива составила 70,9% (60,7 млн т), зимнего и арктического – 24,0 (20,5 млн т), межсезонного – 5,1% (4,3 млн т) [42, 43]. Согласно данным ЦДУ ТЭК, ожидается рост доли дизельного топлива экологического класса К5 до 97% в 2030 году (89,9 млн т). Постепенно растет доля зимнего и арктического топлива, благодаря применению депрессорно-диспергирующих присадок и вводу мощностей, нацеленных на улучшение низкотемпературных свойств топлива.

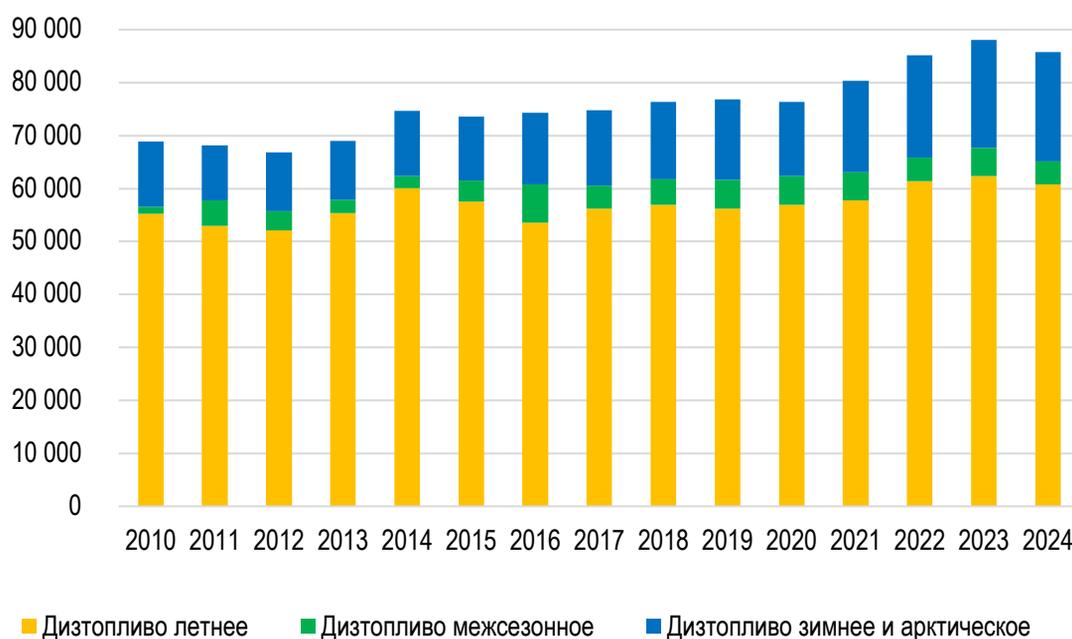


Рисунок 8 – Объем выпускаемых марок дизельного топлива в России

Ожидается рост производства дизельного топлива на 14,7 млн т к 2030 году за счет ввода новых установок, приведенных в таблице 2.

Таблица 2 – Прогноз ввода новых установок в России до 2030 года, дающих прирост дизельного топлива [44]

Тип установки	Название нефтеперерабатывающего предприятия	Год запуска	Мощность установки, тыс. т/год	Прирост дизельного топлива, тыс. т/год
Гидроочистка дизельного топлива	Туапсинский НПЗ	2027	4272	1140
	Танеко	2022	3700	1550
	Ильский НПЗ	2025	1200	1060
	Афипский НПЗ	2023	3300	2020

Продолжение таблицы 2

Тип установки	Название нефтеперерабатывающего предприятия	Год запуска	Мощность установки, тыс. т/год	Прирост дизельного топлива, тыс. т/год
Гидрокрекинга	Ачинский НПЗ	2022	2050	630
	Комсомольский НПЗ	2023	2050	630
	Новокуйбышевский НПЗ	2024	2050	630
	Туапсинский НПЗ	2024	4000	1230
	Рязанская НПК	2028	2200	650
	Афипский НПЗ	2023	2500	770
	Ильский НПЗ	2028	2200	680
	Газпромнефть МНПЗ	2022	2000	620
Замедленного коксования	Уфимский НПЗ	2023	2000	260
	Орскнефтеоргсинтез	2023	1200	160
	Газпромнефть МНПЗ	2022	2400	320
	Славнефть ЯНОС	2025	3400	450
	Газпромнефть ОНПЗ	2022	2000	260
	Ачинский НПЗ	2022	1000	130
	Лукойл Нижегороднефтеоргсинтез	2022	2100	280
	Новокуйбышевский НПЗ	2024	1500	200
	Афипский НПЗ	2024	1500	200
	Танеко	2022	2000	260

Внутренний рынок дизельного топлива профицитен: его избыток к 2030 году вырастет порядка до 44 млн т (47% от объема производства).

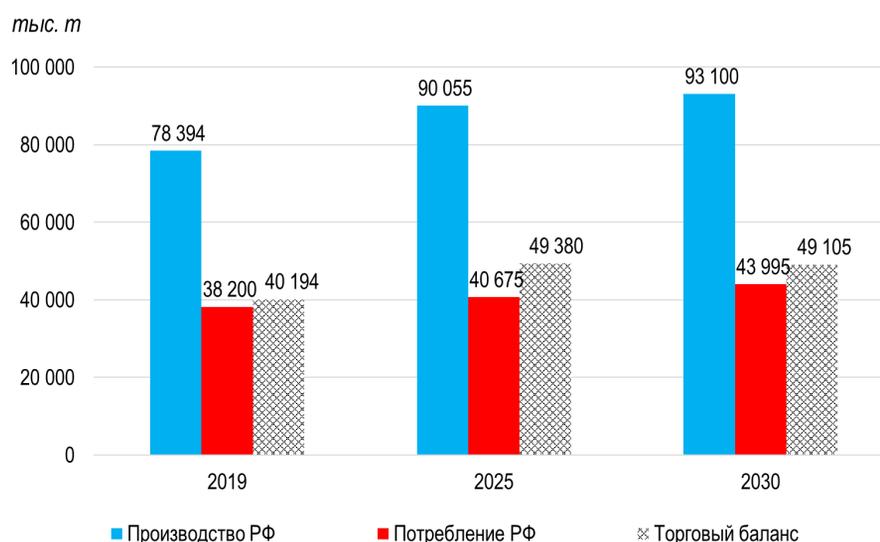


Рисунок 9 – Производство и потребление дизельного топлива в России

Глобальный спрос на дизельное топливо в 2019 году составил 998 млн т. Учитывая, что экономичность дизельной техники близка к предельным показателям, в отличие от автомобильного бензина обновление дизельного автопарка не сопровождается радикальным снижением расхода топлива. Прогнозируется, что в странах ОЭСР спрос на дизельное топливо до 2025 года будет увеличиваться в связи с ростом международной торговли. Напротив, после 2025 года ожидается падение спроса, связанное с входом в активную фазу декарбонизации дизельного транспорта. В странах, не входящих в ОЭСР, спрос на дизельное топливо будет расти ввиду бурного развития экономики государств, в особенности Индии и Китая, которое сопровождается активным строительством зданий и транспортной инфраструктуры. Данный фактор будет преобладающим относительно местных программ декарбонизации [45].

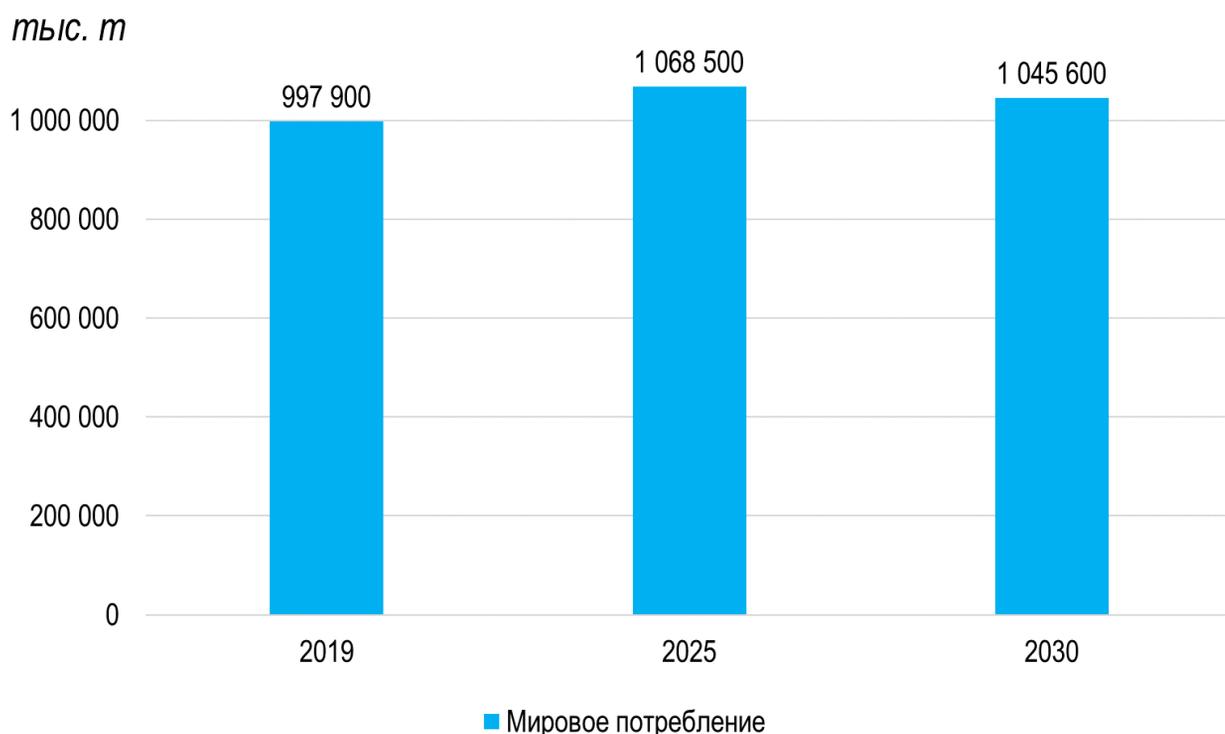


Рисунок 10 – Мировой рынок дизельного топлива

В Казахстане в 2024 г. выпуск дизельного топлива составил 4,4 млн т, при этом внутреннее потребление оценивается около 5,5 млн т/год [46, 47]. Доля импорта в потреблении выросла из-за сезонных пиков: в 2023 г. было согласовано до 850 тыс. т поставок дизельного топлива из РФ для покрытия

дефицита, а в 2024 г. суммарный импорт моторных топлив из России достиг 1,2 млн т [48, 49]. Завершившаяся в 2019 г. модернизация трех НПЗ позволила обеспечить базовый баланс и повысить глубину переработки, при полной загрузке совокупный выпуск дизельного топлива оценивается порядка 5,0–5,3 млн т/год [50]. Однако без ввода новых мощностей и с учетом роста парка дизельной сельхозтехники и транзитных перевозок структурный дефицит сохранится в среднесрочной перспективе, вероятным основным поставщиком останется Россия. Экспорт из Казахстана ограничивается действующими запретами на вывоз топлива (квоты/моратории периодически продлеваются) [51].

В Киргизии производство дизельного топлива в 2023 г. составило 125,7 тыс. т, а за январь–август 2024 г. – 91,5 тыс. т (+26,5 % г/г) [52, 53]. Потребление ориентировочно оценивается порядком 550 тыс. т/год (1,5 тыс. т/сут) [54]. Основная часть потребностей покрывается импортом: в 2023 г. ввезено 417 тыс. т, ключевые поставщики – Россия и Казахстан, причем на РФ приходится до 80 % рынка моторных топлив [53, 55]. Идет модернизация НПЗ «Джунда» с доведением качества до К-5 (заявленное завершение – до 31.12.2025) [56]. Для КР действует переходный период по техрегламенту ЕАЭС до 01.01.2027 [57]. В среднесрочной перспективе импортозависимость сохранится до выхода модернизированных мощностей на стабильный режим, вероятным основным поставщиком останется Россия [53, 55].

В Белоруссии в 2023 г. производство дизельного топлива оценивается порядка 6,0–6,5 млн т, внутреннее потребление – около 3,2–3,5 млн т, доля экспорта в выпуске сохраняется выше 50%, что поддерживает устойчивый профицит [58, 59]. В 2021–2023 гг. завершены ключевые апгрейды: на Мозырском НПЗ введен комплекс гидрокрекинга H-Oil, а на ОАО «Нафтан» – установка замедленного коксования (проектная переработка 1,6 млн т/год), что увеличило выход светлых нефтепродуктов, в т.ч. дизельных фракций [60, 61]. Экспорт нефтепродуктов из Беларуси после переориентации логистики стабилизировался на уровне около 6–9 млн т/год, прежде всего через российские

порты, что усиливает конкуренцию российским поставкам на внешних рынках [58, 62, 63].

В Монголии на данный момент производственные мощности по выработке дизельного топлива отсутствуют. Дефицитность рынка потребности покрываются импортом, при этом более 90 % нефтепродуктов страна получает из России [64]. К I кварталу 2026 году планируется ввод в эксплуатацию НПЗ, который позволит вырабатывать порядка 670 тыс. т дизельного топлива, что частично покрывает нынешние потребности рынка [65]. Дефицитность составит порядка 300 тыс. т к 2030 году.

В Узбекистане выпуск дизельного топлива в 2023 г. держался около 1,0 млн т, а за январь-сентябрь 2024 г. произведено 777,8 тыс. т (+0,2 % г/г) [66]. В прогнозном периоде потребность рынка будет дополнительно закрываться за счет выхода на устойчивые режимы завода GTL Oltin Yo'l (проектная корзина включает 700 тыс. т/год дизельного топлива) [67] и модернизации Бухарского НПЗ, где целевые показатели предусматривают выпуск до 750 тыс. т/год дизельного топлива к концу 2025 г. [68]. По мере реализации указанных проектов дефицитность рынка ожидаемо снизится до минимальной/эпизодической, вероятным ключевым внешним поставщиком дизельного топлива сохранится Россия (в рамках покрываемых логистикой объемов).

В Китае в 2023 г. производство дизельного топлива составило 234,3 млн т, а потребление – 221,5 млн т [69, 70]. В 2024 г. потребление начало снижаться: по оценке ЕИА, в июне оно составляло 3,9 млн барр/сут (–11 % г/г), а ИЭА отмечает «плато» по топливам (в т дизель) в 2024 г. [71, 72]. Экспортная активность волатильна и зависит от квот: в октябре 2024 г. отгрузки дизеля снизились до 350 тыс. т – минимума с середины 2023 г. [73]. Дальнейший рост потребления ограничивают распространение электромобилей, перевод тяжелого транспорта на СПГ и замедление строительной активности [72, 74, 75]. На горизонте планирования рынок, как правило, сохраняет профицитность за счет высокой перерабатывающей мощности при стагнирующем внутреннем спросе [72].

До 2023 года Европейский союз и Великобритания являлись главными импортерами российского дизельного топлива и других нефтепродуктов, однако в декабре 2022 года страны ввели эмбарго на импорт российской нефти, а с февраля 2023 года – на нефтепродукты, включая дизель и бензин. После введения запрета доля российских поставок в Северо-Западную Европу сократилась с 53 % (окт. 2021 – сен. 2022) до 2 % в феврале 2023 г., а недостающие объемы были замещены импортом из Ближнего Востока и Азии. Российский экспорт дизтоплива был переориентирован на другие рынки: крупнейшим импортером стала Турция, далее – Бразилия и Саудовская Аравия, в 2023 г. морские отгрузки дизеля из РФ составляли около 50 млн т/год, оставаясь волатильными из-за системы квот.

Одним из решений по сокращению импортозависимости является выравнивание баланса за счет увеличения внутреннего потребления бензина. Десятилетиями ЕС проводил политику стимулирования применения дизельного топлива (дизелизации) на легковых автомобилях. Основным инструментом был пониженный налог на дизельное топливо относительно бензина и сниженные пошлины на дизельные автомобили. В 2000 году спрос на бензин и дизельное топливо находился практически на одном уровне и составлял соответственно 125 и 140 млн т, к 2018 г. эти показатели составляли уже 80 и 220 млн т. С 2017 года во многих странах ЕС резко сменился курс на редизелизацию с выравниванием налоговых ставок между бензином и дизельным топливом, и, самое главное, между акцизами на дизельные и бензиновые автомобили. Ключевым поводом стал экологический скандал «Дизельгейт», случившийся с компанией Volkswagen (а позже и с другими производителями), в ходе которого было установлено, что экологические показатели работы дизельных автомобилей Евро-6 при реальной эксплуатации существенно отличаются от сертифицированных параметров в худшую сторону.

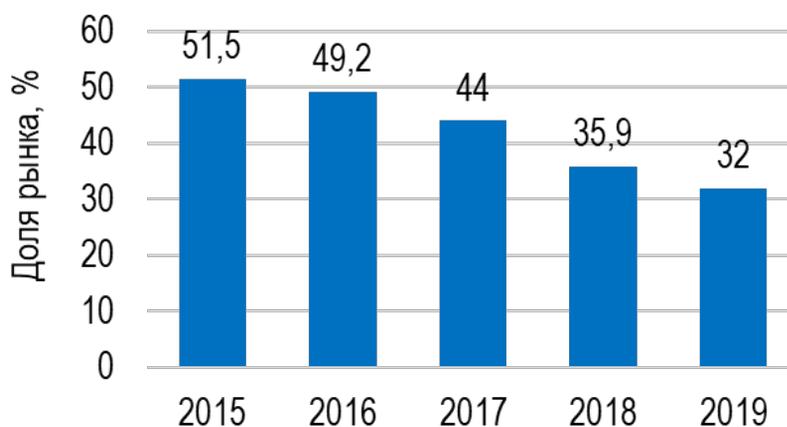


Рисунок 11 – Продажи новых дизельных пассажирских автомобилей в ЕС

Доля легковых дизельных автомобилей в Европе за последние пять лет сократилась с 55% до 32%. Ожидается сохранение данной тенденции, что в долгосрочной перспективе приведет к сокращению потребления дизельного топлива легковым транспортом, на долю которого приходится порядка 25% спроса.

В результате рост потребления дизельного топлива замедлился, а спрос на бензин изменил траекторию с падения на небольшой рост. С высокой вероятностью намеченная тенденция будет продолжена.

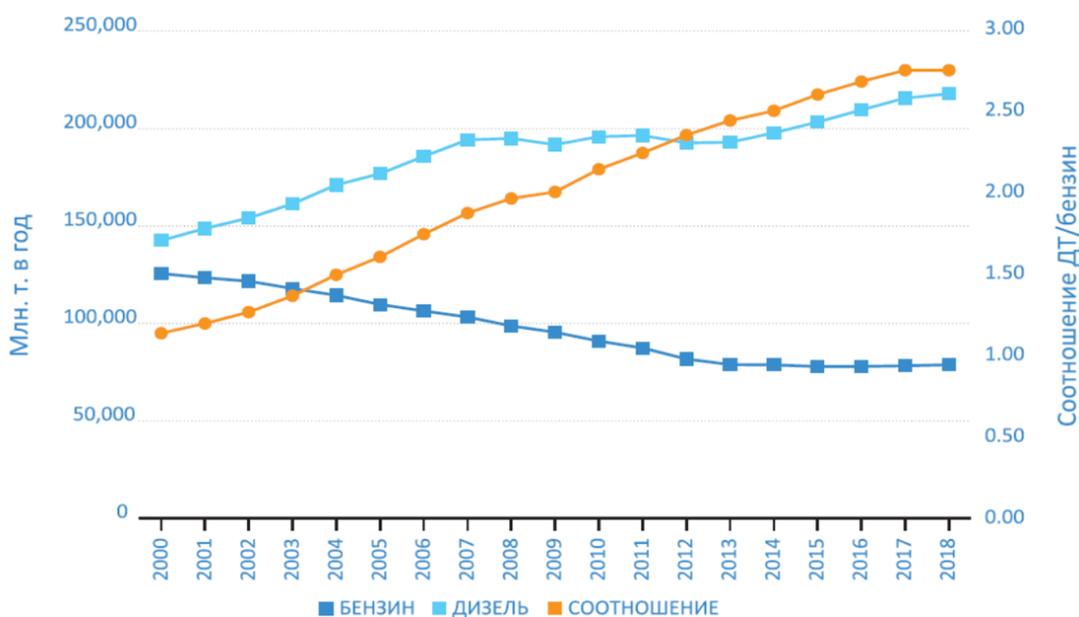


Рисунок 12 – Производство и потребление моторных топлив в ЕС [72]

Объем производства дизельного топлива в странах ЕС в 2019 году составил порядка 240 млн т. В это же время спрос находился на уровне 291,7 млн т. Доля импорта в потреблении составила порядка 13%. Крупнейшие страны-потребители: Германия, Франция, Великобритания. Введение ограничений для дизельных автомобилей приведет к постепенному сокращению потребления. Основной объем дизельного топлива в Европе (около 50%) потребляется в секторе грузовых перевозок. Если для легкового автотранспорта возможен относительно быстрый переход на другие виды топлива, прежде всего на автобензин, то для некоторых типов грузового транспорта на рынке отсутствуют оправданные с экономической точки зрения альтернативы, что будет сдерживать падение спроса. Снижение спроса на дизельное топливо также будет обеспечиваться выполнением обязательств в рамках достижения углеродной нейтральности согласно European Green Deal [73].

В условиях планируемого повышения выработки дизельного топлива при малорастущем внутреннем спросе и намечающейся тенденции редизелизации в ЕС ключевой проблемой для российских НПЗ является поиск новых экспортных возможностей и сохранение экспортного потенциала в странах ЕС. Решение последней задачи во многом зависит от того, каким способом будет реализована европейская инициатива по введению импортной пошлины на углерод. При движении по пути адаптации текущей системы стимулирования применения возобновляемых компонентов согласно директиве RED II и действующей системы торговли выбросами ETS, вероятно, что применение низкоуглеродных сертифицированных возобновляемых компонентов будет выгоднее для экспортеров, чем уплата импортной пошлины на углерод. Следовательно, для российских производителей при ориентации на экспортные поставки в ЕС возникает необходимость в производстве низкоуглеродных дизельных компонентов из возобновляемого сырья (FAME или HVO).

Таким образом, анализ тенденций на рынке дизельного топлива в России позволяет сделать следующие выводы:

– До 2030 года в России ожидается ввод новых мощностей гидроочистки дизельного топлива, гидрокеркинга, замедленного коксования, которые позволят увеличить выработку дизельного топлива на 14,7 млн т к 2030 году.

– Внутренний спрос на ДТ-К5 вырастет на 2,5 и 5,8 млн т к 2025 г. и 2030 г соответственно. за счет увеличения парка легковых автомобилей, грузовиков и автобусов, использующих дизельное топливо, а также в результате вытеснения внеклассового топлива с рынка.

– Профицитность российского рынка вырастет с текущих 40,2 млн т до 49,4 млн т к 2025 г. в связи с опережающим ростом производства над спросом. К 2030 году ожидается небольшое снижение профицита в связи с продолжающимся ростом спроса при отсутствии роста производства. Ключевая проблема российских НПЗ – поиск новых экспортных рынков и сохранение экспортного потенциала в странах ЕС.

– Мировой спрос на дизельное топливо до 2030 г. будет расти, особенно благодаря странам, не входящим в ОЭСР, в связи с бурным развитием экономик Индии и Китая. После 2025 года ожидается небольшое падение спроса по причине принятия программ декарбонизации дизельного транспорта.

– Возможными экспортными направлениями могут стать Казахстан, Киргизия, Монголия, Узбекистан.

1.1.3 Реактивное топливо

Реактивные топлива вырабатываются из среднедистиллятных фракций нефти в ходе процессов прямой перегонки, демеркаптанализации, гидроочистки и гидрокрекинга. Топлива подразделяют на используемые в дозвуковой авиации (ТС-1, РТ, Джет-А, Джет А-1), и сверхзвуковой (РТ, Т-6, Т8-В, JP-5, JP-8).

Реактивное топливо марки ТС-1 преобладает в структуре отечественного производства и является основным для гражданской авиации. Топливо марки РТ поставляется преимущественно для нужд Министерства обороны. Авиационный керосин марки Джет А-1 вырабатывается в ограниченном объеме для поставки на экспорт. В Российской Федерации топливо марок ТС-1 и РТ вырабатываются по ГОСТ 10227-86.

Детальный анализ структуры потребления авиационного керосина по федеральным округам за 2023 г. представлен на рисунке 13. На рисунке не представлены Мини-НПЗ, производство керосина которыми составило 451 тыс. т за 2021 г. и 213 тыс. т за 2023 г.

Рынок авиационного керосина в РФ сбалансированный. Спрос внутри страны на топливо примерно совпадает с производством, с чем связано фактически отсутствие импорта и умеренный экспорт (13,5 % от производства в 2021 г., 14,9 % в 2023 г.). Стоит отметить, что из 1,6 млн т авиакеросина, экспортированных из РФ в 2023 г., более 1 млн т приходится на топливо марки Джет А-1 производства ПАО «НОВАТЭК». Эта марка не находит применения на внутреннем рынке, так как авиационный парк РФ пользуется авиакеросином марок ТС-1 (77,0 % от производства в 2023 г.) и РТ (12,1 % от производства в 2023 г.).

Общая профицитность по стране составляет +1,6 млн т за 2023 г. Наиболее профицитным оказался Приволжский ФО (+1,8 млн т), что по аналогии с производством бензина объясняется большим количеством НПЗ на его территории.

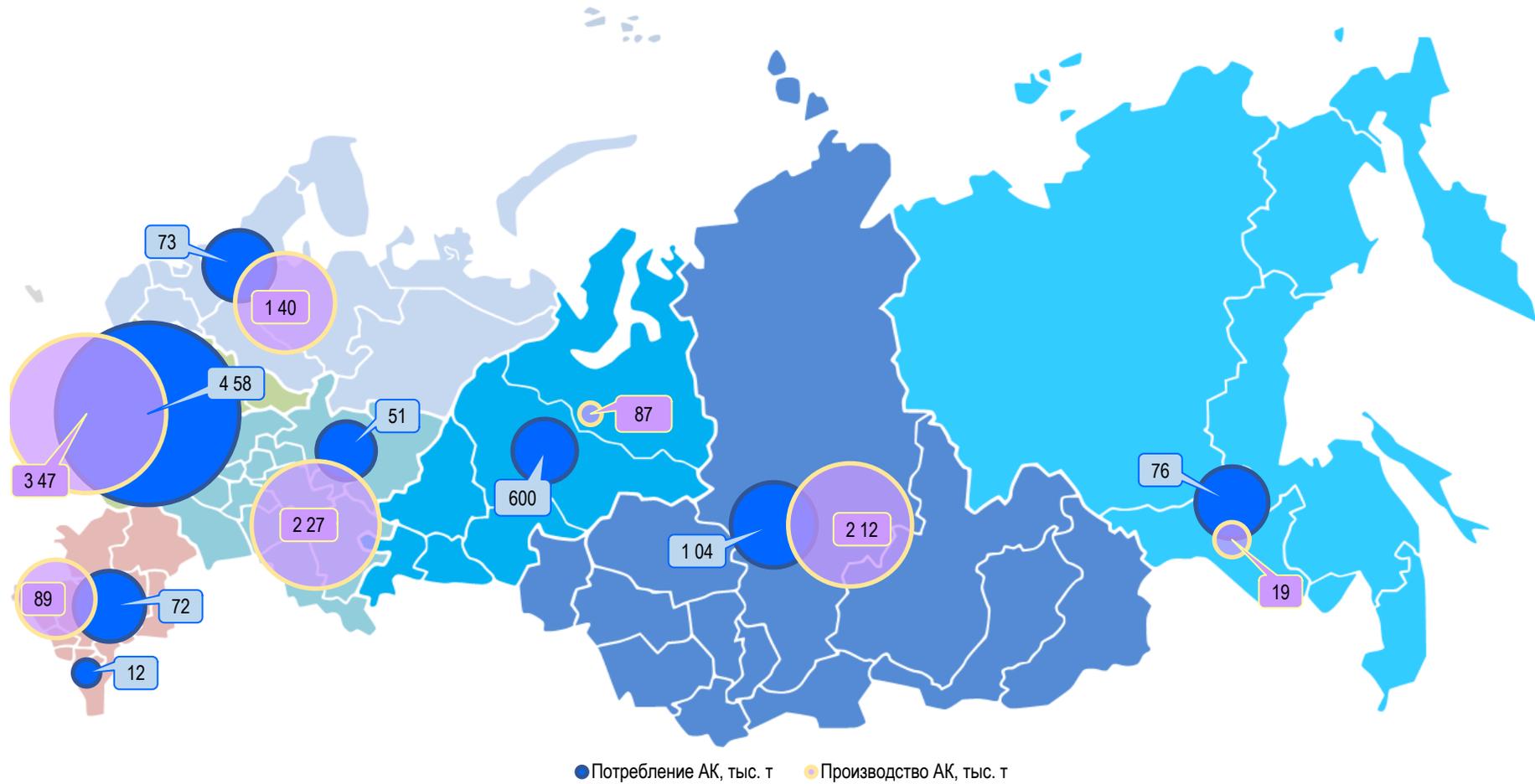


Рисунок 13 – Оценка производства и потребления авиационного керосина по ФО РФ на 2023 г

Дефицитными округами оказались Центральный ФО, Дальневосточный ФО, Уральский ФО и Северо-Кавказский ФО, что также связано со сравнительно небольшим количеством НПЗ на их территории и отсутствием значительного производства керосина на существующих НПЗ, а также меньшим локальным спросом, из-за чего Северо-Западный ФО и Южный ФО являются профицитными. Несмотря на дефицитность ряда округов, спрос на керосин внутри них покрывается за счет поставок из профицитных округов преимущественно железнодорожным транспортом.

Профицитность и дефицитность федеральных округов по авиационному керосину за 2021 и 2023 гг. представлена на рисунке 14.

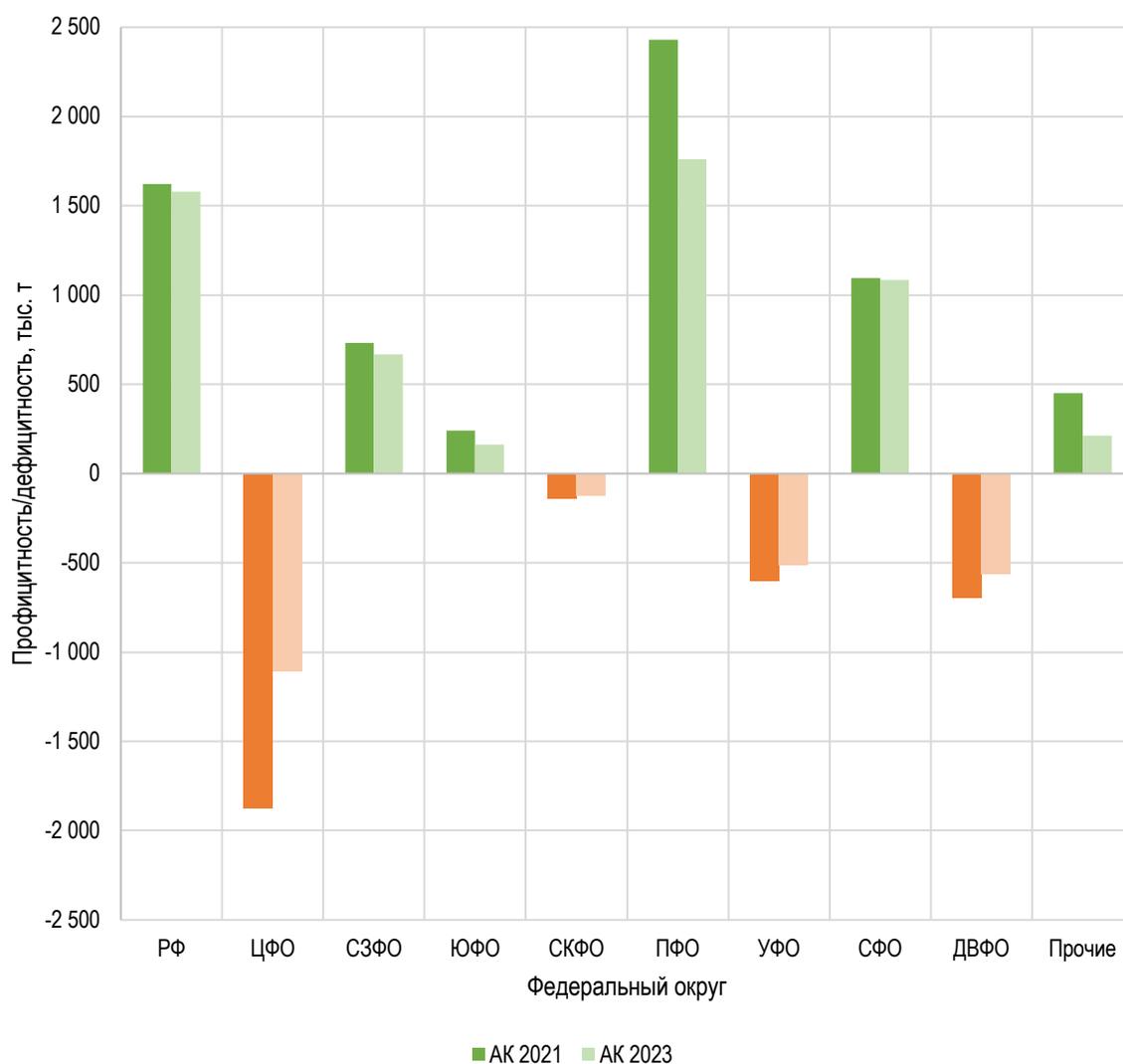


Рисунок 14 – Профицитность и дефицитность ФО РФ по авиационному керосину в 2021 и 2023 гг.

Стоит отметить, что на данный момент промышленный потенциал по выпуску авиакеросина значительно превышает его фактическое производство, причем эта разница будет возрастать еще больше в последующие годы в связи с модернизациями существующих производств и запуском новых установок, в т.ч. гидрокрекинга (рисунок 15).

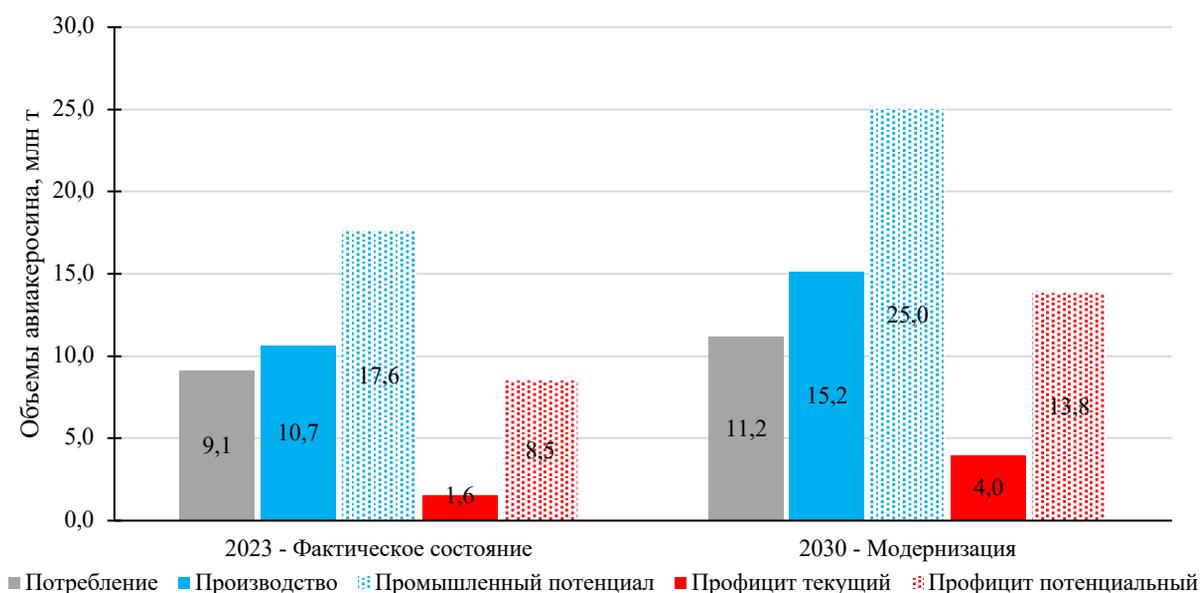


Рисунок 15 – Текущий и прогнозный профициты по авиакеросину с сохранением текущих темпов производства и при реализации промышленного потенциала

Спрос на внутреннем рынке, в свою очередь, будет возрастать в связи с повышением мобильности населения и его количества, но не столь же стремительно, в связи с чем возможна профицитность авиакеросина до 14 млн т/год. Тем не менее, на текущий момент большая часть производства приходится на марки ТС-1 и РТ, которые не используются за пределами стран СНГ и интереса для экспорта не представляют. В связи с этим имеет смысл рассмотреть пути переключения процессов получения авиакеросина на производство марки Джет А-1, которая реализуется по более высокой цене и обладает большим спросом во всем мире.

Мировой спрос на реактивное топливо в 2020 году упал ощутимо сильнее других нефтепродуктов. Постепенное восстановление потребления до уровня 2019 года ожидается только к 2024 году. Увеличение численности среднего

класса в развивающихся странах будет поддерживать достаточно высокие темпы роста спроса на авиаперевозки [74, 75].

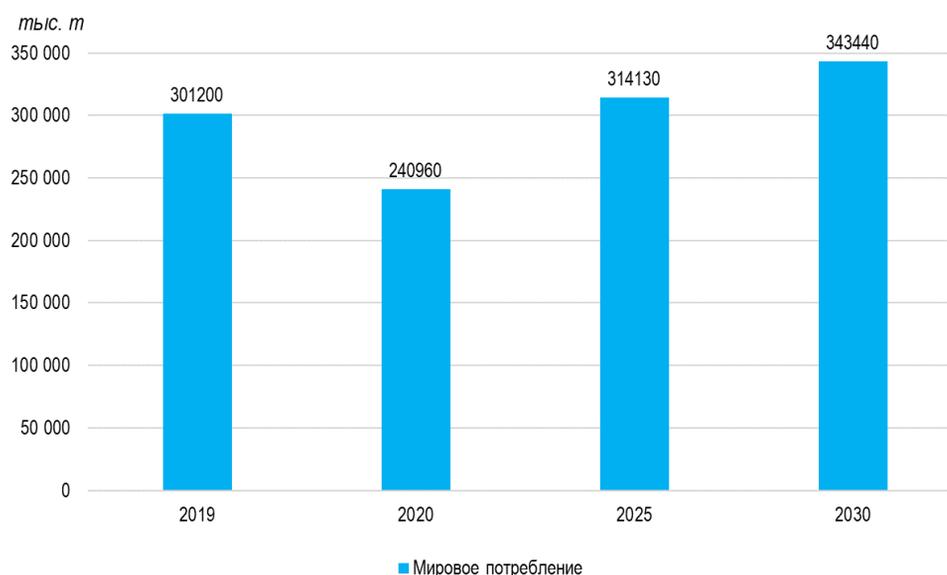


Рисунок 16 – Мировой рынок реактивного топлива

В Казахстане производство реактивного топлива в 2019 году составило 620 тыс. т, в то время как спрос в 2019 году находился на уровне 650 тыс. т. Доля импорта в потреблении оказалась на уровне 7,7% [76]. Ожидается сохранение незначительной дефицитности (20 тыс. т к 2030 году) за счет ограниченного потенциала производства (порядка 850 тыс. т) при растущем за счет увеличения реальных доходов на душу населения спросе.

Белоруссия является экспортером топлива для реактивных двигателей: объем производства в 2018 году составил 365 тыс. т, спрос оказался на уровне 162 тыс. т. Доля экспорта в производстве достигла 60% [77]. Возможен рост производства за счет ввода в эксплуатацию установки гидрокрекинга на Мозырском НПЗ. В прогнозном периоде ожидается сохранение профицитности рынка на уровне 240 тыс. т к 2030 году.

Спрос на реактивное топливо в Киргизии на данный момент полностью удовлетворен импортными поставками [79]. В 2020 году был заключен контракт на поставку 100 тыс. т авиационного топлива из России. В прогнозном периоде ожидается небольшой рост спроса за счет увеличения доли среднего класса, что

приведет к росту дефицитности в отсутствие ввода новых производственных мощностей.

В Монголии на данный момент отсутствуют производственные мощности по выработке реактивного топлива, а также нет конкретных планов по строительству новых установок. В 2018 году внутренний спрос в объеме 40 тыс. т был полностью удовлетворен российскими поставками. В прогнозном периоде ожидается рост профицитности рынка до 60 тыс. т к 2030 году.

В Узбекистане объем производства в 2019 году составил 157 тыс. т. Потребление оказалось на уровне 230 тыс. т. Импорт авиакеросина в 2019 году составил 82,3 тыс. т (36% от потребления), в 2020 – 36 тыс. т. Основные поставщики: Туркменистан и Россия. В прогнозном периоде ожидается рост производства авиакеросина за счет ввода в эксплуатацию завода по производству синтетических жидких топлив (GTL), объем производства реактивного топлива на котором составит 307 тыс. т, что сможет полностью покрыть прогнозируемый рост спроса.

Объем производства реактивного топлива в Китае в 2019 году составил 54 млн т. Спрос оказался на уровне 40 млн т. Доля экспорта в производстве равна 32,6%, импорта в потреблении – 9%. Основным драйвером после снятия ограничений, связанных с пандемией, выступает увеличение численности среднего класса. Ожидается, что рынок останется профицитным в прогнозном периоде.

В ЕС в 2019 году производство реактивного топлива составило 43 млн т, спрос – 64,7 млн т. Доля импорта в потреблении оказалась на уровне 34%. После восстановления авиаперевозок ввиду снятия ограничений, связанных с пандемией COVID-19, темпы роста спроса будут низкими. Ожидается сохранение дефицитности рынка в прогнозном периоде [79].

Таким образом, анализ тенденций на рынке авиационного керосина в России позволяет сделать следующие выводы:

– До 2030 года ожидается ввод новых мощностей гидрокеркинга, которые позволят увеличить выработку топлива для реактивных двигателей на 2,4 млн т к 2030 году.

– Рост потребления связан с ростом макроэкономических показателей, сохранением долговременных трендов дальнейшего повышения мобильности населения и продолжением поддержки авиационной отрасли через субсидирование обновления парка воздушных судов и тарифов на авиационные перевозки на внутренних линиях.

– Профицитность российского рынка вырастет с текущих 2,5 млн т до 4 млн т к 2030 году в связи с опережающим вводом новых производственных мощностей над ростом спроса.

– Увеличение численности среднего класса в развивающихся странах будет поддерживать высокие темпы роста спроса на авиаперевозки в мире, однако последствия пандемии COVID-19 окажут затормаживающее действие, в результате темпы роста составят порядка 1,2% и мировой спрос на авиакеросин достигнет 343 млн т к 2030 году.

– Дополнительными потенциальными рынками сбыта на горизонте планирования могут стать Киргизия, Монголия и страны ЕС.

1.1.4 Судовое топливо

Морской и речной транспорт – важная часть транспортной системы РФ: третье место по грузообороту после железнодорожного и трубопроводного. Он ключевым образом поддерживает внешнеэкономические связи и валютную выручку, так как морем везут главным образом экспортно-импортные грузы. В стране 39 морских портов и 22 портовых пункта, крупнейшие – Санкт-Петербург, Мурманск, Архангельск, Астрахань, Новороссийск, Туапсе, Владивосток, Находка, Ванино (рисунок 17).



Рисунок 17 – Распределение потребления судового топлива

В судовом (бункерном) топливе традиционно выделяют остаточные и дистиллятные виды. Остаточные получают смешением тяжелых нефтепродуктов (мазут, гудрон, тяжелые газойли вторичных процессов) с дизельными фракциями прямогонного и вторичного происхождения, применяют в судовых котлах, как моторное топливо для мало- и среднеоборотных дизелей, а также в газотурбинных установках. Дистиллятные изготавливают из дизельных фракций с добавлением легких газойлей, они предназначены для использования в судовых высоко- и среднеоборотных дизелях, а также на газотурбинных установках.

Основные нормы для судовых топлив: международный ISO 8217, в РФ – ГОСТ 32510-2013 (на основе ISO 8217) и ГОСТ Р 54299-2010 (ИСО 8217:2010). Обязательные требования к топливу, вводимому в оборот в РФ и странах ТС, заданы ТР ТС 013/2011 (в т.ч. по содержанию серы).

На практике, несмотря на наличие двух ГОСТов, промышленный выпуск топлива по ним на российских НПЗ почти не ведется. Широко используется

мазут по ГОСТ 10585-2013 (M40, M100, Ф-5), где требования мягче и перечень показателей уже, что упрощает паспортизацию.

Остаточные топлива часто выпускают на НПЗ крупнейших нефтяных компаний по собственным корпоративным стандартам:

– ПАО «НК Роснефть» – СТО 85778267-001-2014: RME 180, RMG 380/500/700, RMLS 40/100/300;

– ПАО «Лукойл» – СТО 00148599-034-2017: RMD-80; ТУ 19.20.28-001-0596728-2017: RMB-30 (МТУ 30), RMG-180 (МТУ 180), RMG/RMK-380 (МТУ 380), RMG/RMK-500 (МТУ 500), RMG/RML-700 (МТУ 700);

– ПАО «Газпром нефть» – СТО 00148725-004-2011: ТСУ-80 (RMD 80), ТСУ-380 (RMG 380).

Значительная доля дистиллятного топлива на российских НПЗ вырабатывается по техническим условиям и собственным корпоративным стандартам, учитывающим технологические особенности выпуска судовых топлив на конкретных НПЗ. Большой объем дистиллятного топлива выпускается по ТУ 38.101567-2014 (топливо маловязкое судовое), разработанного АО «ВНИИ НП».

Кроме ТУ 38.101567-2014 выпуск дистиллятного судового топлива осуществляется на НПЗ по собственным корпоративным стандартам:

– ПАО «НК Роснефть» – СТО 85778267-002-2014: DMF (вид I–V по сере);

– ПАО «Лукойл» – СТО 00044434-031-2014: MGO DMA 0,1%;

– ПАО «Газпром нефть» – СТО 00148725-004-2011: СМТ (DMA) вид Э и вид П.

Корпоративные спецификации – общемировая практика: например, линейка низкосернистых ExxonMobil HDME 50 (0,1% S) и HDMG 50 (0,5% S) формально соответствуют RMD 80 по ISO 8217. Существует и биржевая (торговая) классификация судовых топлив (таблица 3).

Таблица 3– Соответствие торговой классификации судовых топлив и ISO 8217

Международная торговая классификация	Соответствие ISO 8217	Максимальная вязкость, сСт (при 50 °С для остаточных топлив и при 40°С для дистиллятных топлив)	Максимальное содержание серы, % масс.
HFO (Heavy Fuel Oil) Тяжелое (остаточное) топливо, которое либо не содержит дистиллятных фракций, либо их доля минимальна	Остаточное топливо RMG (RMK) 500/700	500-700	3,5
MFO (Medium Fuel Oil) Тяжелое (остаточное) топливо, которое может содержать небольшую долю дистиллятных фракций.	Остаточное топливо RMD, RME, RMG, RMK	80-500	3,5
IFO (Intermediate Fuel Oil) Тяжелое (остаточное) топливо, которое может содержать значительную долю дистиллятных фракций.	Остаточное топливо RMD, RME, RMG, RMK	80-380 (500)	3,5
MDO (Marine Diesel Oil) Дистиллятное топливо, которое может содержать небольшую долю остаточных фракций	Дистиллятное топливо DMB и остаточное RMA и RMB	11 (30)	0,10 – 1,5
MGO (Marine Gas Oil) Дистиллятное топливо, не содержащее остаточных фракций	Дистиллятное топливо DMA и DMZ	6	0,10 – 1,5
ULSFO (HFO 0,1 или ECA Fuel) Остаточные, дистиллятные или смесевые топлива с содержанием серы не более 0,1%	Пока не стандартизовано	-	0,10
VLSFO (HFO 0,5) Остаточные, дистиллятные или смесевые топлива с содержанием серы не более 0,5%	Пока не стандартизовано	-	0,5

Биржевая классификация – один из корректных подходов: она объединяет топлива разных типов и стандартов и понятна производителям и потребителям. Классификация позволяет достоверно оценивать производство и потребности рынка. Поэтому далее анализ и оценка приводятся по биржевой схеме:

- HFO – остаточные судовые топлива (содержание серы не более 3,5 масс.%);
- MGO – дистиллятные судовые топлива (содержание серы не более 1,5 масс.%);
- VLSFO – смесевые низкосернистые топлива (содержание серы не более 0,5 масс.%).

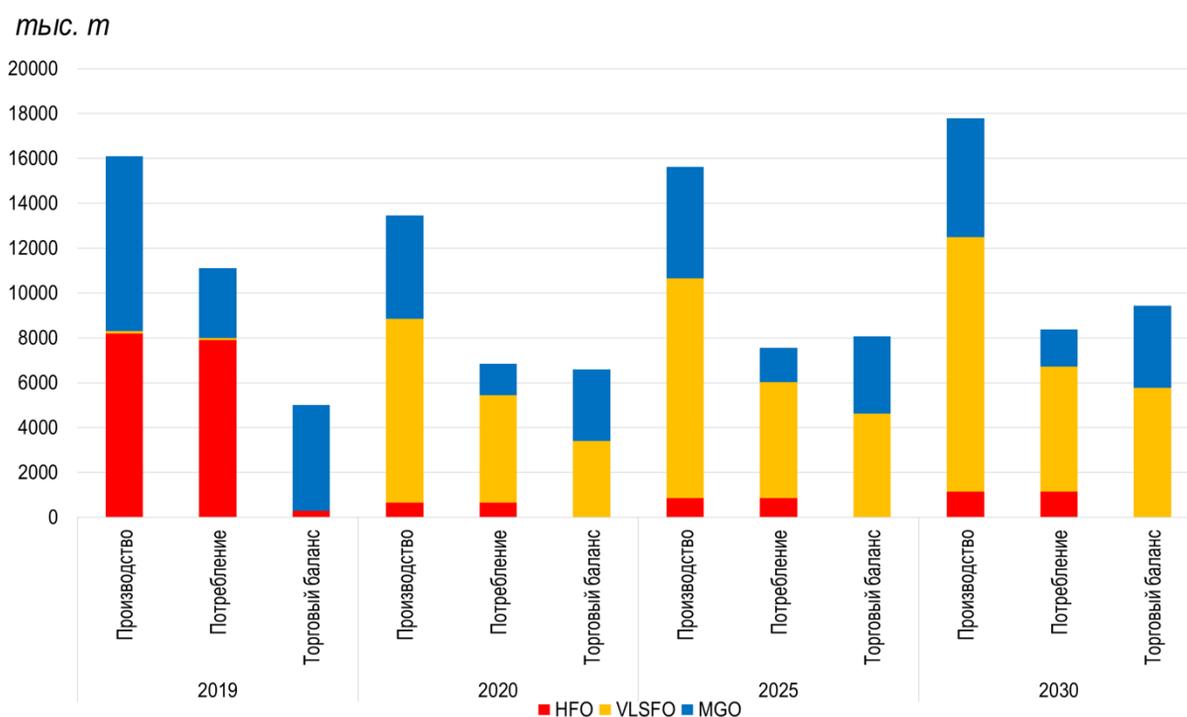


Рисунок 18 – Производство и потребление судового топлива в России

Требования MARPOL и последствия пандемии COVID-19 оказали значительное влияние на структуру российского рынка судового топлива. Уже после «ковидного» провала рынок начал восстанавливаться: в 2023 году продажи бункерного топлива в портах РФ выросли на 22,7% г/г до 7,5 млн т [80], а в 2024 году достигли 8,1 млн т (+13% г/г) [81]. На 2025 год ожидания сдержанные: по оценкам отрасли, продажи не превысят 8 млн т [82, 83]. В I квартале 2025

отмечался «парадокс»: при снижении грузооборота портов объемы бункеровки росли [84].

В мировом контексте VLSFO остается самым популярным топливом (52% выборки), далее HSFO (32%) и MGO (14%) [85]. Для России характерна выраженная региональная специфика: например, во Владивостоке в 2024 году отгружено 507,5 тыс. т, при этом «большую часть» объема составил мазут/ТСМ, остальное – дизель [86]. На российский рынок 2023–2025 гг. также повлияли временные ограничения экспорта моторных топлив и эпизодические дефициты ресурса, особенно на Дальнем Востоке [87, 88, 89]. Дополнительный регуляторный фактор – с 01.05.2025 Средиземное море стало ЕСА по сере (0,10% т/т), что усиливает спрос на MGO/ULSFO на рейсах через Мед [90].

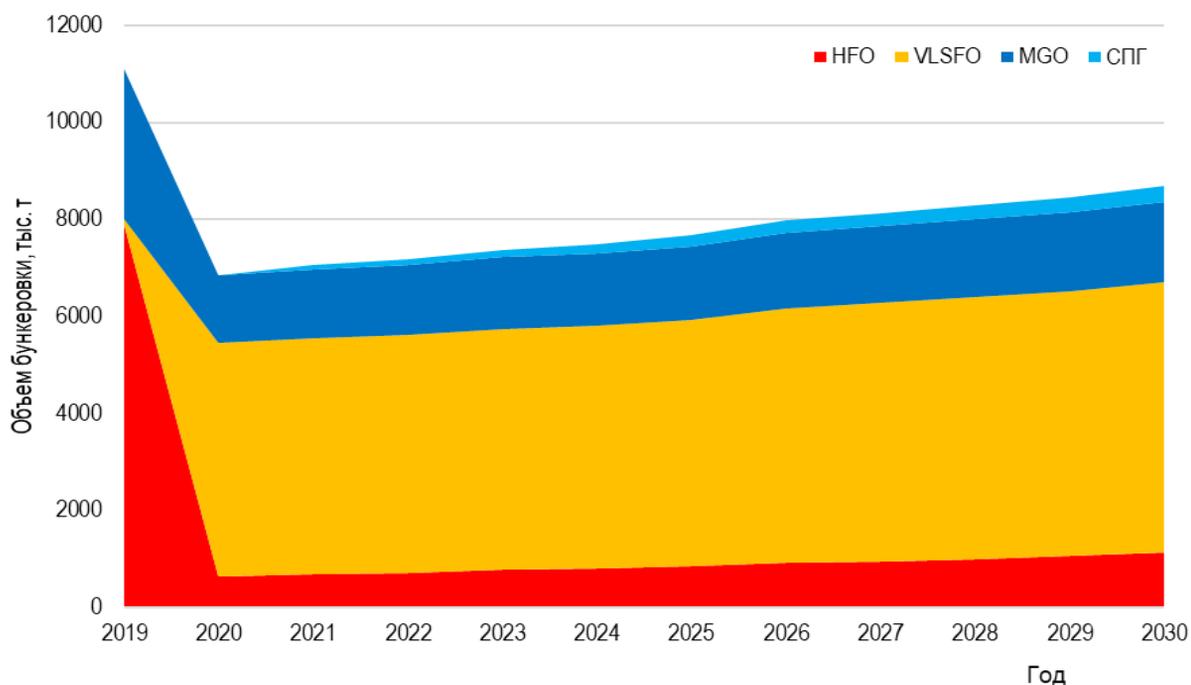


Рисунок 19 – Прогноз спроса на судовое топливо в Российский портах

В прогнозном периоде рост спроса на судовое топливо будет обеспечен увеличением объемов морских перевозок и международной торговли: по оценке UNCTAD, мировой морской грузооборот после +2,4% в 2023-м продолжит расти в среднем на 2,4% в 2025–2029 гг. [91]. На российском рынке, несмотря на восстановление после провала 2022 года, объемы бункеровки остаются ниже докризисного уровня 2019 года (11 млн т): в 2023-м реализовано 7,5 млн т, в

2024-м – 8,1 млн т, а на 2025 год профильные ассоциации и отраслевые СМИ оценивают продажи «не выше 8 млн т» [92–96]. Дополнительно на динамику транзитной бункеровки повлиял завершившийся в 2019–2024 гг. налоговый маневр, обнуливший экспортные пошлины и фактически выровнявший внутренние и внешние цены на нефтепродукты [97, 98].

На глобальном уровне VLSFO остается доминирующим сортом: по данным VPS, в 2024 году на него приходилось 52% от проверенных объемов, HSFO – 32%, MGO – 14% [99]. С учетом наращивания скрубберов доля HSFO может продолжить плавный рост, а доля VLSFO – корректироваться, но, согласно данным IMO DCS, общий расход топлив международным флотом (суда ≥ 5000 GT) в 2023 году превышал 200 млн т, и смещение структуры происходит постепенно [100]. В долгосрочной перспективе спрос на жидкие традиционные топлива будет умеренно сдерживаться альтернативами, по консервативным оценкам отрасли, доля СПГ в бункеровке к 2030 году может выйти на «низкие однозначные» значения: ориентир 6% выглядит реалистично на фоне ускоренного ввода СПГ-судов и инфраструктуры (DNV/AFI), а прогнозы ряда участников рынка допускают спрос на LNG-бункеринг до 30 млн т к 2030 году (что соответствует 5–10% при общем рынке 250–300 млн т) [101–103].

Таким образом, анализ тенденций на рынке судового топлива в России позволяет сделать следующие выводы:

- Спад объемов бункеровки в 2020 г. был обусловлен простоем речного и туристического флота и снижением морских перевозок из-за пандемии, а также падением транзитной бункеровки вследствие последствий налогового маневра (выравнивание внутренних и внешних цен). В дальнейшем рынок восстанавливался: 7,5 млн т в 2023 г. и 8,1 млн т в 2024 г., однако к уровню 2019 (около 11 млн т) не вернулся, на 2025 г. ожидается около ≤ 8 млн т.

- На горизонте прогнозирования наибольшие темпы роста ожидаются у VLSFO и MGO вслед за умеренным ростом мировой морской торговли (2,4% в среднем в 2025–2029 гг.), HFO частично восстановится по мере расширения спреда VLSFO/HFO и сокращения срока окупаемости скрубберов. Точечные

оценки прироста (в тыс. т) от базового 2020 г. считаем неактуальными из-за изменившейся базы 2023–2025 гг., целесообразно использовать сценарные коридоры. Дополнительный сдерживающий фактор – рост альтернативных топлив, прежде всего СПГ.

– У российского рынка сохранен значительный потенциал производства низкосернистых сортов, но устойчивого профицита не наблюдается из-за регуляторных ограничений экспорта в 2023–2025 гг. и периодических дефицитов ресурса (особенно на Дальнем Востоке). Вывод: говорить об увеличении профицитности преждевременно.

– После 2022 г. наблюдается умеренная коррекция долей: глобально VLSFO остается доминирующим сортом, тогда как HSFO прибавляет за счет части флота со скрубберами, MGO стабилен в нишах маневров/портов/ЕСА. В целом смещение структуры происходит постепенно.

1.2 Интегральная оценка перспективности основных видов моторных топлив

По результатам анализа рынков была выполнена интегральная оценка перспективности рассматриваемых продуктов в виде выставления им суммарного балла от 0 до 100 при реализации на внутреннем или экспортных рынках. Результаты приведены на рисунке 20. При этом диаметр круга соответствует объему российского рынка данного продукта.

В результате низкоперспективными продуктами для производства на базе ЯНПЗ были признаны следующие нефтепродукты: авиационный бензин, топочный мазут, базовые и товарные масла, нефтя, технический углерод, МТАЭ, продукты нефтехимии: этилен, пропилен, полиэтилен, полипропилен, бутан-бутиленовая фракция, толуол, стирол, метилэтилкетон, продукты переработки возобновляемого сырья: биоэтанол и биодизель FAME.

Расширенный перечень перспективных продуктов представлен следующими нефтепродуктами: автомобильный бензин, реактивное топливо,

дизельное топливо, судовое топливо, битумы, СУГ, МТБЭ, высокооктановые компоненты бензина, нефтяной кокс, сера, продуктами нефтехимии: бензол, ксилолы, н-бутиловый спирт, изобутиловый спирт, 2-этилгексильный спирт, терефталевая кислота, метилметакрилат, полиметилметакрилат, фенол, ацетон, изопропилбензол, изопропиловый спирт, метилизобутилкетон, линейные алкилбензолы и их сульфонаты, продуктами переработки возобновляемого сырья: биодизельный компонент HVO.

Для расширенного перечня перспективных продуктов было решено рассчитать относительную маржинальность производства на текущий момент и на горизонте 2025-2030 годов, а также составить потенциальные поточные схемы НПЗ, предполагающие максимальный синергетический эффект между установками.

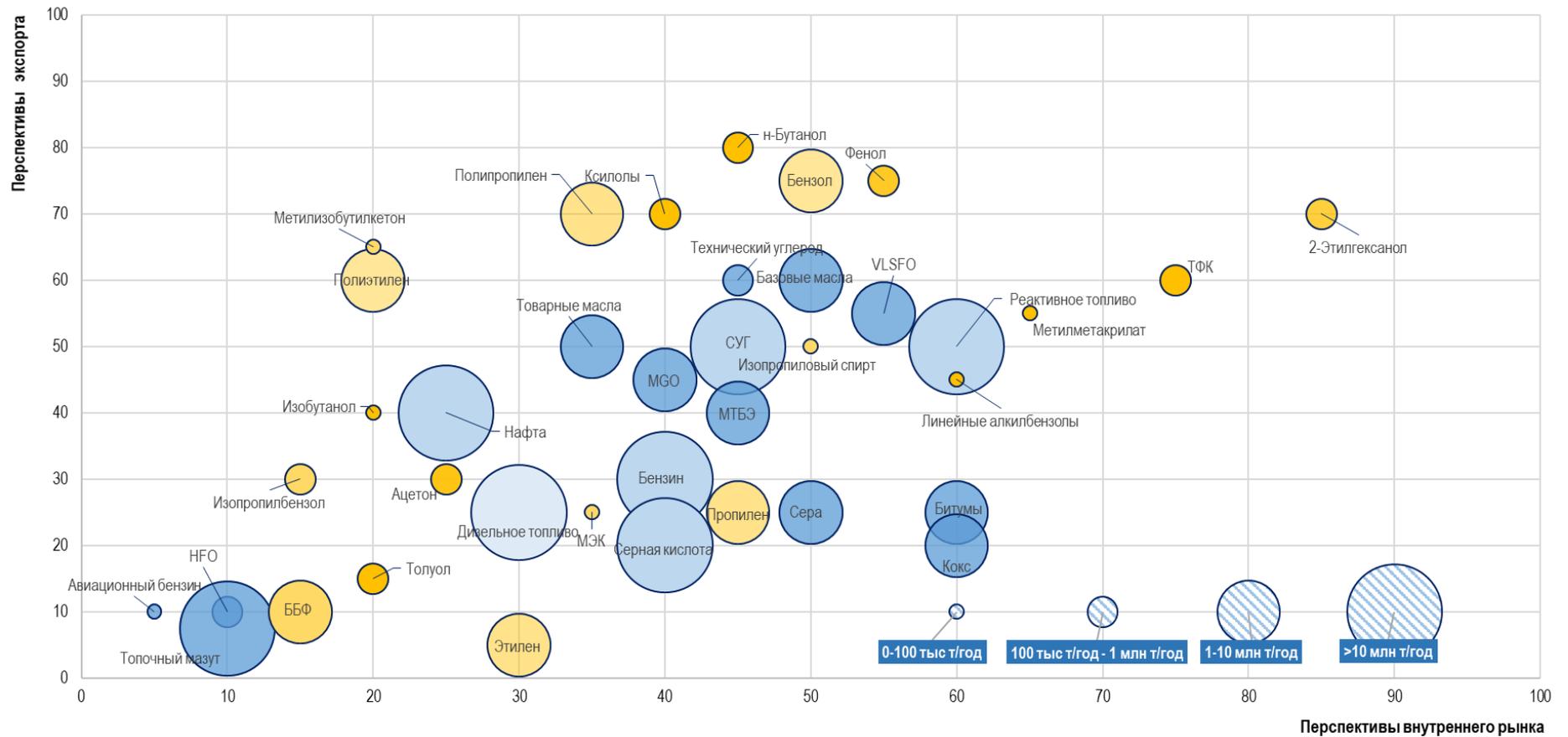


Рисунок 20 – Интегральная оценка перспективности рассматриваемых продуктов на внутреннем и внешних рынках

Для оценки потенциальной маржинальности производства необходимо определить величину ключевых параметров, определяющих цену конечного продукта: себестоимость его производства, цену реализации с учетом налоговой составляющей, а также среднюю цену транспортировки с учетом расположения основных рынков потребления. Оценочные расчеты себестоимости и цены реализации было решено проводить на базе 2019 года, так как более свежие данные 2020 года по ряду продуктов являются абсолютно нерелевантными из-за ситуации со всемирной пандемией. При этом, если рынок продукта существенно изменился по несвязанным с пандемией причинам, учитывались и более свежие данные, например, для судового топлива рассматривались показатели вплоть до начала 2021 года.

Основной составляющей себестоимости любого продукта является цена используемого сырья. В случае НПЗ сырьем является нефть, цена которой была принята на уровне 20 тыс. рублей за тонну по среднему значению стоимости барреля марки Urals в 2019 году с учетом экспортной пошлины. Выбранная цена содержит в себе НДС и учитывает наличие обратного акциза на нефть для ее переработчиков.

Кроме стоимости сырья в себестоимость также входят капитальные и эксплуатационные затраты. Капитальные затраты учитывали стоимость самой установки в пределах ее границ, а также стоимость общезаводского хозяйства. Расчет капитальных затрат производился в соответствии с методикой, изложенной в руководстве ASTM [103]. Стоимости установок, полученные в соответствии с данной методикой, были скорректированы на инфляцию и на региональный фактор, связанный со стабильно более высокими ценами на аналогичные установки в России по сравнению с США. Операционные расходы рассчитывались, исходя из общедоступных расходных показателей различных процессов, изложенных в ряде справочников, руководств и технической документации, с учетом текущих цен на энергоресурсы, труд и вспомогательные реагенты [104, 105].

В случаях, когда полученные на установке продукты в равной мере являются целевыми, стоимость сырья, капитальных и эксплуатационных затрат установки

равномерно по всем продуктам. Например, в процессе риформинга с получением ароматических углеводородов целевыми продуктами являются бензол, толуол и ксилолы, поэтому себестоимости их производства будут одинаковые. В случаях, когда полученные на установке продукты значительно различаются по потенциальной ценности, затраты на их производство распределялись в соответствии со стоимостью продуктов на выходе из установки (расход продукта, умноженный на его цену). Таким образом, например, бензин, дизельное топливо и гудрон на выходе с установки АВТ будут иметь разную себестоимость производства, зависящую от цен на прямогонный бензин, атмосферный газойль и гудрон.

Итоговая себестоимость производства рассчитывалась как сумма капитальных и эксплуатационных затрат всех установок, необходимых для получения товарного продукта, с учетом смесевой природы некоторых из них.

Для расчета цен и затрат на транспортировку для всех продуктов были определены основные рынки сбыта с учетом емкости рынков Кемеровской области, общероссийского спроса, а также ключевых экспортных направлений. Для основных рынков сбыта были определены средние цены реализации. За основу для определения цены были взяты данные Федеральной службы государственной статистики о средней цене производителей на ряд нефтепродуктов по регионам [106], также учитывались биржевые цены с учетом НДС и акциза [107] и данные Федеральной таможенной службы о ценах экспортных и импортных поставок [108].

Расчет транспортных расходов производился для основных рынков сбыта в соответствии с правилами перевозки и тарифами РЖД в зависимости от дальности перевозки, класса опасности груза, типа вагона и др.

Результаты расчета ключевых параметров, определяющих цену конечного продукта, а также относительной маржинальности представлены в таблице 4. Результаты представлены в долларах за тонну с целью исключения сильных колебаний ценности отечественной валюты из расчетов, а также для возможности прямого сравнения с прогнозной оценкой маржинальности.

Таблица 4 – Текущая относительная маржинальность производства

Наименование продукта	Полная себестоимость производства, долл./т	Средняя цена транспортировки, долл./т	Средняя цена реализации, долл./т	Средняя маржа, долл./т
СУГ	205	27	274	42
Бензин	291	48	381	42
Дизельное топливо	351	75	489	63
Реактивное топливо	373	63	497	61
VLSFO	184	114	333	34
MGO	214	103	368	50
Кокс	63	10	71	-2
Битумы дорожные	120	18	201	63
Сера гранулы	94	53	57	-90
МТБЭ	310	118	621	193
Бензол	426	68	555	61
Толуол	426	98	611	86
Ксилолы	426	157	735	152
Н-бутиловый спирт	334	107	697	256
Изобутиловый спирт	334	117	574	123
2-этилгексанол	506	77	1016	433
ТФК	445	119	752	188
ПММА гранулы	731	134	1387	522
Фенол	551	75	882	256
Ацетон	377	82	568	109
Изопропилбензол	390	168	638	80
Изопропанол	470	99	1094	525
Метилизобутилкетон	481	177	1106	449
ЛАБ	511	174	1045	361
ЛАБС	494	126	994	374

Из данных, представленных в таблице видно, что наименьшей маржой производства обладает гранулированная сера, что связано с ее большим перепроизводством и необходимости принудительной очистки нефтепродуктов и природного газа от ее соединений. Наибольшей маржой производства обладают изопропиловый спирт, полиметилметаакрилат, метилизобутилкетон и 2-этилгексанол, что подтверждает очевидную идею о том, что увеличение количества переделов приводит к получению продуктов с большей маржинальностью.

При оценке прогнозной маржинальности был принят ряд корректировок относительно представленной методики. Для возможности прямого сравнения

международная цена на нефть была заморожена на уровне 2019 года, однако из-за того, что к 2025-2030 году налоговый маневр будет завершен, и экспортная пошлина на нефть перестанет существовать, расчетная цена на нефть была увеличена на величину экспортной пошлины. Для большинства продуктов были пересмотрены ключевые направления сбыта с учетом прогнозов рынков данных продуктов, а также пересмотрены цены в зависимости от соотношения текущей и прогнозной дефицитности/профицитности рынков и ожидаемых мировых цен (таблица 5).

Таблица 5 – Прогнозная относительная маржинальность производства

Наименование продукта	Полная себестоимость производства, долл./т	Средняя цена транспортировки, долл./т	Средняя цена реализации, долл./т	Средняя маржа, долл./т
СУГ	230	22	300	48
Бензин	329	48	412	35
Дизельное топливо	401	75	519	42
Реактивное топливо	426	63	547	57
VLSFO	207	114	369	48
MGO	241	103	405	61
Кокс	71	10	76	-5
Битумы дорожные	136	18	217	64
Сера гранулы	96	57	65	-88
МТБЭ	325	118	656	213
Бензол	481	68	587	39
Толуол	481	98	638	60
Ксилолы	481	132	740	128
Н-бутиловый спирт	358	100	801	343
Изобутиловый спирт	358	117	603	128
2-этилгексанол	530	68	1114	517
ТФК	481	115	767	171
ПММА гранулы	755	120	1321	446
Фенол	634	69	928	224
Ацетон	434	82	682	166
Изопропилбензол	435	153	696	107
Изопропанол	551	124	1268	593
Метилизобутилкетон	563	165	1230	502
ЛАБ	552	169	1026	304
ЛАБС	524	157	982	301

На горизонте планирования ожидается падение общей маржинальности нефтепереработки в первую очередь за счет снижения маржи производства основных светлых нефтепродуктов: бензина, дизельного и реактивного топлив. Наибольшее относительное падение маржинальности будет наблюдаться у линейных алкилбензолов и их сульфоновых кислот, что связано с сильным снижением дефицитности отечественного рынка данных продуктов на горизонте 2025-2030 годов. Наибольший рост будет достигнут у н-бутанола и 2-этилгексанола, что связано со значительным дефицитом 2-этилгексилового спирта, наблюдаемым после 2019 года, и связанностью объемов производства данных продуктов.

1.3 Выводы и постановка задач исследования

Проведенный обзор современного состояния рынков и технологий основных моторных топлив показывает, что в России сформировались устойчивые, но различающиеся по характеру балансы: по автомобильным бензинам – общий профицит на фоне стагнирующего внутреннего спроса и региональных 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 подтверждена ресурсная и технологическая возможность повышения октанового числа за счет конструирования композиций на основе низкооктановых фракций с вовлечением высокооктановых компонентов нефтехимического происхождения. Сопоставительные исследования влияния

компонентного состава на детонационную стойкость и фракционный профиль промышленного сырья позволяют определить рациональные диапазоны дозировок и подтверждают достижимость товарных классов АИ-95/АИ-98 при соблюдении ограничений по испаряемости и давлению насыщенных паров. Это формирует практическую базу для разработки высокооктановых бензиновых композиций и их квалификационных испытаний.

По дизельному топливу модернизация и перераспределение потоков ведут к приросту выпуска и росту доли продукта экологического класса К-5. 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 Джет А-1, востребованного на экспорт. Технически перспективно формирование Джет А-1 без противоизносной присадки за счет корректного подбора узких фракций негидроочищенных дистиллятов при соблюдении профильных спецификаций, что открывает окно для увеличения добавленной стоимости в экспортной корзине.

Рынок судовых топлив после «ковидного» снижения демонстрирует восстановление, но остается структурно и нормативно изменчивым: требования MARPOL и расширение зон ЕСА усиливают спрос на низкосернистые сорта (VLSFO, MGO). Российская практика широкого применения корпоративных стандартов дополнительно подчеркивает важность унификации продуктовой линейки под ISO 8217 и адаптации смесевых схем под меняющуюся регуляторику.

Суммируя результаты обзора, наибольший потенциал увеличения производства моторных топлив связан не столько с вводом новых мощностей, сколько с интеграцией нефтепереработки и нефтехимии, которая расширяет компонентную базу и повышает гибкость смесевых схем. В дальнейших разделах

будут детально рассмотрены два продуктовых направления: для бензинов – вовлечение высокооктановых компонентов в низкооктановую основу при обеспечении нормативных показателей качества, для керосина – добавление легкой дизельной фракции с сохранением требований к низкотемпературным характеристикам, ароматичности, вязкости, смазывающей способности и термоокислительной стабильности.

Исходя из этого, в рамках диссертационной работы предлагается решить следующие задачи:

1) Провести анализ производства основных бензиновых компонентов и добавок и выявлен потенциал получения высокооктанового бензина на основе низкооктановых бензиновых фракций с вовлечением продукции нефтехимии – изопропилового и изобутилового спиртов, а также ароматических углеводородов.

2) Выполнить сравнительные исследования влияния изо-спиртов C_3 и C_4 и ароматических углеводородов (толуола и изопропилбензола) на детонационную стойкость промышленных низкооктановых бензиновых фракций, а также на изменение показателей их фракционного состава, что позволяет обосновать направления дальнейшего проектирования рецептур.

3) Разработать новые топливные композиции высокооктановых автомобильных бензинов, провести их испытания на соответствие техническим требованиям, а также моторно-стендовые испытания.

4) Выполнить квалификационные испытания опытно-промышленной партии автобензина, полученного по предложенной технологии, и подтвердить возможность постановки продукта на серийное производство.

5) Провести анализ производства основных компонентов топлива для реактивных двигателей и выявить потенциал расширения выпуска топлива марки Джет А-1 без применения противоизносной присадки за счет вовлечения узких фракций негидроочищенных дистиллятов.

6) Выполнить исследование влияния узких фракций негидроочищенных дистиллятов на характеристики топлива для реактивных двигателей марки Джет А-1.

7) Разработать способ получения и состав топлива для реактивных двигателей марки Джет А-1 без применения противоизносной присадки с вовлечением узких фракций негидроочищенных дистиллятов и провести его испытания на соответствие техническим требованиям.

2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Объекты исследования

2.1.1 Объекты исследования при разработке технологических решений по увеличению производства автомобильного бензина

В качестве низкооктановых фракций в рамках исследований влияния спиртов С₃-С₄ и ароматических углеводородов на физико-химические и эксплуатационные свойства автомобильного бензина, полученного на основе низкооктановых углеводородных фракций, были выбраны наиболее распространенные на НПЗ РФ варианты: бензины газовые стабильные (фракция НК-170°С и НК-130°С), гидроочищенная нефтя (НК-130°С), легкий и тяжелый бензины процессы гидрокрекинга (НК-100°С и 100-130°С соответственно). Показатели качества выбранных фракций представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристики низкооктановых базовых компонентов

Показатель	Требования к АБ К5		БГС НК-170	БГС НК-130	ГО нефтя	ЛБГК	ТБГК
	ТР ТС 13/2011	ГОСТ-32513 для АИ-92-К5					
ОЧИ	Не менее 80	Не менее 92,0	49,8	59,8	63,0	75,3	64,4
ОЧМ	Не менее 76	Не менее 83,0	46,8	57,5	60,8	74,1	63,2
Массовая доля серы, мг/кг	Не более 10	Не более 10	25,7	15,0	3,7	3,8	5,4
Плотность кг/м ³	-	725,0-780,0	718,7	704,7	701,7	678,0	747,2
Фракционный состав: объемная доля испарившегося бензина, % при температуре							
70 С	-	15-50	10,0	23,2	24,5	68,9	0,0
100 С		40-70	35,0	68,9	69,0	95,5	19,3
150 С		75	87,5	100,0	100,0	100,0	100,0
КК		215	171,5	148,8	130,0	123,4	132,6

Продолжение таблицы 6

Показатель	Требования к АБ К5		БГС НК- 170	БГС НК-130	ГО нафта	ЛБГК	ТБГК
	ТР ТС 13/2011	ГОСТ- 32513 для АИ- 92-К5					
ДНП, кПа							
В летний период	35-80	35,0-80,0	36,3	49,5	52,0	82,7	11,5
В зимний период		35-100					
Бензол, %	35-100	1,0	0,3	0,4	0,5	1,14	0,91
Ароматика, %	Не более 18	Не более 18	3,0	3,2	3,5	6,07	6,84
Олефины, %	Не более 35	Не более 35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

В качестве октаноповышающих компонентов был выбран набор ароматических и кислородсодержащих компонентов, представленный в таблице 7, где также приведены их наиболее важные характеристики в качестве компонентов бензина.

Таблица 7 – Физико-химические характеристики компонентов

Параметр	Ароматические углеводороды		Оксигенаты			
	Толуол	ИПБ	ЦРПШ 3014	ИБС	МТБЭ	МТАЭ
ОЧ по исследовательскому методу	115,0	108,0	117,0	108	118,0	112
ОЧ по моторному методу	103,0	99,3	95,0	96	102,0	99
Массовая доля кислорода, %	0,0	0,0	26,7	21,6	18,2	15,7
Температура кипения, °С	110,6	152,4	82,4	108,1	82,5	86,3

2.1.2 Объекты исследования при разработке технологических решений по увеличению производства реактивного топлива

В качестве объектов исследования для разработки новых топливных композиций топлива для реактивных двигателей марки Джет А-1 были выбраны гидроочищенный керосин и легкая негидроочищенная дизельная фракция,

выкипающая при температуре 240-280°C. Показатели качества выбранных фракций представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Физико-химические характеристики компонентов

№ п/п	Наименование показателя	Норма по ГОСТ 32595	Норма по ТР ТС 013/2011	Гидроочищенный керосин	Фр. 240-280
1	Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не менее	775-840	-	782,4	856,4
2	Фракционный состав: - 10 % об. отгоняется при температуре, °С, не выше - 50 % об. отгоняется при температуре, °С, не выше - 90 % об. отгоняется при температуре, °С, не выше	не выше 205 не норм. не выше 300	не выше 205 - -	162 182 214	246 263 273
3	Температура замерзания, °С, не выше	не выше -47	не выше -47	-62	-26
4	Объемная доля ароматических углеводородов, %	не более 25	не более 25	10	30
5	Массовая доля общей серы, %	не более 0,25	не более 0,25	0,003	0,777
6	Массовая доля меркаптановой серы, %	не более 0,0030	не более 0,0030	0,0006	0,0137
7	Смазывающая способность, диаметр пятна износа, мм, не более	0,85	-	0,74	0,62

2.2 Методы исследования

2.2.1 Методы исследования при разработке технологических решений по увеличению производства автомобильного бензина

Для определения исследуемых показателей качества бензиновых компонентов, базовых смесей и топливных композиций применялись стандартизированные методы и приборы в соответствии с требованиями

нормативной документации на бензины (ГОСТ 32513-2013). Перечень использованных методов представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень методов исследования бензинов

№ п/п	Наименование показателя, единицы измерения	Метод испытания
1	Октановое число: - по исследовательскому методу, - по моторному методу	ГОСТ 8226 ГОСТ 511
2	Концентрация смол, промытых растворителем, мг/100дм ³ бензина	ГОСТ 1567
3	Индукционный период бензина, мин	ГОСТ 4039
4	Массовая доля серы, мг/кг	ГОСТ Р 53203
5	Объемная доля бензола, %	ГОСТ 32507
6	Объемная доля углеводородов, %: - олефиновых - ароматических	ГОСТ 32507
7	Массовая доля кислорода, %	ГОСТ EN 13132
8	Концентрация свинца, мг/дм ³	ГОСТ 32350
9	Концентрация марганца мг/дм ³	ГОСТ Р 51925
10	Концентрация железа мг/дм ³	ГОСТ 32514
11	Испытание на медной пластинке (3 ч при 50 °С)	ГОСТ 6321
12	Внешний вид	ГОСТ 32513 п.8.2
13	Плотность при 15°С, кг/м ³	ГОСТ 31072
14	Давление насыщенных паров, кПа:	ГОСТ EN 13016-1
15	Фракционный состав	ГОСТ 2177

Помимо стандартных методов в данной работе была использована моторно-стендовая методика оценки эксплуатационных характеристик двигателя внутреннего сгорания при работе на исследуемых бензинах.

Методика реализована с использованием поршневого двигателя 4Ч8,2/7,56 (маркировка предприятия-изготовителя ВАЗ-21124) с впрыском бензина во впускной трубопровод, с измерительной аппаратурой и нагрузочным устройством.

Двигатель ВАЗ-21124 бензиновый, четырехтактный, четырехцилиндровый, рядный, шестнадцатиклапанный, с двумя распределительными валами. Порядок работы цилиндров: 1-3-4-2, отсчет от шкива коленчатого вала. Система питания – фазированный распределенный впрыск. Управление двигателем – контроллер (Bosch, "Январь" или GM). Серийно выпускаемые двигатели оснащаются нейтрализаторами отработавших газов. Цилиндры выполнены непосредственно в

блоке. Номинальный диаметр цилиндра – 82 мм. Ход поршня – 75,6 мм. Отношение радиуса кривошипа к длине шатуна $\lambda = 1/3,2$.

Для загрузки двигателя при определении характеристик используется динамометрическое тормозное устройство электрического типа, соединенное с валом отбора мощности двигателя.

Методика проведения испытаний состояла из следующих операций:

1. Снятие скоростной характеристики при работе двигателя на испытуемом бензине при положении дроссельной заслонки $DЗ = 30\%$ по показателям крутящего момента, расхода топлива токсичности отработавших газов (ОГ).

2. Снятие нагрузочной характеристики при работе двигателя на испытуемом бензине при частоте вращения коленчатого вала $n = 3500 \text{ мин}^{-1}$ по показателям крутящего момента, расхода топлива токсичности отработавших газов (ОГ).

3. Определение количества отложений на впускных клапанах двигателя в процессе проведения стадии накопления отложений при работе двигателя на испытуемом бензине по циклу, представленному в таблице 10, в течение 30 мото-часов.

Таблица 10 – Цикл накопления отложений в бензиновом двигателе

Наименование параметра	Режим №1	Режим №2	Режим №3	Режим №4	Режим №5
Продолжительность, мин	5	10	150	10	5
Нагрузка двигателя, Н×м	0	0	30	0	0
Частота вращения коленчатого вала, мин^{-1}	900	1500	3200	2200	900

2.2.2 Методы исследования при разработке технологических решений по увеличению производства реактивного топлива

Для определения исследуемых показателей качества керосиновых компонентов, базовых смесей и топливных композиций применялись стандартизированные методы и приборы в соответствии с требованиями

нормативной документации на авиационный керосин марки Джет А-1 (ГОСТ 32595). Перечень использованных методов представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Перечень методов исследования авиационного топлива

№ п/п	Наименование показателя	Метод испытания
1	Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не менее	ГОСТ 3900
2	Фракционный состав: - температура начала кипения, °С, не выше - 10 % об. отгоняется при температуре, °С, не выше - 50 % об. отгоняется при температуре, °С, не выше - 90 % об. отгоняется при температуре, °С, не выше	ГОСТ 2177
3	Кинематическая вязкость при минус 20 °С, мм ² /с	ASTM D 445
4	Низшая теплота сгорания, кДж/кг, не менее	ASTM D 3338
5	Высота некопящего пламени, мм, не менее	ASTM D 1322
6	Кислотное число общее, мгКОН/г	ASTM D 3242
7	Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С	IP 170
8	Температура замерзания, °С, не выше	ASTM D 2386
9	Объемная доля ароматических углеводородов, %	ASTM D 1319
10	Концентрация фактических смол, мг на 100 см ³	IP 540
11	Массовая доля общей серы, %	IP 336
12	Массовая доля меркаптановой серы, %	ГОСТ 17323
13	Коррозия медной пластинки (2 ч) при температуре 100 °С, класс	ASTM D 130
14	Термоокислительная стабильность при контрольной температуре не ниже 260 °С: – перепад давления на фильтре, мм. рт. ст. – цвет отложений на трубке, баллы	ASTM D 3241
15	Взаимодействие с водой, балл: состояние поверхности раздела / разделенных фаз	ГОСТ 33908
16	Удельная электрическая проводимость без АС при температуре 20 °С, пСм/м	ASTM D 2624
17	Смазывающая способность, диаметр пятна износа, мм, не более	ASTM D 5001

3 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНА

3.1 Анализ производства основных бензиновых компонентов и добавок

Для достижения базовым бензином требований к октановому числу для той или иной товарной марки помимо его модификации посредством вторичных процессов нефтепереработки возможно добавление веществ, самих по себе обладающих высокими значениями октанового числа. Наиболее применяемые в промышленности высокооктановые добавки – это оксигенаты, в частности спирты и простые эфиры, а также ароматические соединения.

Наиболее популярными в РФ кислородсодержащими добавками к бензинам являются метил-трет-бутиловый (МТБЭ) и метил-трет-амиловый эфиры (МТАЭ/ТАМЭ). МТБЭ получают в присутствии кислого катализатора взаимодействием метанола и изобутилена, который выделяют из бутан-бутиленовой фракции СУГ. Способ получения МТАЭ схож, с получением МТБЭ – осуществляют взаимодействие метанола с изоамиленом (метилбутеном-2 или 2-метилбутеном-1), выделяемым из легких углеводородов каталитического крекинга. Таким образом, рынки МТБЭ и МТАЭ фактически не зависят от рынков других веществ, а их производство налажено в достаточно больших объемах внутри страны.

Так, МТБЭ является наиболее широко производимым высокооктановым компонентом в РФ. Так, в 2021 г. было произведено 1,1 млн т МТБЭ, а в 2023 г. это число выросло до 1,4 млн т.

Производством эфира занимается ряд НПЗ и НХК в разных регионах страны, причем на НПЗ сконцентрировано от 16,3 до 22,5 % выпускных объемов. Стоит отметить, что НПЗ производят МТБЭ преимущественно для собственных нужд, поставки на экспорт осуществлялись только Омским НПЗ в период 2020-2022 гг. Крупнейшие производители МТБЭ – ООО «Тольяттикаучук» (272,6 тыс. т за 2023 г.), АО «ГК «Титан» (226,3 тыс. т за 2023 г.), ООО «ЗапСибНефтехим» в

составе ПАО «СИБУР» (159,4 тыс. т за 2023 г.) и АО «Уралоргсинтез» (155,4 тыс. т за 2023 г.).

Распределение объемов производства по округам страны представлено на рисунке 21.

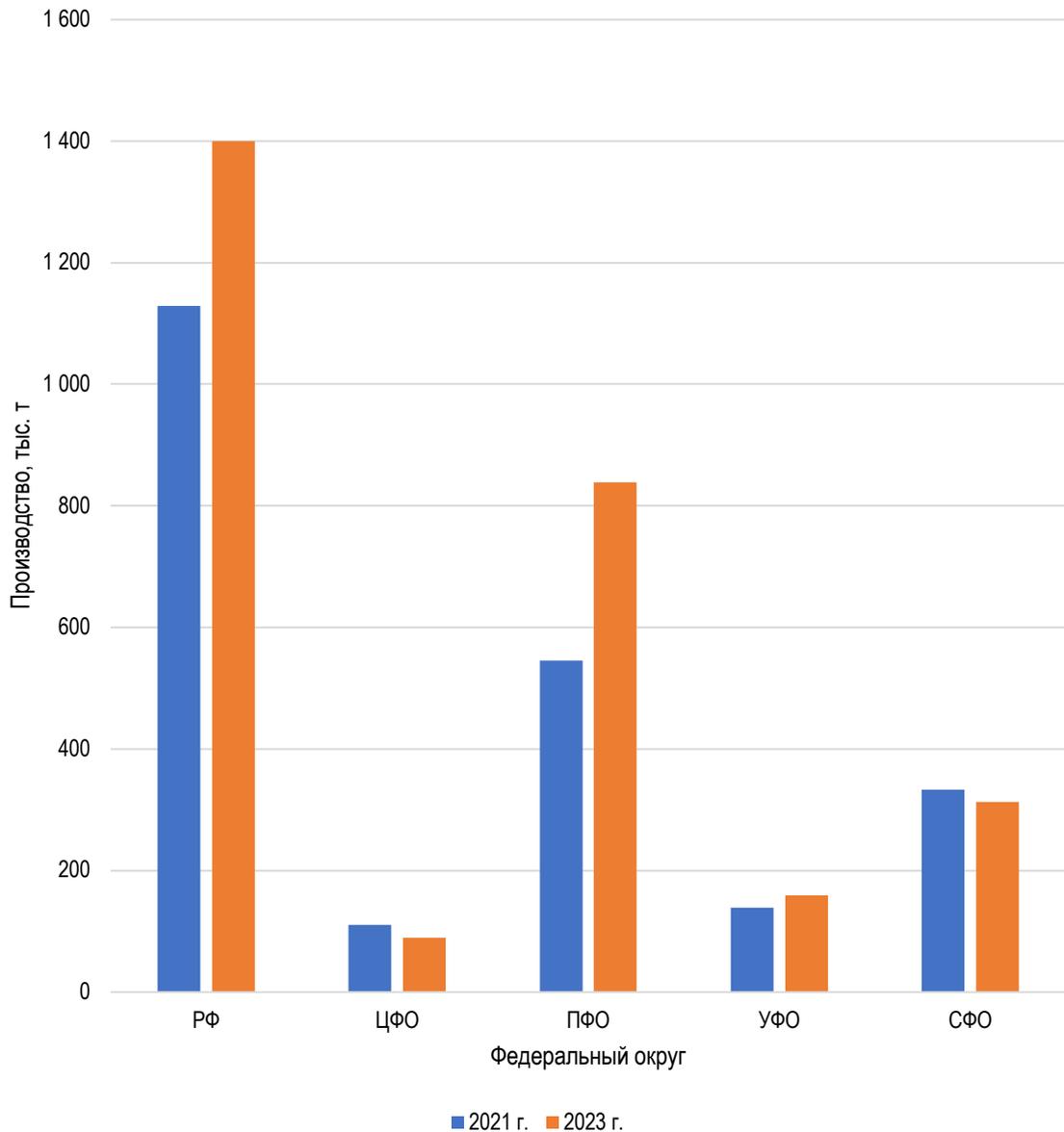


Рисунок 21– Распределение объемов производства МТБЭ по ФО РФ

Объем производства МТАЭ существенно меньше, чем у МТБЭ, что связано с более низкой октаноповыщающей способностью и ограниченностью ресурсной базы изоамиленов.

За 2021 и 2023 гг. было произведено 218,4 и 217,2 тыс. т МТАЭ, причем крупнейшим и единственным производителем чистого МТАЭ является Новокуйбышевская НХК, мощности которой достаточно для производства 300 тыс. т эфира. Еще два предприятия производят МТАЭ-содержащую фракцию на основе легкого бензина каталитического крекинга: ТАИФ-НК и Газпромнефть МНПЗ, мощности которых в пересчете на эфир равны 25 и 55 тыс. т, соответственно, однако в 2021 и 2023 гг. последнее не участвовало в производстве эфира.

Стоит отдельно отметить, что МТАЭ фактически не поставляется на экспорт и полностью реализуется на внутреннем рынке в качестве оксигената в составе товарных бензинов. Таким образом, рынок РФ по МТАЭ и МТБЭ профицитный, кроме того, при необходимости возможно наращение мощностей производства любого из эфиров.

Однако, оптовые цены на автобензин в России в 2023 году регулярно били рекорды. При этом цена на высокооктановый бензин АИ-95-К5 росла более высокими темпами по сравнению с маркой АИ-92-К5. Связано это во многом с отмечаемым дисбалансом между структурой производства и потребления двух основных марок бензина. В этих условиях для производителей топлива очень важна ситуация на рынке октаноповышающих компонентов - их цены и доступность объемов.

Безальтернативность на рынке высокооктановых добавок и горячий рынок бензинов создают условия для опережающего роста цен на МТБЭ. На рисунке 22 показано, как выросла цена на МТБЭ и автомобильный бензин за период с 2016 года по 3 квартал 2023 года. Если в 2016-2019 гг. МТБЭ стоил на 10-25% дороже автобензина АИ-92-К5, то после выхода из пандемии премия относительно бензина стала составлять 40-80% при этом цена на МТБЭ с 2016 года по 3 квартал текущего выросла на 94%.

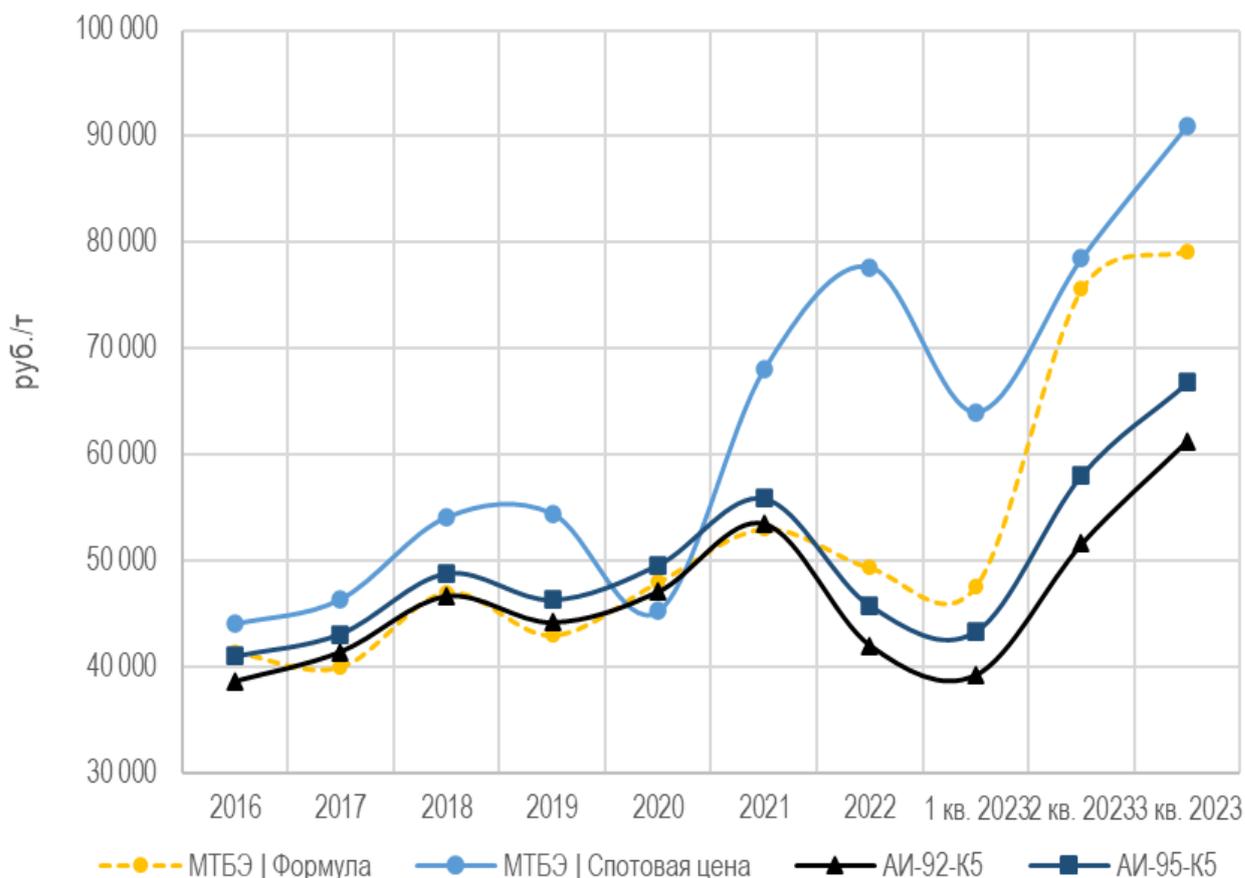


Рисунок 22 – Динамика цен МТБЭ в 2016-2023 годах

В сложившейся ситуации актуальная проблема для участников рынка МТБЭ – определение порядка ценообразования (индикативной цены). Подходы к данному вопросу могут быть разными, но если предлагать технико-экономически обоснованный вариант, то ценообразование должно зависеть от модели бизнеса применения МТБЭ. В сложившихся условиях его использование при закупке из вне (ряд НПЗ сами производят МТБЭ либо покупают его в рамках одной компании) на российских НПЗ/топливных терминалах работают в основном две модели:

1. МТБЭ используют для повышения октанового числа автобензина, преимущественно выпуская автомобильный бензин марки АИ-95-К5, вовлекая до 15% об. (в реальности от 3 до 12% об.) оксигената в базовое топливо с исходным октановым числом ОЧИ = 92-94 ед.

2. МТБЭ используют не столько для повышения октанового числа автобензина, сколько для снижения доли ароматических углеводородов на НПЗ,

имеющих в своем составе установки каталитического риформинга с непрерывной регенерацией катализатора с высокой долей ароматических углеводородов, или на НПЗ, где в принципе есть дисбаланс бензина риформинга относительно общего бензинового пула. Работая по этой модели, НПЗ зачастую могут иметь повышенное октановое число и ценность МТБЭ как октаноповышающей добавки в данном случае существенно ниже по сравнению с первым вариантом.

Для первого наиболее массового варианта формула цены на МТБЭ или других октаноповышающих добавок должна зависеть от общего уровня цены на товарный автобензин, от разницы в ценах бензинов АИ-95-К5 и АИ-92-К5, а возможно с использованием цены на АИ-100, от значения октанового числа смешения добавки и от нормы маржинальности производителя бензина (условно – блендера) на операции смешения базового топлива с добавкой. Цены на автобензин могут быть привязаны к котировкам биржи СПМТСБ. Значение октанового числа смешения – наиболее сложный технический вопрос. Октановое число – показатель, определяемый по ГОСТ 32339 [109] /ГОСТ 8226 [110] (исследовательский метод) и ГОСТ 32340 [111] /ГОСТ 511 [112]. В чистом виде для МТБЭ, как и для любой другой аналогичной добавки, данный показатель не определяется, двигатель хоть и лабораторный, но должен работать на бензине, а не на чистом кислороде, да и по стандартам на метод испытания – это недопустимо. Поэтому определяют так называемое октановое число смешения – это расчетный показатель на основе трех цифр – измеренных октановых чисел базового топлива и топлива с добавкой и концентрации добавки по формуле ниже:

$$ОЧ_{см\ вод} = \frac{ОЧ_{БД} - ОЧ_{ББ} \cdot \omega_{ББ}}{\omega_{вод}} \quad (1)$$

, где $ОЧ_{см\ вод}$ – октановое число смешения высокооктановой добавки; $ОЧ_{БД}$ – октановое число бензина с добавкой; $ОЧ_{ББ}$ – октановое число базового бензина; $\omega_{ББ}$ и $\omega_{вод}$ – массовая доля базового бензина и высокооктановой добавки в смеси соответственно.

Октановое число смешения для добавки сильно зависит от октанового числа и других характеристик базового топлива, концентрации применения добавки и содержания основного вещества (чистоты). Накопленный опыт испытаний автомобильных бензинов именно марки АИ-95-К5 различного компонентного состава, содержащих МТБЭ в концентрации от 3 до 12% об., позволяет установить значение октанового числа смешения МТБЭ в диапазоне 110-118 (среднее -115).

Используя значение октанового смешения МТБЭ по максимальной планке (118) и принимая норму маржинальности блендера в размере 20% от спреда цен между АИ-95-К5 и АИ-92-К5, формула цены на МТБЭ имеет вид:

$$C_{\text{МТБЭ}} = \frac{(C_{95} - M \cdot (C_{95} - C_{92})) - C_{92} \cdot \omega_{92}}{\omega_{\text{МТБЭ}}} - \text{Акц} * 1,2 \quad (2)$$

, где $C_{\text{МТБЭ}}$, C_{95} , C_{92} – цены на МТБЭ, автобензин марки АИ-95 и АИ-92 соответственно; $\omega_{\text{МТБЭ}}$, ω_{92} – массовая доля МТБЭ и автобензина марки АИ-92 соответственно; $\text{Акц} * 1,2$ – акциз на автобензин с учетом НДС (20%); M – уровень маржинальности производителя (блендера).

На рисунке выше помимо рыночной цены МТБЭ, даны значения, рассчитанные по приведенной формуле. Используя обе кривые, можно отметить, что в 2021-2022 годах и первом квартале 2023 года рыночная цена на МТБЭ значительно превышала технически-обоснованную – на 25-60%. Во втором квартале в результате существенного роста спреда между марками цен между АИ-95-К5 и АИ-92-К5 формульная и рыночная цены сблизилась, но в третьем – снова начался опережающий рост рыночной цены относительно «формульной», что очевидно связано с напряженной ситуацией со свободными объемами на рынке добавок.

Таким образом на 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 октаноповышающих добавок.

Рассматривая реальные альтернативы МТБЭ, имеющие потенциал быстрого внедрения в производство без ущерба качеству топлива и экологии, стоит выделить следующие варианты: ароматические углеводороды (толуол и кумол), биоэтанол, ароматические амины (N-метиланилин) и компоненты на основе высших спиртов.

В таблице 12 приведено сравнение эффективности указанных добавок по параметрам: октановое число смешения (сравнивая в равных условиях относительно значения МТБЭ 118), рыночная цена (рассчитанная по формуле выше) по состоянию на 3 квартал 2023 года и удельная стоимость повышения ОЧИ.

Как видно, октаноповышающие добавки располагаются в следующем порядке по убыванию эффективности: N-метиланилин > ЦРПП 3012 > биоэтанол > ЦРПП 3014 > МТБЭ > кумол > изобутанол > толуол > ксилолы.

Таблица 12 – Эффективность октаноповышающих добавок

Наименование показателя	МТБЭ	МТАЭ	ЦРПП 3014	ИБС	Биоэтанол	Толуол	Кумол	N-МА	ЦРПП 3012	О-ксилол	М-ксилол	П-ксилол
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
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.												

Таким образом, сегодняшнее состояние рынка автобензина, характеризуется довольно высоким напряжением со стороны производства, особенно в летний и осенний период наибольшего спроса. Кроме того, наблюдаются высокие темпы роста цен на топливо, особенно на марку АИ-95. Это сопровождается постоянным увеличением цены на практически безальтернативную октаноповышающую добавку – МТБЭ. Дополнительный объем производства высокооктановых бензинов может быть получен путем более тесной интеграции нефтепереработки и нефтехимии с использованием широкой линейки описанных высокооктановых добавок и низкооктановых бензиновых фракций.

В следующем разделе будет рассмотрено влияние спиртов C_3 – C_4 и ароматических углеводородов на физико-химические и эксплуатационные свойства автомобильного бензина, полученного из низкооктановых углеводородных фракций, а также доказан потенциал выпуска высокооктанового бензина на основе низкооктановых фракций с вовлечением данных продуктов нефтехимии.

3.2 Влияние спиртов C_3 – C_4 и ароматических углеводородов на физико-химические и эксплуатационные свойства автомобильного бензина, полученного на основе низкооктановых углеводородных фракций

Получение дополнительного объема высокооктанового бензина возможно за счет использования 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 на основе некоторых из данных фракций изучена, результаты приведены ниже.

В рамках данного исследования в качестве низкооктановых фракций используются следующие компоненты: бензины газовые стабильные ($НК-170^{\circ}C$ и

НК–130 °С), гидроочищенная нефтя (НК–130 °С), а также легкий и тяжелый бензины процесса гидрокрекинга (НК–100 °С и 100–130 °С соответственно). Показатели их качества приведены в разделе 2.1. Из результатов исследования фракций видно, что БГС с более узким фракционным составом НК-130°С обладает гораздо более высокой детонационной характеристикой, чем широкофракционный прямогонный бензин НК-170°С. 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°С. 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 с этим в рамках дальнейших исследований будет использована только одна фракция бензина газового стабильного.

В качестве перечня компонентов, повышающих октановое число, взят набор ароматических и кислородсодержащих соединений, их номенклатура и ключевые свойства в бензиновых смесях приведены в разделе 2.1.1. Кроме перечисленных компонентов для повышения детонационной стойкости использована наиболее эффективная октаноповышающая добавка на основе ароматического амина, разрешенного для применения в РФ.

Для создания топливной композиции на основе низкооктановых фракций в первую очередь следует определить октаноповышающие характеристики выбранных в рамках исследования компонентов с учетом ограничений по их вовлечению. С целью решения данной задачи были составлены опытные 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 ароматических углеводородов (толуола и изопропилбензола) представлены в таблице 13 на рисунках 23 и 24, а оксигенатов в таблице 14 и на рисунках 25 и 26.

Таблица 13 – 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

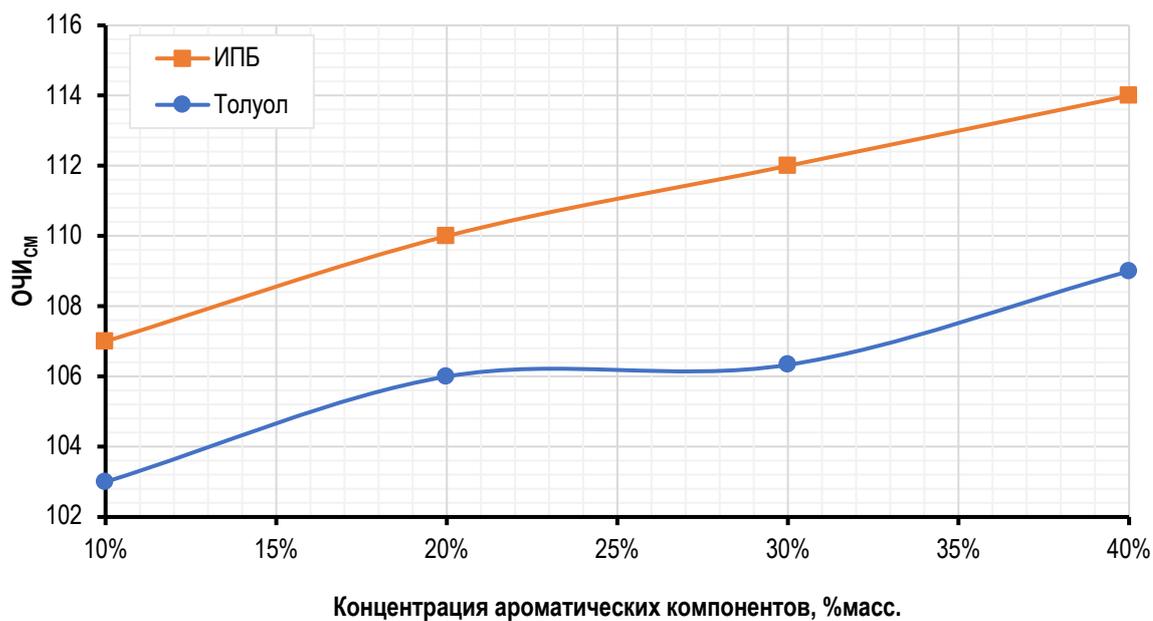


Рисунок 23 – Изменение исследовательского октанового числа смешения в зависимости от изменения концентрации ИПБ и толуола

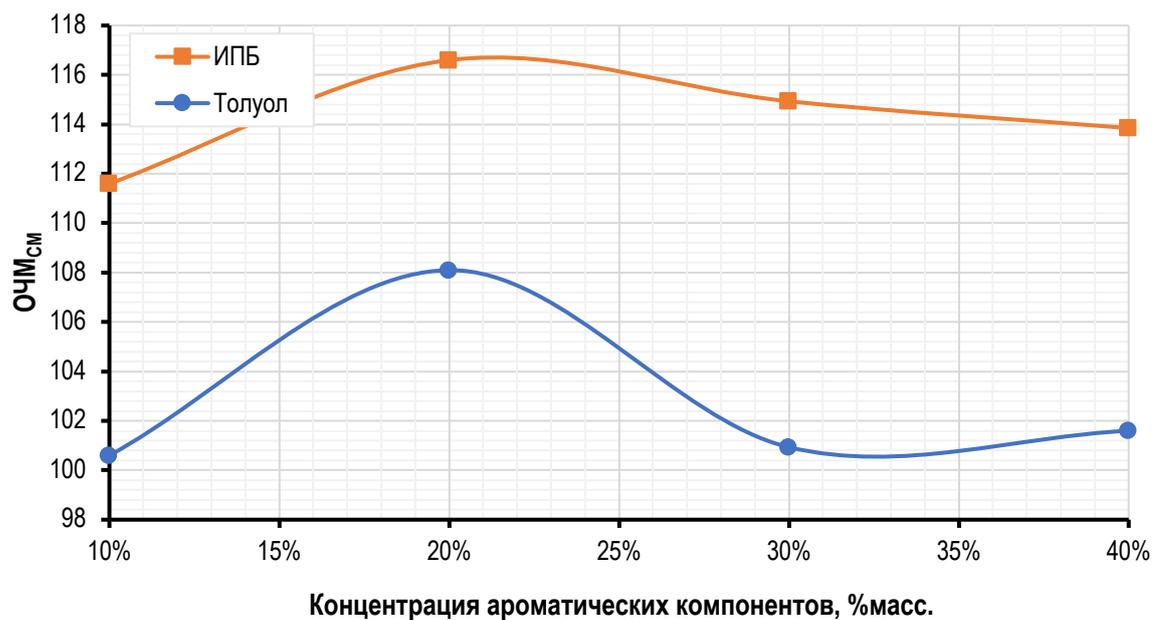


Рисунок 24 – Изменение моторного октанового числа смешения в зависимости от изменения концентрации ИПБ и толуола

Из результатов исследования октаноповышающей эффективности ароматических углеводородов видно, что на всем исследованном промежутке 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. Данный эффект не согласуется с известными 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 рисунках 25 и 26 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, что коррелирует с известным для оксигенатов эффектом экстремального изменения детонационной стойкости и ее максимального значения в среднем интервале концентраций 20-40%. При этом по моторному методу данный эффект не проявляется. Смесевая характеристика остается примерно на одном уровне, а при необходимости выделить максимум антидетонационной эффективности можно отметить точку 20%, в которой наблюдается небольшой экстремум ОЧМсм – на 2-4 единицы выше среднего. Однако данное экстремальное изменение ОЧМсм не оказывает влияние на выбор оптимальной композиции, так как по абсолютному значению октанового числа точка 20% намного ниже требований к АИ-92-К5. В целях разработки высокооктанового топлива из низкооктановой фракции более вероятным является диапазон концентраций 35-40%, в котором ОЧИ составляет 79-83 единицы, а ОЧМ – 75-82.

Из представленных результатов исследования смесей нефтя-оксигенат видно, что изученные компоненты характеризуются сильно отличающимися смесевыми характеристиками по исследовательским и моторным методам. В то время как по ИМ наиболее эффективными являются спиртовые оксигенаты – в особенности изопропанол, по ММ их эффективность существенно падает, приближаясь к характеристикам эфирных компонентов. Зависимость величины

октановых чисел смешения от концентрации для исследованных оксигенатов не однозначная и не может быть описана единой закономерностью. В среднем ОЧсм остаются примерно на одном уровне за исключением единичных выпадающих точек. В целом из анализа графиков можно увидеть, что наименьшей эффективностью характеризуется МТАЭ, поэтому в рамках дальнейших исследований данный оксигенат не используется.

Таблица 14 – Октановое число смесей нафта-оксигенат при разных концентрациях компонентов

Массовая доля оксигенатов		0%	5%	10%	13%	15%	22%
ОЧИ М	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
ОЧМ М	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

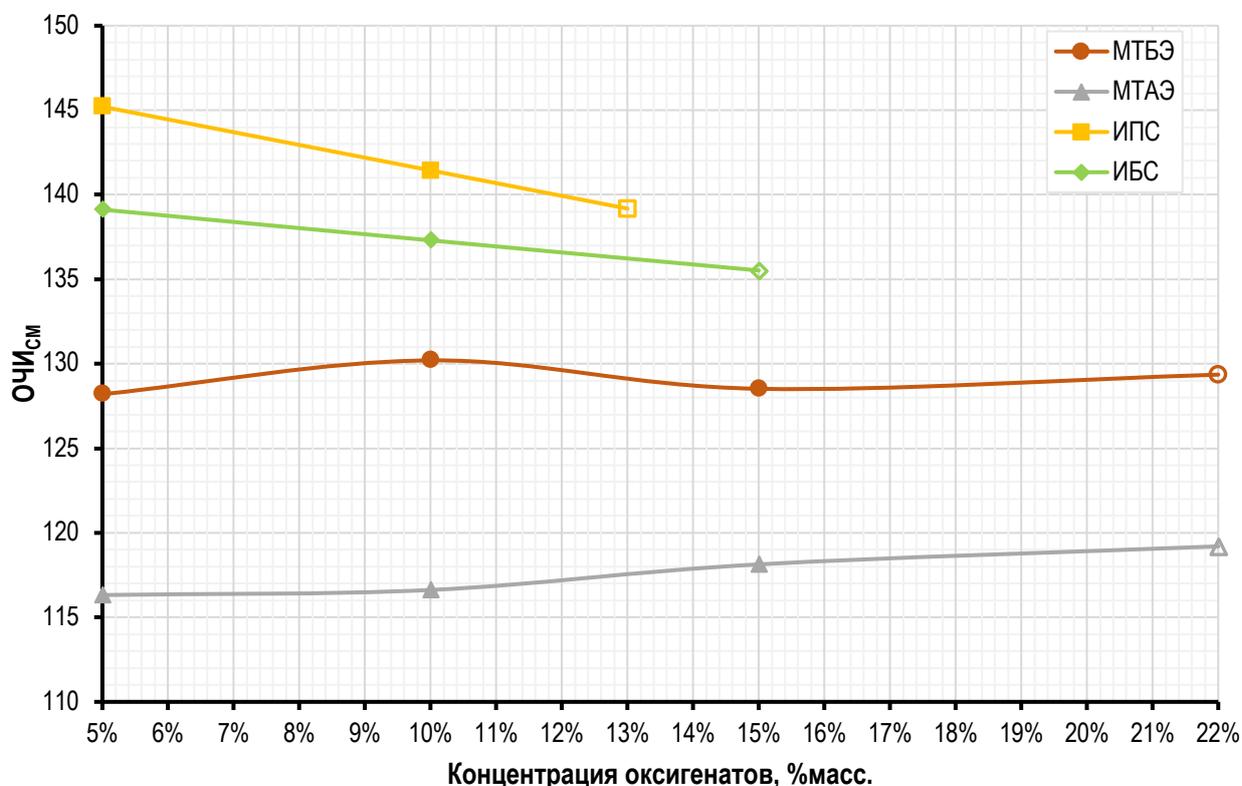


Рисунок 25 – Изменение исследовательского октанового числа смешения в зависимости от концентрации оксигенатов

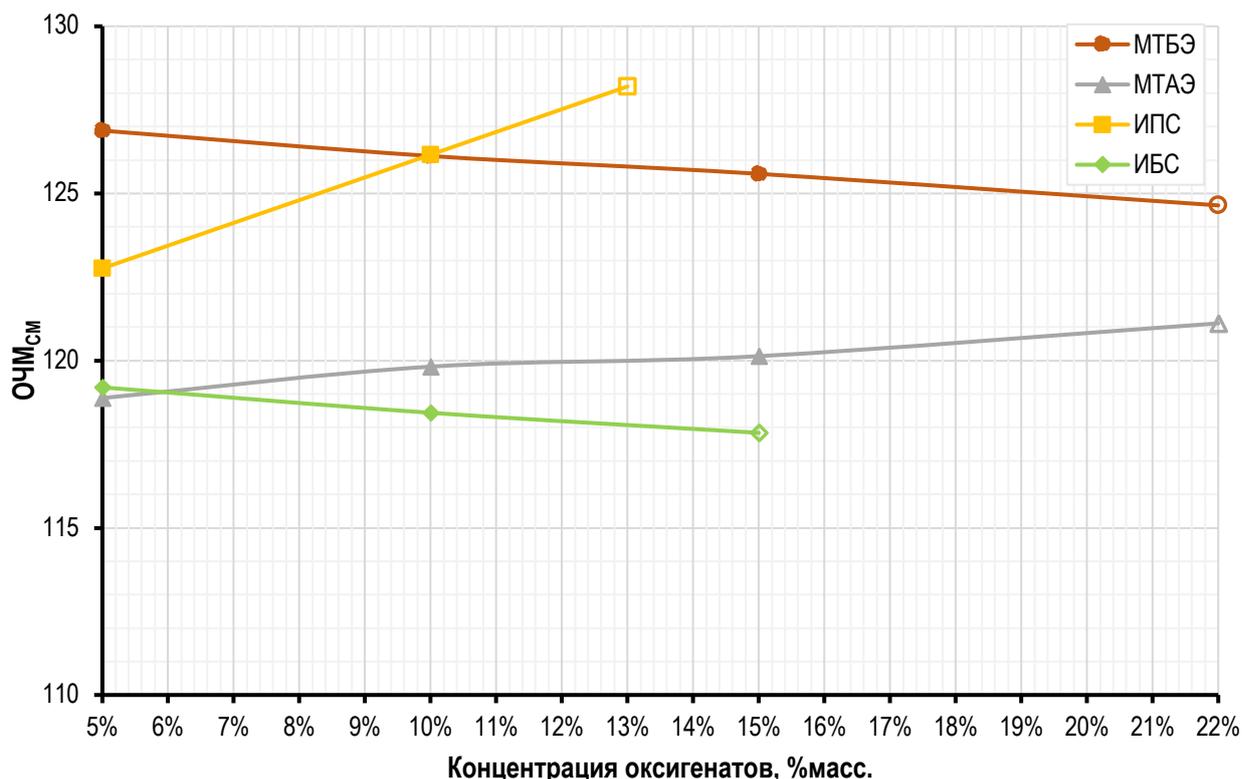


Рисунок 26 – Изменение моторного октанового числа смешения в зависимости от концентрации оксигенатов

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 дальнейшей разработки композиции автобензина АИ-92-К5 на основе низкооктановых фракций было исследовано влияния различных оксигенатов на октановое число смеси нефти и изопропилбензола (как наиболее эффективного ароматического компонента) в концентрации 36% масс. В смесь также был введен компонент ЦРПП 3012 в концентрации 1,3% масс. С учетом полного набора октаноповышающих компонентов цель исследования свелась к достижению минимального уровня детонационной стойкости для бензина АИ-92-К5 – не менее 92 по исследовательскому методу и не менее 83 по моторному. Результаты исследования представлены на рисунке 27 и 28. Из представленных данных видно, что получение бензина марки АИ-92-К5 на основе изопропанола возможно при небольшом увеличении доли ароматического компонента – до 37-38%. В случае

МТБЭ, наоборот, возможно снижение концентрации ароматики при необходимости. Для изобутанола достижения целевого октанового числа возможно только при расширении допустимой концентрации до 15%, что соответствует перспективной доли кислорода – не более 3,7%.

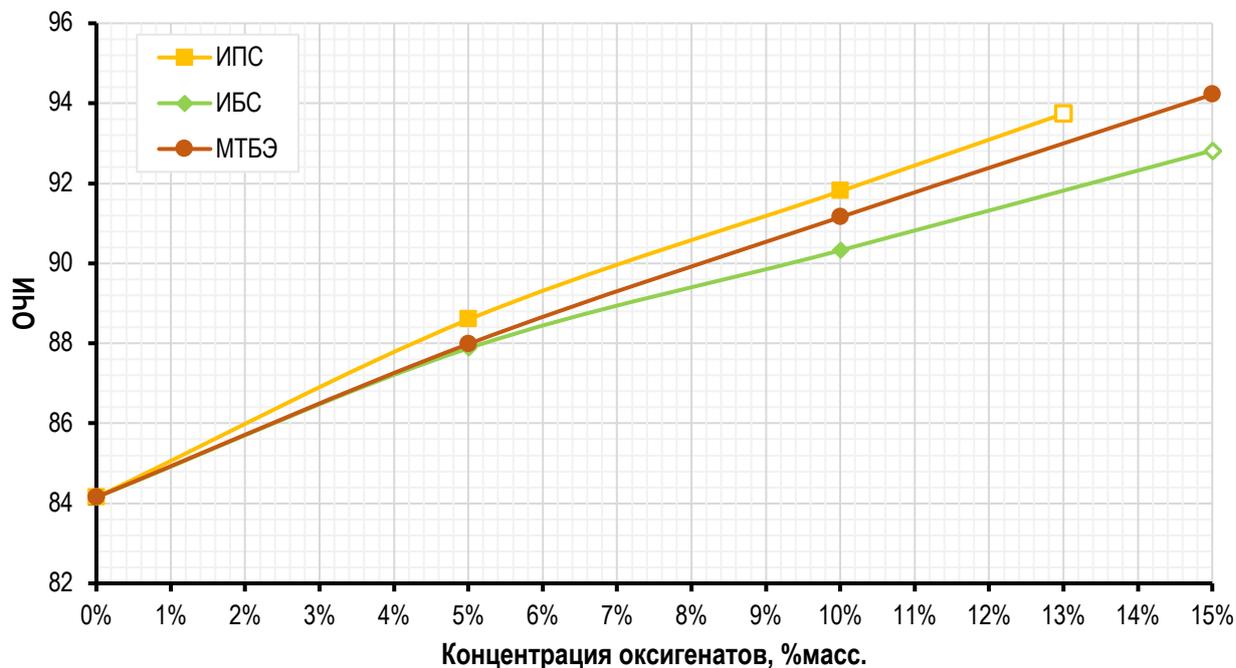


Рисунок 27 – Зависимость ОЧИ смесей нефтя + 36 % масс. ИПБ + 1,3% масс. ЦРПП 3012 + оксигенат от концентрации оксигенатов

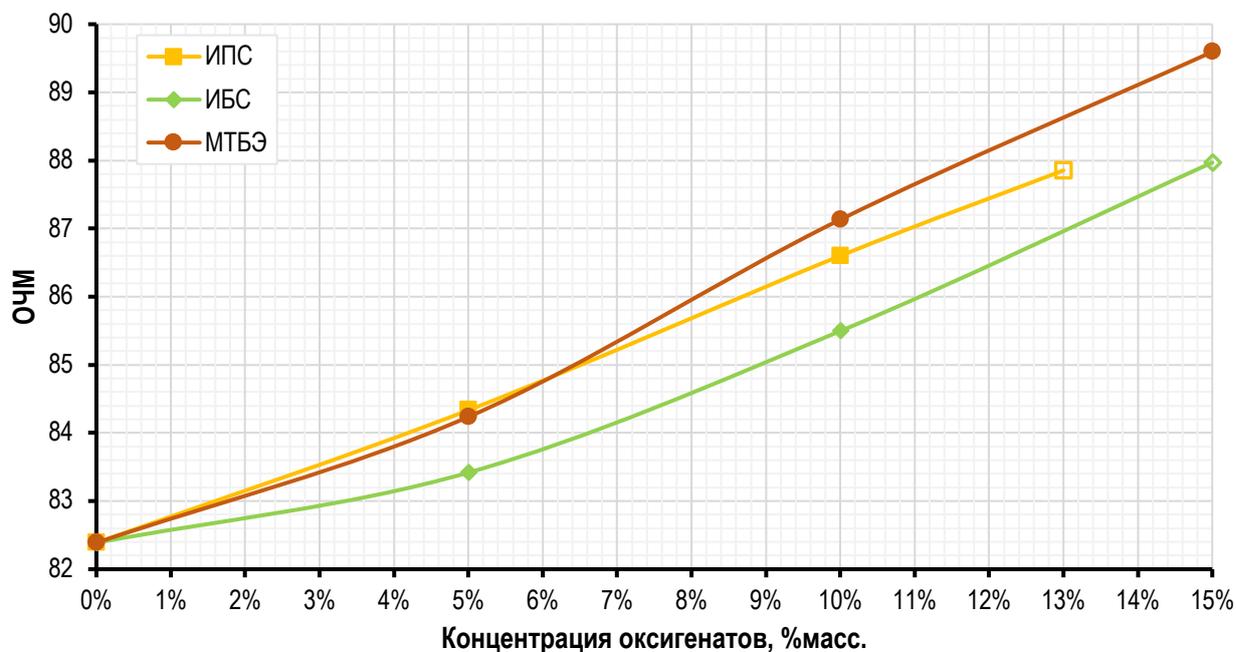


Рисунок 28 – Зависимость ОЧМ смесей нефтя + 36 % масс. ИПБ + 1,3% масс. ЦРПП 3012 + оксигенат от концентрации оксигенатов

3.3 Влияние азеотропообразующих оксигенатов на фракционный состав бензинов

Из-за своей неуглеводородной природы предлагаемые к использованию оксигенаты нелинейно влияют на фракционный состав топлив [110]. На рисунке 29 представлены результаты определения фракционного состава различных смесей нефти, изопропилбензола, октаноповышающей добавки ЦРПП 3012 и ряда оксигенатов. Из подобных графиков можно заметить нелинейные изменения фракционного состава, однако их сложно оцифровать и сопоставить между собой. В связи с этим стандартные кривые изменения доли отгона бензина от температуры были отформатированы в вид, представленный на рисунках 30-33. 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.

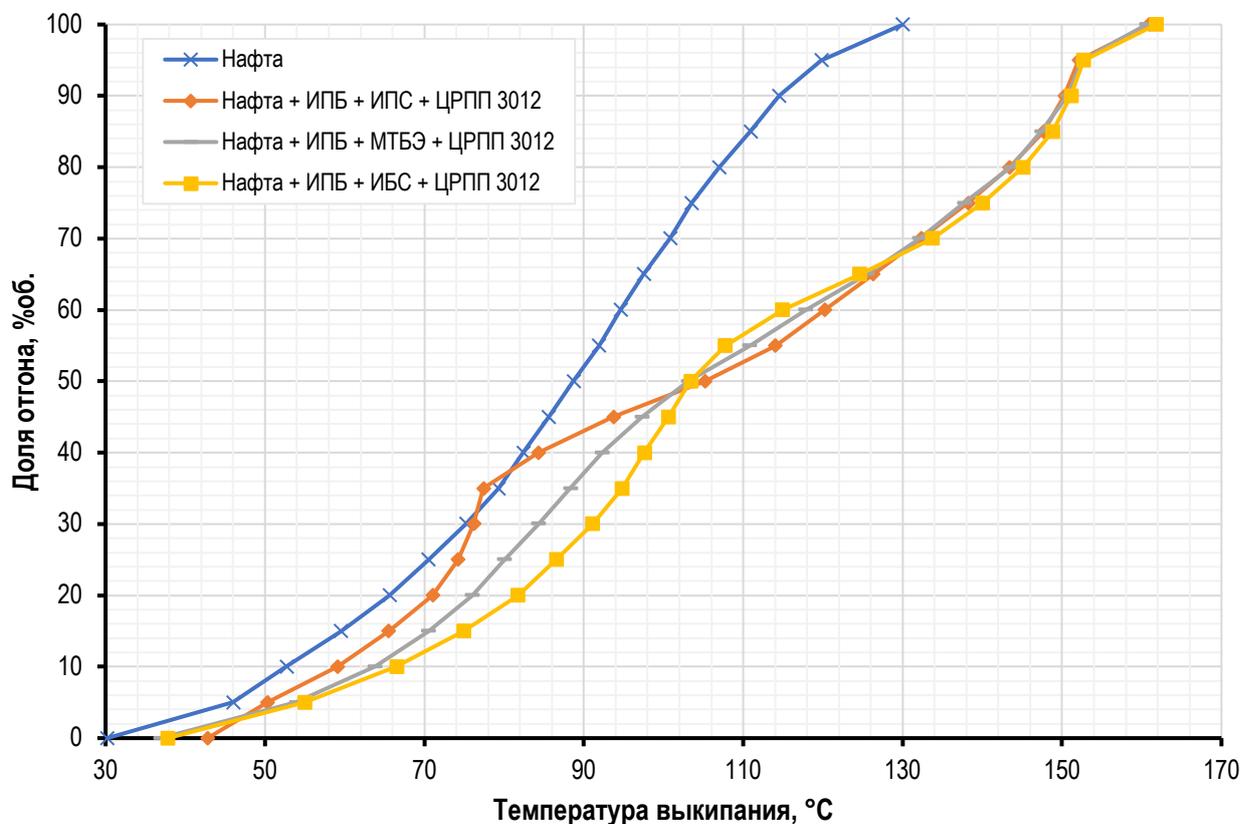


Рисунок 29 – Фракционный состав исследуемых композиций

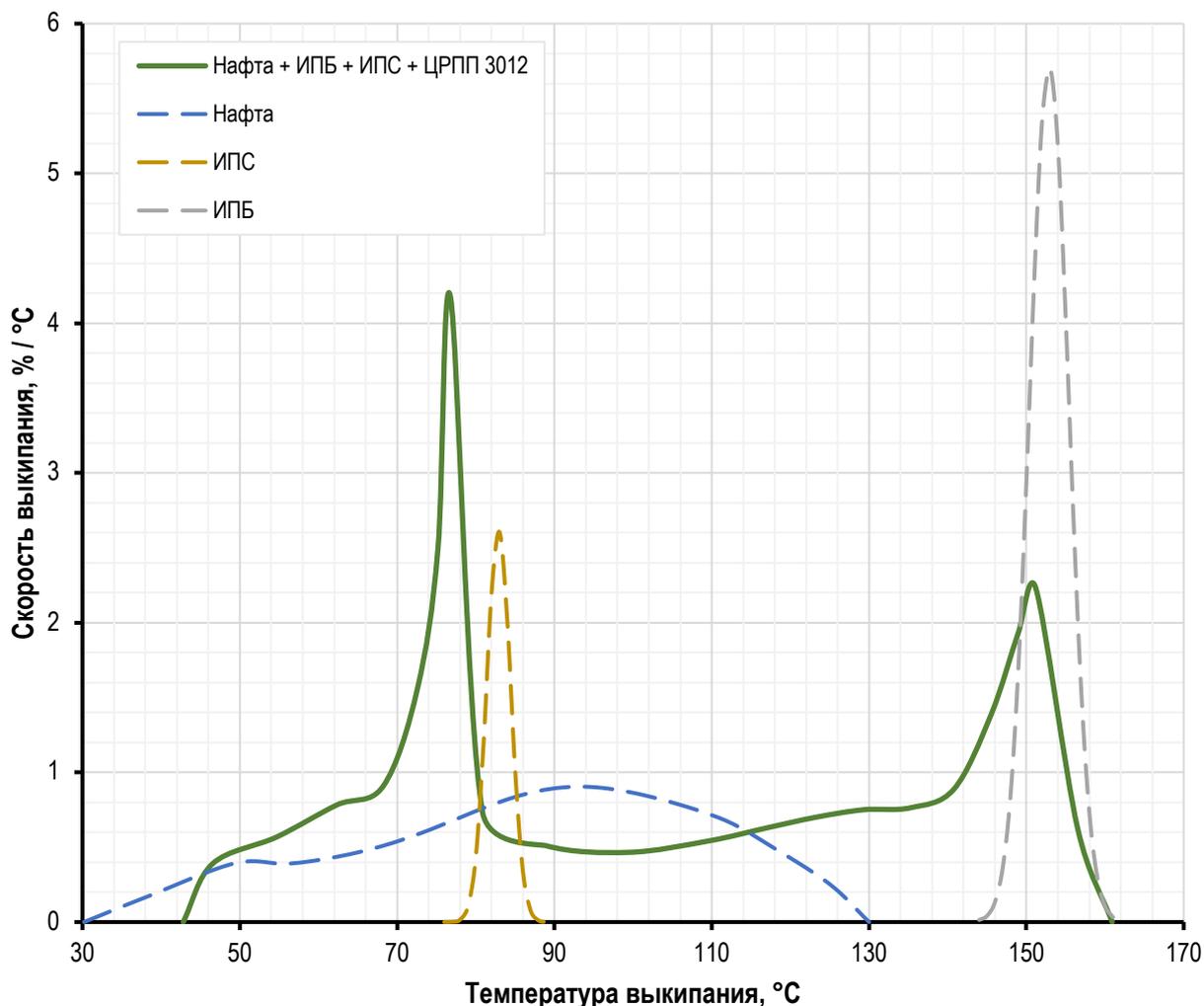


Рисунок 30 – Скорость выкипания композиции, состоящей из нефти, ИПБ, ИПС и ЦРПП 3012, при различных температурах

Наиболее нелинейное изменение фракционного состава бензина можно заметить у смеси, содержащей изопропиловый спирт. На рисунке 30 представлен температурный профиль выкипания бензина, содержащего 52,7% нефти, 36% изопропилбензола, 10% изпропилового спирта и 1,3% ЦРПП 3012, а также эти же компоненты, но кипящие независимо друг от друга с учетом доли их вовлечения (ЦРПП 3012 не представлен из-за малой доли и высокой температуры кипения). 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. До 80°C наблюдается

значительное превосходство объем 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 ее 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 увеличению содержания фракции НК- 70°C – на графике видно, что скорость выкипания бензина существенно превышает показатель нефти в этом интервале. Но это изменение не настолько критическое как в диапазоне $70-80^{\circ}\text{C}$, где выкипают азеотропы спирта с углеводородами, кипящими выше 80°C . Таких веществ в составе бензина намного больше, а температуры кипения их азеотропов практически не зависят от самого углеводородного компонента и определяются только природой спирта, что приводит к наличию ярко выраженного экстремума скорости выкипания на 77°C .

Увеличение доли выкипающих в интервалах НК- 70°C и $70-80^{\circ}\text{C}$ фракций приводит также к провалу скорости выкипания при температурах выше 80°C . На рисунке 8 данный недостающий объем нефти можно выделить как область между кривой выкипания бензина и нефти, которые пересекаются примерно на 81 и 115°C . 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.

С учетом всех вышеописанных закономерностей распределения компонентов бензинов по температурам выкипания был составлен комбинированный профиль кипения бензина в разбивке по его составным частям, представленный на рисунке 31.

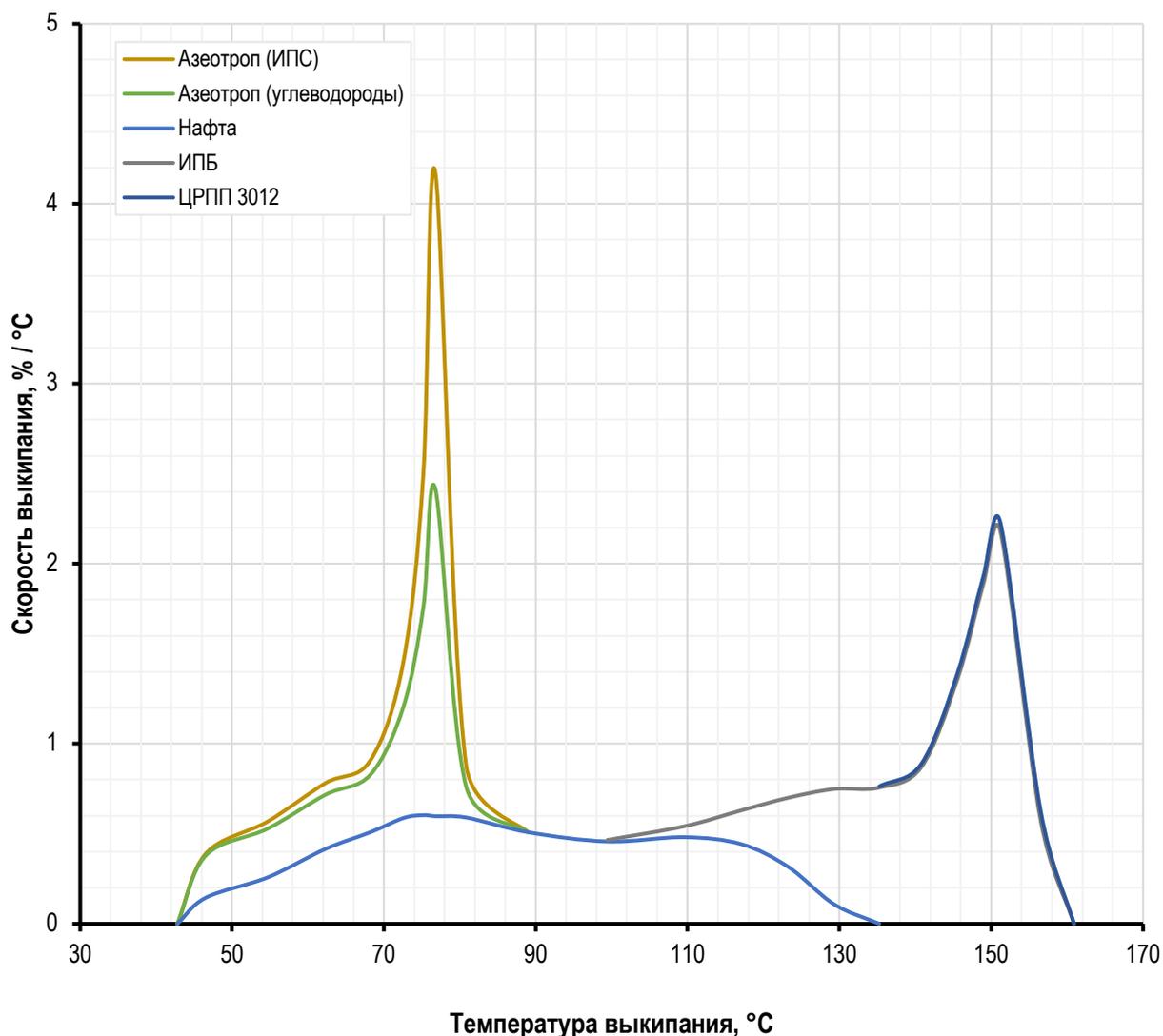


Рисунок 31 – Скорость выкипания по компонентам

Помимо изначальных компонентов смеси на рисунке также представлен как отдельная составляющая углеводородная часть азеотропа, состоящая из тех углеводородов, что выкипают при нехарактерных для них температурах, в том числе в области экстремума при 77°C.

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), который, напротив, кипит позднее температуры кипения чистого компонента. Профиль кипения бензина с данным оксигенатом приведен на рисунке 32.

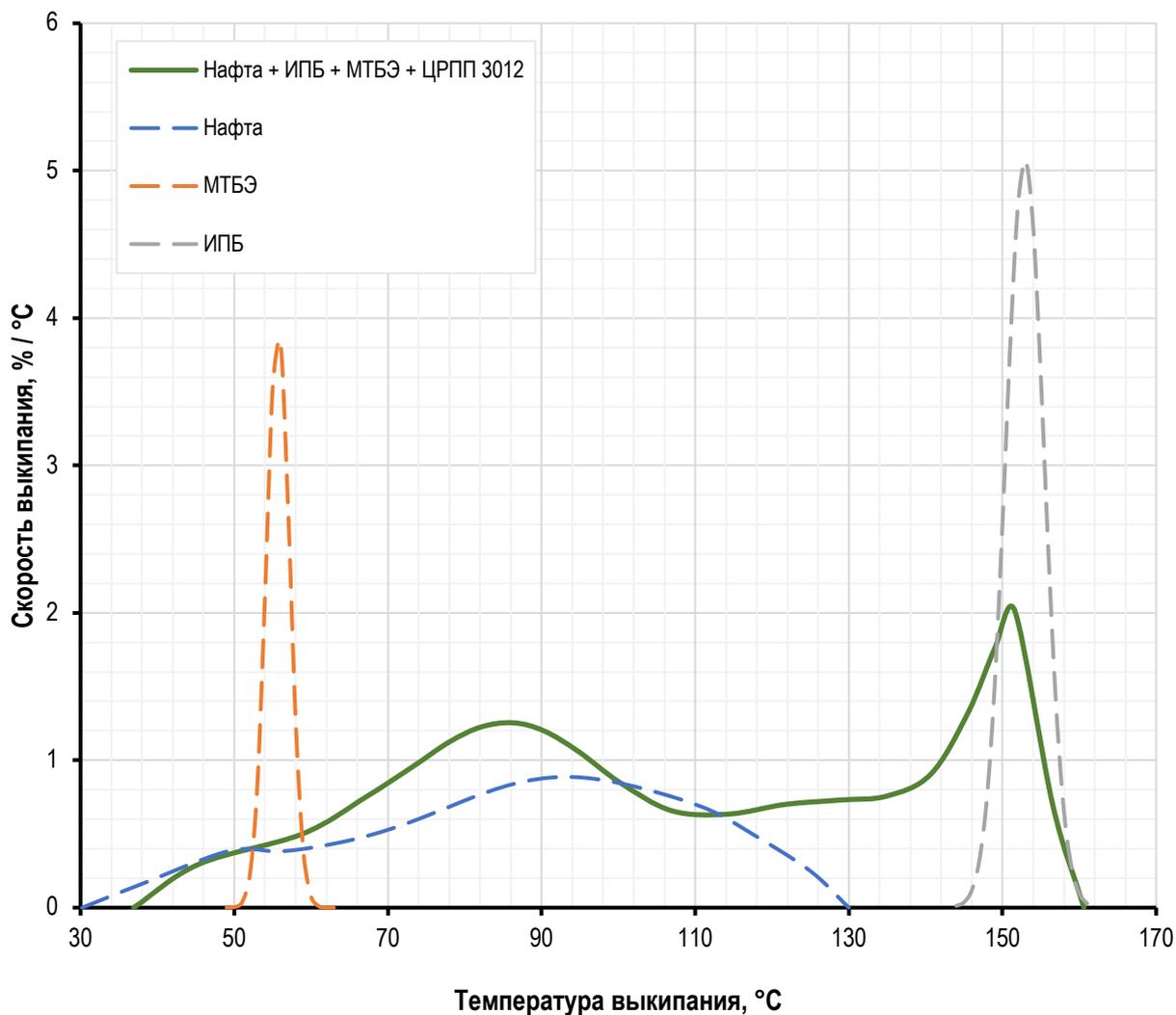


Рисунок 32 – Скорость выкипания композиции, состоящей из нефти, ИПБ, МТБЭ и ЦРПП 3012, при различных температурах

Профиль кипения композиции, в состав которой входят 51,7% нефти, 32% изопропилбензола, 15% МТБЭ и 1,3% ЦРПП 3012, также не подчиняется правилу аддитивности. В результате межмолекулярных взаимодействий отсутствует провал в области 130-150°С, где кипение чистых компонентов не происходит, а пик, характеризующий пределы выкипания эфира смещен с 55°С в область 88-90°С.

Эффект 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 33.

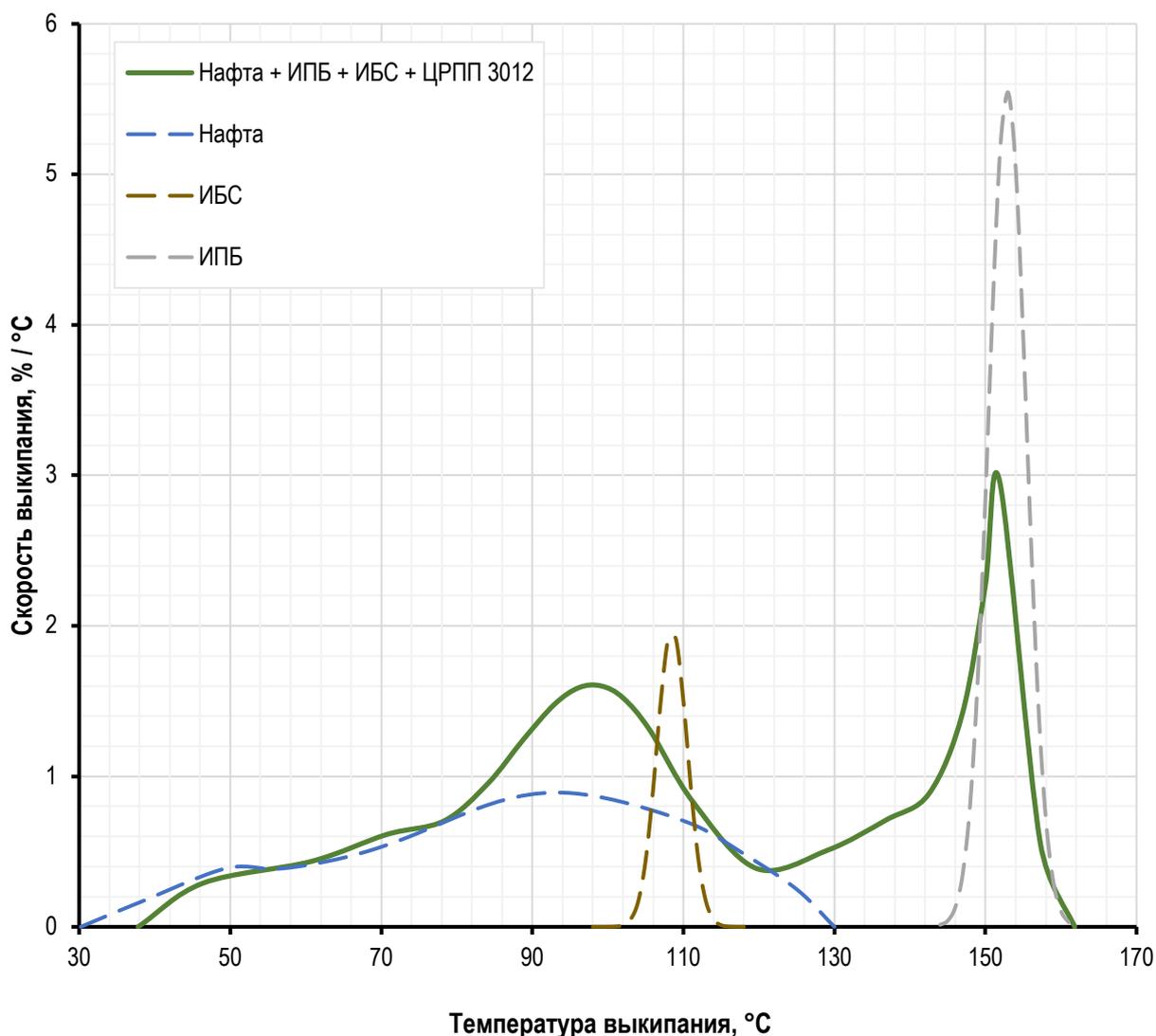


Рисунок 33 – Скорость выкипания композиции, состоящей из нефти, ИПБ, ИБС и ЦРПП 3012, при различных температурах

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 130-150°C не наблюдается.

3.4 Разработка и испытания новых топливных композиций высокооктановых автомобильных бензинов

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, октаноповышающей присадки ЦРПП 3012, представляющая собой композицию антидетонаторов на основе азотосодержащих соединений и октаноповышающей присадки ЦРПП 3014, представляющий собой смесь абсолютированного изопропанола и его диэфира с добавлением композиции функциональных присадок;

2. На основе БГС, легкого бензина ГК, ИПБ, МТБЭ и октаноповышающей присадки ЦРПП 3012;

3. На основе легкого и тяжелого бензинов гидрокрекинга, толуола, октаноповышающей присадки ЦРПП 3014 и МТБЭ;

4. На основе гидроочищенной нефти, ИПБ и октаноповышающей присадки ЦРПП 3014.

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.

В результате, при проведении опытно-промышленного пробега на ООО «Славянск ЭКО» были рассмотрены следующие варианты топливной композиции бензина неэтилированного марки АИ-92-К5 по ГОСТ 32513-2013, представленные в таблице 15.

Таблица 15 – Финальные композиции 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	Октаноповышающая присадка ЦРПП 3014	10,0	-	-	14,0
8	Изобутиловый спирт	-	-	10,0	-
9	МТБЭ	-	14,5	8,0	-
10	Октаноповышающая присадка ЦРПП 3012	1,3	1,3	-	-
ИТОГО компонентов		100,0	100,0	100,0	100,0

Предложенные композиции высокооктановых бензинов были исследованы по требованиям ГОСТ 32513 и ТР ТС 013/2011. Результаты испытаний представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Результаты испытаний финальных композиции бензина АИ-92-К5 на соответствие требованиям нормативной документации

№ п/п	Наименование показателя	Требования		Результаты испытания				Метод испытания
		ТР ТС 013/2011	ГОСТ 32513					
1	Октановое число по исследовательскому методу Октановое число по моторному методу	80	92	92,3	92,6	92,3	92,1	ГОСТ Р 52946 ГОСТ Р 52947
		76	83	86,7	88,8	89,2	86,9	
2	Концентрация смол, промытых растворителем, мг/100 см ³ , бензина, не более	-	5	1,0	1,0	1,0	1,0	ГОСТ 32404
3	Индукционный период бензина, мин, не менее	-	360	более 360	более 360	более 360	более 360	ГОСТ 4039
4	Массовая доля серы, мг/кг, не более	10	10	2,78	7,10	2,34	2,64	ГОСТ 32139
5	Объемная доля бензола, %, не более	1	1	0,2	0,3	0,5	0,2	ГОСТ 32507 (метод Б)
6	Объемная доля углеводородов, %, не более: -ароматических -олефиновых	35	35	34,0	31,6	33,0	33,6	ГОСТ Р 52714
		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	ГОСТ 32338
8	Испытание на медной пластинке (3 часа при 50°)	-	Класс 1	Класс 1	Класс 1	Класс 1	Класс 1	ГОСТ 32329
9	Внешний вид	-	Чистый, прозрачный	Чистый, прозрачный	Чистый, прозрачный	Чистый, прозрачный	Чистый, прозрачный	Визуально
10	Плотность при 15 °С, кг/м ³	-	725,0-780,0	770,4	766,6	775,6	772,8	ГОСТ Р 51069
11	Давление насыщенных паров, кПа, в пределах	35-100	35-100	38,6	37,6	45,4	36,7	АСТМ Д 5191

Продолжение таблицы 16

№ п/п	Наименование показателя	Требования		Результаты испытания				Метод испытания
		ТР ТС 013/2011	ГОСТ 32513					
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	-						ГОСТ 2177
			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	
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 не наблюдается проблемы с удовлетворением требований ГОСТ 32513-2013. Показатели содержания различных металлов и ММА не определялись из-за отсутствия данных компонентов в составе бензина по технологии получения.

Для дополнительной проверки соответствия качества разработанных композиций бензинов требованиям разработчиков автомобильной техники были проведены сравнительные моторно-стендовые испытания товарного бензина марки АИ-92-К5 с одного из НПЗ и опытного АИ-92-К5, полученного по рецептуре 1 Таблицы 15. Испытания осуществлялись по следующей программе с использованием двигателя ВАЗ-21124:

1. Снятие скоростной характеристики по показателям крутящего момента, расхода топлива токсичности отработавших газов (ОГ).

2. Снятие нагрузочной характеристики по показателям крутящего момента, расхода топлива токсичности отработавших газов (ОГ).

3. Определение интенсивности образования отложений на впускных клапанах после их накопления в течение 30 мото-часов.

Скоростная характеристика — это изменение величины мощностных характеристик, расхода и состава отработавших газов от частоты вращения коленчатого вала при неизменном положении дроссельной заслонки. В рамках проводимых испытаний частота вращения менялась в диапазоне от 1000 до 2500 об/мин с шагом 300 об/мин (всего 6 режимов). Результаты определения параметров

работы ДВС на товарном и опытном топливах по скоростной характеристике представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Результаты испытаний по скоростной характеристике

№ режима	Крутящий момент, Н×м	Эффективная мощность, кВт	Удельный эфф. расход, г/(кВт×ч)	Концентрация в ОГ:		
				СО, %	СН, ppmV	NO _x , ppmV
Товарный бензин						
1	90,70	9,50	269,00	0,16	135,56	4279
2	91,37	12,44	251,00	0,16	129,18	4292
3	92,51	15,50	232,54	0,17	123,19	4242
4	91,44	18,19	227,51	0,18	122,94	4234
5	89,84	20,70	229,90	0,19	130,55	4331
6	83,12	21,75	232,07	0,19	141,39	4383
Опытный бензин						
1	91,40	9,57	258,58	0,15	134,69	4243
2	91,48	12,45	245,12	0,16	125,19	4199
3	91,83	15,39	233,78	0,17	123,57	4159
4	91,35	18,17	229,17	0,17	121,79	4189
5	89,16	20,54	228,62	0,18	125,43	4298
6	84,06	22,01	231,69	0,19	137,82	4280
Среднее отклонение результатов опытного бензина от товарного, %						
	+0,1%	+0,1%	-0,9%	-2,8%	-1,8%	1,6%

Сравнение полученных характеристик для базового и опытного топлива позволяют заявить о не влиянии состав бензинов на мощностные показатели работы ДВС. В то же время более значимо меняется расход: для опытной композиции он на 0,9% ниже товарного топлива. Еще более заметные отклонения наблюдаются по составу отработавших газов, где концентрация токсичных веществ падает в среднем на 2,8% по СО, 1,8% по СН, 1,6% по NO_x. Однако стоит заметить, что данные отклонения для единичного измерения не выходят за рамки погрешности газоанализатора.

Нагрузочная характеристика — это зависимость показателей работы дизеля (расхода топлива, токсичности отработавших газов (ОГ)) от нагрузки (мощности, крутящего момента или среднего эффективного давления) при постоянной частоте вращения коленчатого вала. В рамках проводимых испытаний нагрузка по показателю мощности на нагрузочном устройстве изменялась от 4 до 34 кВт с шагом 6 кВт (всего 6 режимов). Результаты определения параметров работы ДВС на товарном и опытном топливах по нагрузочной характеристике представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Результаты испытаний по нагрузочной характеристике

№ режима	Крутящий момент, Н×м	Эффективная мощность, кВт	Удельный эфф. расход, г/(кВт×ч)	Концентрация в ОГ:		
				СО, %	СН, ppmV	NO _x , ppmV
Товарный бензин						
1	11,09	4,06	693,11	0,27	95,23	4392
2	28,20	10,33	370,21	0,25	94,80	4467
3	44,36	16,25	298,09	0,21	93,41	4504
4	60,60	22,21	261,82	0,20	92,74	4480
5	77,97	28,57	241,29	0,20	92,97	4508
6	93,41	34,24	233,31	0,22	92,06	4482
Опытный бензин						
1	11,24	4,12	704,50	0,27	93,55	4547
2	28,24	10,35	374,13	0,24	93,49	4487
3	44,64	16,36	296,14	0,18	92,11	4517
4	62,05	22,74	261,01	0,18	91,68	4524
5	77,76	28,50	240,61	0,20	89,15	4653
6	95,02	34,82	232,96	0,21	88,74	4606
Среднее отклонение результатов опытного бензина от товарного, %						
	+1,0%	+1,0%	0,2%	-5,5%	-2,2%	+1,9%

Как и в случае скоростной характеристики по нагрузочной наблюдается фактическое отсутствие влияния перехода ДВС с товарного на опытное топливо: мощностные характеристики незначительно выросли – на 1,0%, расход также вырос, но всего на 0,2%. По токсичности отработавших газов наблюдается самый большие отклонения между топлива, опытный бензин отличается на 5,5% меньшими выбросами СО, на 2,2% меньшими выбросами СН, и на 1,9% большими выбросами оксидов азота.

Полученные результаты по обоим типам характеристик позволяют заявить об одинаковом влиянии испытанных видов топлив на эксплуатационные показатели работы ДВС. Таким образом, замена товарного бензина на опытный не приводит ни к каким отклонения работы ДВС от штатных значений, а в среднем даже несколько улучшает состав отработавших газов, что можно связать с более высоким содержанием оксигенатов в опытном бензине.

Дополнительно данные образцы бензинов были изучены по параметру склонности к образованию отложений. Результаты испытаний представлены в таблицах 19 и 20.

Таблица 19 – Результаты взвешивания впускных клапанов на товарном бензине АИ-92-К5

Параметр	Номер клапана							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Масса до испытаний, г	40,4168	41,8276	41,7259	41,51	44,8876	41,2438	41,9496	42,0633
Масса после испытаний, г	40,466	41,8813	41,7813	41,5522	44,9404	41,289	41,9983	42,1187
Разность масс, г	0,0492	0,0537	0,0554	0,0422	0,0528	0,0452	0,0487	0,0554
Интенсивность отложений мг/мч	1,64	1,79	1,85	1,41	1,76	1,51	1,62	1,85
Средняя интенсивность отложений, мг/мч:				1,68				

Таблица 20 – Результаты взвешивания впускных клапанов на опытном бензине АИ-92-К5

Параметр	Номер клапана							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Масса до испытаний, г	46,75	46,9756	46,3314	46,5471	46,7562	46,7491	46,7567	47,0677
Масса после испытаний, г	46,7931	47,0112	46,3713	46,5915	46,8025	46,7917	46,8012	47,103
Разность масс, г	0,0431	0,0356	0,0399	0,0444	0,0463	0,0426	0,0445	0,0353
Интенсивность отложений мг/мч	1,44	1,19	1,33	1,48	1,54	1,42	1,48	1,18
Средняя интенсивность отложений, мг/мч:				1,38				

Средняя интенсивность отложений для опытного бензина составила всего 1,38 мг/ч, что почти на 18% ниже показателя базового бензина. Сниженная склонность к образованию отложений у разработанной опытной композиции можно связать с более низким концом кипения по сравнению со стандартными автобензинами (190-215 °С), а также отсутствием в составе наиболее склонных к коксообразованию ароматических углеводородов C₁₀₊ и олефинов.

3.5 Выводы по главе 3

1) Проведенный анализ российского рынка моторных бензинов показывает: на фоне растущего потребления и ограниченных темпов модернизации НПЗ формируются внутренние дисбалансы, которые в ближайшие годы могут приобрести системный характер. Дополнительный риск – трудности с экспортом дизельного топлива: они способны снизить выпуск дизеля на части заводов и, как следствие, уменьшить объемы производства товарного бензина.

2) Изучен рынок высокооктановых присадок к бензину, выделена доминирующая роль МТБЭ. Обоснован комплексный, формульный подход к их ценообразованию. Сформирован перечень и выполнена сравнительная оценка наиболее результативных октаноповышающих компонентов – биоэтанола, изпропилового спирта и N-метиланилина.

3) Предложена технико-экономическая формула расчета цены МТБЭ, привязанная к ценовому спреду АИ-95/АИ-92, доле добавки и марже блендера, в 2021–1 кв. 2023 фактическая цена заметно опережала «формульную», что указывает на перегретость рынка добавок.

4) Сформулирован способ нарастить выпуск бензинов за счет более глубокой кооперации НПЗ и нефтехимии: в оборот вовлекаются дополнительные объемы ранее не задействованных высокооктановых присадок и низкооктановых бензиновых фракций.

5) По предложенной концепции разработаны рецептуры автомобильного бензина, показывающие, что высокооктановый АИ-92-К5 может быть получен из низкооктановых потоков переработки при использовании нефтехимических компонентов. Испытания подтвердили пригодность этих составов: они соответствуют требованиям ГОСТ 32513 и ТР ТС 013/2011, а также показали сопоставимые с товарным бензином эксплуатационные характеристики работы ДВС.

4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВА РЕАКТИВНОГО ТОПЛИВА

4.1 Анализ производства основных компонентов топлива для реактивных двигателей

Авиационный керосин – это авиационное смесевое углеводородное топливо, изготавливаемое на основе лигроино-керосиновой фракции нефти с добавлением комплекса различных присадок. Авиационный керосин применяется, главным образом, в качестве горючего для авиационных турбореактивных, турбовентиляторных и турбовинтовых двигателей.

Выпуск реактивных топлив составляет около 4% от объема первичной переработки нефти. 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 и гидрогенизированные. Прямогонные реактивные топлива получают непосредственно из фракций нефти (150-250 °С) без их глубокой обработки, либо путем смешения с гидроочищенными фракциями. Производство гидрогенизационных топлив включает гидроочистку прямогонных фракций, гидроочистку или гидрокрекинг, гидрокрекинг или глубокое гидрирование.

К процессам, являющимся основными источниками получения компонентов авиационных керосинов можно отнести:

- первичную переработку нефти (установки АТ, АВТ);
- гидроочистку керосина;
- удаление меркаптановой серы (установка Мерокс);
- гидрокрекинг вакуумного газойля;

Так как среди представленных процессов каталитический крекинг обеспечивает крайне незначительную долю компонентов авиационных керосинов, в общем пуле в дальнейшем он не будет детально рассматриваться.

4.1.1 Атмосферная перегонка нефти

Установки первичной переработки нефти присутствуют на всех нефтеперерабатывающих предприятиях. В таблице 21 представлено соотношение объемов перерабатываемой нефти и производства авиационных керосинов по предприятиям, осуществляющим отгрузки товарных керосинов, по данным ЦДУ ТЭК.

Таблица 21 – Соотношение объемов переработки нефти и объемов производства авиационных керосинов

Наименование предприятия	Объем переработки нефти, тыс. т в год	Объем производства керосинов, тыс. т/год
Всего по НПЗ	258 508,3	10 192,5
ПАО 'НК 'Роснефть'	68 304,4	1 621,9
АО 'Новокуйбышевский НПЗ'	6 746,4	196,9
АО 'Ачинский НПЗ ВНК'	7 146,9	120,5
АО 'Ангарская НХК'	9 254,6	523,1
АО 'Рязанская НПК'	13 049,5	781,4
ПАО 'АНК 'Башнефть'	15 492,8	88,7
Филиал Башнефть-Новыйл	5 707,8	88,7
ПАО 'ЛУКОЙЛ'	39 889,3	2 160,7
ООО 'ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка'	14 074,7	1 043,3
ООО 'ЛУКОЙЛ-ПНОС'	12 729,3	597,9
ООО 'ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез'	11 161,4	519,5
ПАО 'Сургутнефтегаз'	18 123,0	540,2
ООО 'Киришинефтеоргсинтез'	18 123,0	540,2
ПАО 'Газпром нефть'	29 784,5	1 825,6
АО 'Газпромнефть-Омский НПЗ'	19 765,2	1 401,1
АО 'Газпромнефть-МНПЗ'	10 019,3	424,6
ПАО 'ТАТНЕФТЬ'	11 350,3	603,2
АО 'ТАНЕКО'	11 350,3	603,2
ПАО 'Газпром'	6 648,0	86,9
ООО 'Газпром переработка', Сургутский ЗСК	4 165,9	60,5
ООО 'Газпром переработка', Уренгойский ЗПКТ	283,8	26,4
АО 'ФортеИнвест'	8 840,5	218,2
ПАО 'Орскнефтеоргсинтез'	3 913,4	218,2
АО 'ННК'	4 667,7	151,2
АО 'ННК-Хабаровский НПЗ'	4 667,7	151,2
ПАО 'НГК 'Славнефть'	14 566,1	1 513,8
ПАО 'Славнефть - ЯНОС'	14 566,1	1 513,8
ПАО 'НОВАТЭК'	7 007,0	1 035,5
ООО 'НОВАТЭК-Усть-Луга'	7 007,0	1 035,5
ООО 'Марийский НПЗ'	1 183,1	232,6

Продолжение таблицы 21

Наименование предприятия	Объем переработки нефти, тыс. т в год	Объем производства керосинов, тыс. т/год
АО 'Краснодарский НПЗ-КЭН'	1 595,9	3,3
ОАО 'ТАИФ-НК'	7 300,8	86,6
ООО 'Сокар энергоресурс'	6 337,7	24,1
АО 'Антипинский НПЗ'	6 337,7	24,1
Всего по Мини-НПЗ	11 553,2	0,0*
* На мини-НПЗ производится только керосино-газойлевая фракция, которая в данной работе не рассматривается		

Фактически для повышения качества керосиновой фракций имеются только два процесса: гидроочистка и демеркаптанизация.

4.1.2 Гидроочистка керосиновых фракций

Гидроочистка керосина имеет целью повышение качества сырого керосинового дистиллята для получения кондиционных продуктов, пригодных для реализации в качестве реактивного топлива. Сера и меркаптаны, присутствующие в прямогонных керосиновых дистиллятах, могут вызвать коррозию авиационных двигателей, а также установок слива/налива и хранения топлива. Присутствие азота в сыром керосиновом сырье из некоторых нефтей может привести к нестабильной окраске продукта. Для выполнения жестких требований, предъявляемых к авиационным реактивным топливам, необходимо строго следить за такими показателями качества гидроочищенного керосина, как фракционный состав, температура вспышки и температура кристаллизации. Другим важным показателем качества реактивного топлива является высота некоптящего пламени, которая зависит от содержания ароматических углеводородов во фракции. При повышении содержания ароматики высота некоптящего пламени керосина уменьшается и может выйти за допустимые пределы для реактивного топлива.

Повышение качества достигается гидроочисткой в присутствии катализатора, в ходе которой соединения серы и азота превращаются в сероводород и аммиак. В зависимости от жесткости процесса гидроочистки, показатель высоты некоптящего пламени может быть улучшен в результате гидрирования

ароматических углеводородов в соответствующие нафтенy. Материальный баланс установки гидроочистки керосиновой фракции в таблице 22 [113].

Таблица 22 – Материальный баланс установки гидроочистки керосиновой фракции

Наименование	% мас.
Взято:	
Керосиновая фракция	100,00
Водород 100%-ный	0,25
Всего	100,25
Получено:	
Углеводородный газ	0,65
Сероводород	0,20
Бензиновый отгон	1,10
Гидроочищенный керосин	97,9
Потери	0,40
Всего	100,25

Наибольшее распространение получили установки гидроочистки керосиновых фракций, разработчиком которых являются Ленгипронефтехим, а также иностранные компании UOP, Chevron Lummus Global.

В таблице 23 представлен перечень нефтеперерабатывающих предприятий Российской Федерации, на который действуют установки гидроочистки керосина с указанием их фактических мощностей за 2020 г. по данным ЦДУ ТЭК. Всего в России установки гидроочистки керосина действуют на 11 НПЗ суммарной фактической мощностью более 5 млн т в год.

Таблица 23– Мощности установок гидроочистки керосина на НПЗ РФ

Наименование НПЗ	Мощность, тыс. т в год
ПАО 'НК 'Роснефть'	1 404,6
АО 'Новокуйбышевский НПЗ'	260,8
АО 'Ачинский НПЗ ВНК'	456,7
АО 'Рязанская НПК'	687,1
ПАО 'АНК 'Башнефть'	142,1
Филиал Башнефть-Новыйл	142,1
ПАО 'ЛУКОЙЛ'	1 052,5
ООО 'ЛУКОЙЛ-ПНОС'	1 002,8
ООО 'ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез'	49,7
ПАО 'Сургутнефтегаз'	681,9
ООО 'Киришинефтеоргсинтез'	681,9
ПАО 'Газпром нефть'	514,1
АО 'Газпромнефть-МНПЗ'	514,1

Продолжение таблицы 23

Наименование НПЗ	Мощность, тыс. т в год
ПАО 'ТАТНЕФТЬ'	628,5
АО 'ТАНЕКО'	628,5
ПАО 'Газпром'	356,7
ООО 'Газпром переработка', Сургутский ЗСК	356,7
АО 'ФортеИнвест'	263,9
ПАО 'Орскнефтеоргсинтез'	263,9
ОАО 'ТАИФ-НК'	143,6

4.1.3 Гидрокрекинг

Одним из стремительно развивающихся процессов глубокой переработки нефти является процесс гидрокрекинга. По существу, он сочетает в себе процесс крекинга и гидроочистки, позволяя получать практически из любого сырья широкий ассортимент нефтепродуктов. Процессы гидрокрекинга в зависимости от конверсии (степени превращения сырья) подразделяют на легкий гидрокрекинг и глубокий. Процесс легкого гидрокрекинга предназначен как для подготовки сырья, так и для увеличения выхода светлых нефтепродуктов. Глубокий, жесткий гидрокрекинг предназначен исключительно для увеличения выхода светлых нефтепродуктов. Параметры процесса (температура, давление, кратность циркуляции водородсодержащего газа) зависят от назначения процесса гидрокрекинга. Универсальными в производстве широкого ассортимента нефтепродуктов являются процессы гидрокрекинга высокого давления – 13-17 МПа при температуре 400-460 °С.

Катализатором процесса является бифункциональный катализатор, сочетающий в себе: кислотный компонент (обеспечивает расщепляющую и изомеризующую функции), металл или сочетание металлов (обеспечивают гидрирующую и расщепляющую функции), связующий компонент (обеспечивающий механическую прочность). Именно наличие катализатора, сочетающего несколько различных функций, обеспечивает максимальный выход светлых нефтепродуктов. В таблице 24 представлен материальный баланс процесса глубокого гидрокрекинга.

Таблица 24 – Материальный баланс глубокого гидрокрекинга

Наименование	% мас.
Взято:	
Вакуумный газойль	100,0
Водород	3,0
Всего:	103,0
Получено:	
Углеводородный газ	4,5
Сероводород + аммиак	2,0
Бензиновая фракция	22,3
Реактивное топливо	15,0
Дизельная фракция	39,2
Гидроочищенный газойль (остаток)	20,0
Всего	103,0

Отметим, что приведенный в таблице материальный баланс процесса гидрокрекинга является усредненным. Выход продуктов гидрокрекинга в значительной степени зависит от типа установки и параметров ведения процесса. При режиме работы с максимальной выработкой керосинов можно достичь выхода до 40-50%, однако данный режим используется редко и обычно выход керосиновых фракций составляет до 15-20%.

Установками гидрокрекинга оснащены нефтеперерабатывающие заводы компаний – ПАО «Лукойл», ПАО «Сургутнефтегаз», ПАО «Татнефть» и др. (рисунок 34).

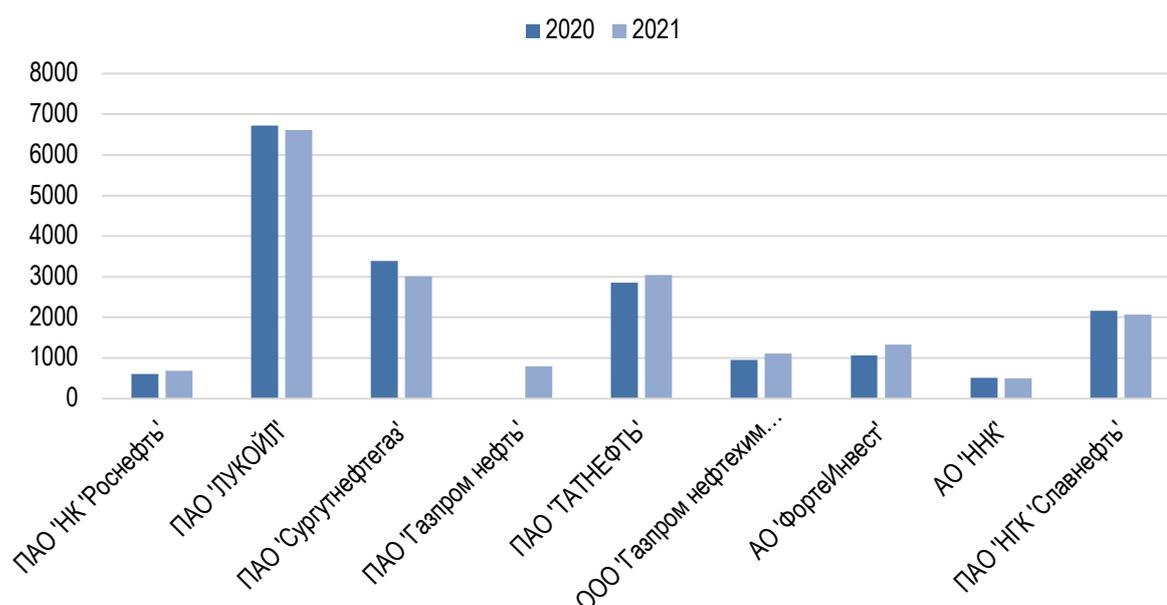


Рисунок 34 – Мощности установок гидрокрекинга

Мощности гидрокрекинга на НПЗ РФ представлены в таблице 25. Всего по России действует 14 установок суммарной проектной мощностью почти 22 млн т.

Таблица 25 – Мощности установок гидрокрекинга на НПЗ РФ

Наименование НПЗ	Мощность, тыс. т.	
	Проектные	Фактические
ПАО 'НК 'Роснефть'	800,0	687,4
АО 'Сызранский НПЗ'	800,0	687,4
ПАО 'АНК 'Башнефть'	1350	-
Филиал Башнефть-Уфанефтехим	1350	-
ПАО 'ЛУКОЙЛ'	7023,0	6 610,9
ООО 'ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка'	3505,0	3 393,3
ООО 'ЛУКОЙЛ-ПНОС'	3518,0	3 217,6
ПАО 'Сургутнефтегаз'	3518,0	3 011,6
ООО 'Киришинефтеоргсинтез'	2930,0	3 011,6
ПАО 'ТАТНЕФТЬ'	3425	3 042,6
АО 'ТАНЕКО'	3425	3 042,6
ООО 'Газпром нефтехим Салават'	1625,0	1 110,3
АО 'ФортеИнвест'	1600,0	1 335,1
ПАО 'Орскнефтеоргсинтез'	1600,0	1 335,1
АО 'ННК'	506,0	492,0
АО 'ННК-Хабаровский НПЗ'	506,0	492,0
ПАО 'НГК 'Славнефть'	2140,0	2 063,3
ПАО 'Славнефть - ЯНОС'	2140,0	2 063,3

4.1.4 Демеркаптанализация

Демеркаптанализация – это процесс удаления меркаптанов из углеводородных фракций. Демеркаптанализация керосина осуществляется двумя способами: гидроочисткой или щелочной окислительной демеркаптанализацией. Процесс необходим для удовлетворения требований по содержанию коррозионноактивной меркаптановой серы в реактивном топливе Джет А-1 (ТС-1) не более 0,003% мас.

Щелочную демеркаптанализацию керосиновой фракции осуществляют в присутствии фталоцианинового катализатора, кислорода воздуха, щелочного

раствора при температуре 40-60 °С и давлении до 0,6 МПа. В данном случае коррозионные меркаптаны окисляются до инертных дисульфидов.

В процессе гидроочистки сернистые соединения, включая меркаптаны, при высокой температуре в присутствии никель-молибденового катализатора и водорода превращаются в сероводород и выводятся с установки.

По оценкам фирмы UOP капитальные затраты на гидроочистку керосина в 10-20 раз, а эксплуатационные – в 20-50 раз выше затрат на щелочную демеркаптанизацию. В связи с этим для демеркаптанизации керосиновых фракций с низким содержанием общей серы экономически более оправдано использование процесса окисления коррозионно-активных меркаптанов в инертные дисульфиды вместо их гидроочистки. С увеличением ресурсов обессеренной керосиновой фракции на НПЗ по причине введения в эксплуатацию новых установок гидрокрекинга появилась возможность увеличения выпуска смешанного авиатоплива за счет вовлечения всего объема прямогонного керосина после его щелочной демеркаптанизации.

Наиболее известными технологиями демеркаптанизации в настоящий момент являются «Mercox» (UOP) и «Mericat» (Merichem Process Technologies). Из отечественных аналогов широкое распространения получила технология «Demerus Джет» (AhmadullinS). В таблице 26 представлен материальный баланс установки демеркаптанизации.

Таблица 26 – Материальный баланс установки демеркаптанизации

Наименование	% мас.
Взято:	
Керосиновая фракция	100,00
Всего	100,00
Получено:	
Очищенная керосиновая фракция	99,50
Сероводород	0,05
Потеря	0,45
Всего	100,00

4.1.5 Анализ производства авиационного керосина

Объем проанализированных данных производства керосина составляет в среднем 96-99% от полного объема производства. На данном рынке наблюдается более низкая концентрация производства – на долю трех крупнейших нефтеперерабатывающих компаний приходится 58% производства, что связано с принципиальной легкостью производства авиационных керосинов при соблюдении прямогонной фракцией требований нормативной-документации.

Из-за высокой консервативности отрасли изложенная выше ситуация на рынке оставалась практически неизменной практически на всем исследованном промежутке времени. Объем производства топлив с 2010 по 2021 г. вырос на 34% (2,7% в год), что подтверждает общую восходящую динамику в отрасли, связанную с ростом мобильности населения и, как следствие, объемов перелетов.

Из-за пандемии падение производства в 2020 году составило 17% относительно показателя 2019 года, однако снижение было компенсировано в 2021 году.

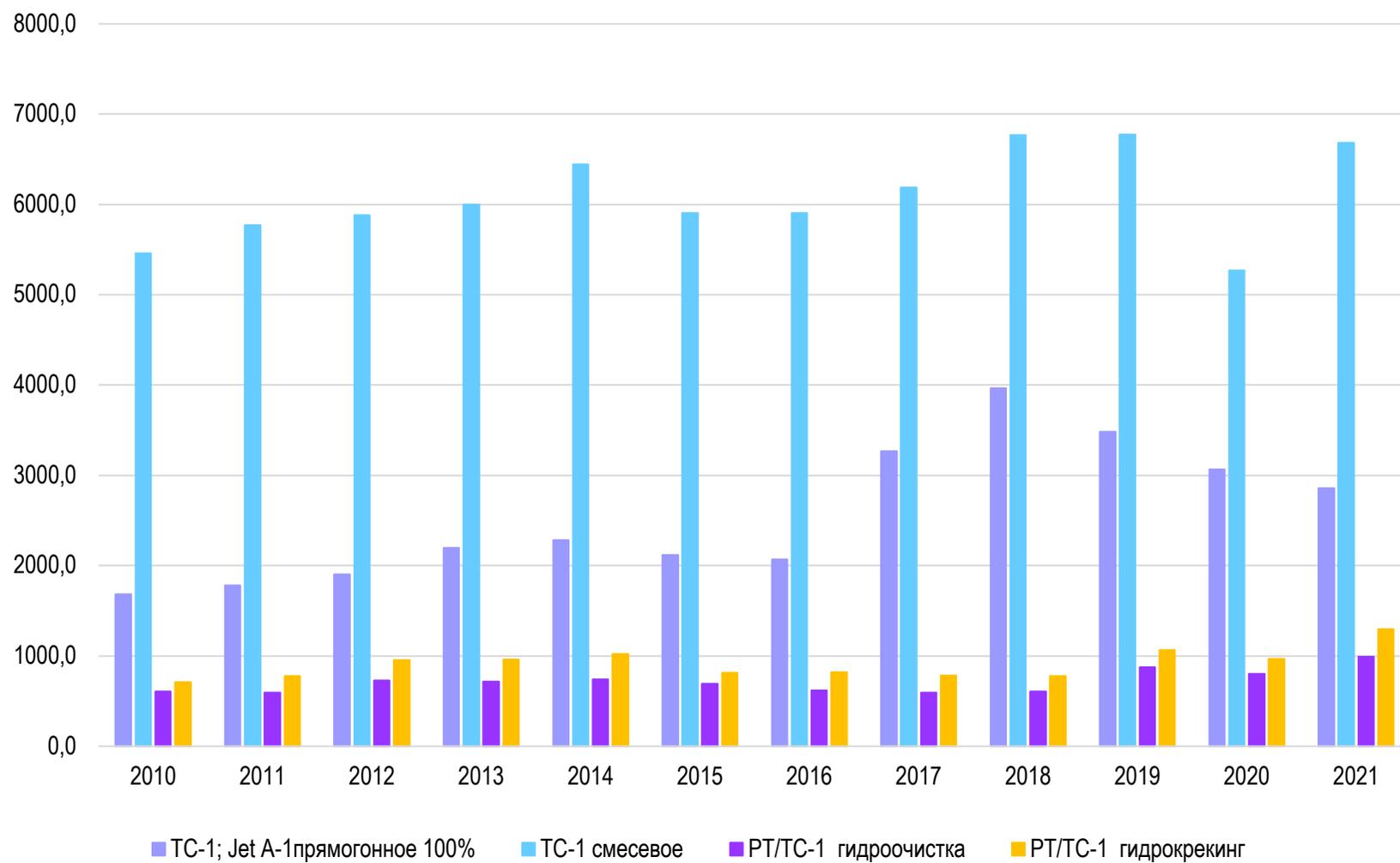


Рисунок 35 – Производство авиационных топлив

4.1.6 Анализ импорта и экспорта авиационного керосина

Импорт авиационных керосинов в РФ на практике отсутствует, что связано как с большой профицитностью рынка, так и со сложностью допуска авиационных керосинов и малым объемом производства наиболее ходовой марки ТС-1 за пределами РФ. В связи с этим в данной работе количественная оценка импорта керосинов не осуществляется.

Как уже было упомянуто ранее, производство авиационного керосина в 2021 году составило 11,8 млн. тонн. Доля экспорта керосина – 21,3% от всего производства. Такой большой процент экспорта в первую очередь связан с низким спросом на авиационный керосин внутри страны, вследствие чего данный тип топлива находится в профиците (рисунок 36).

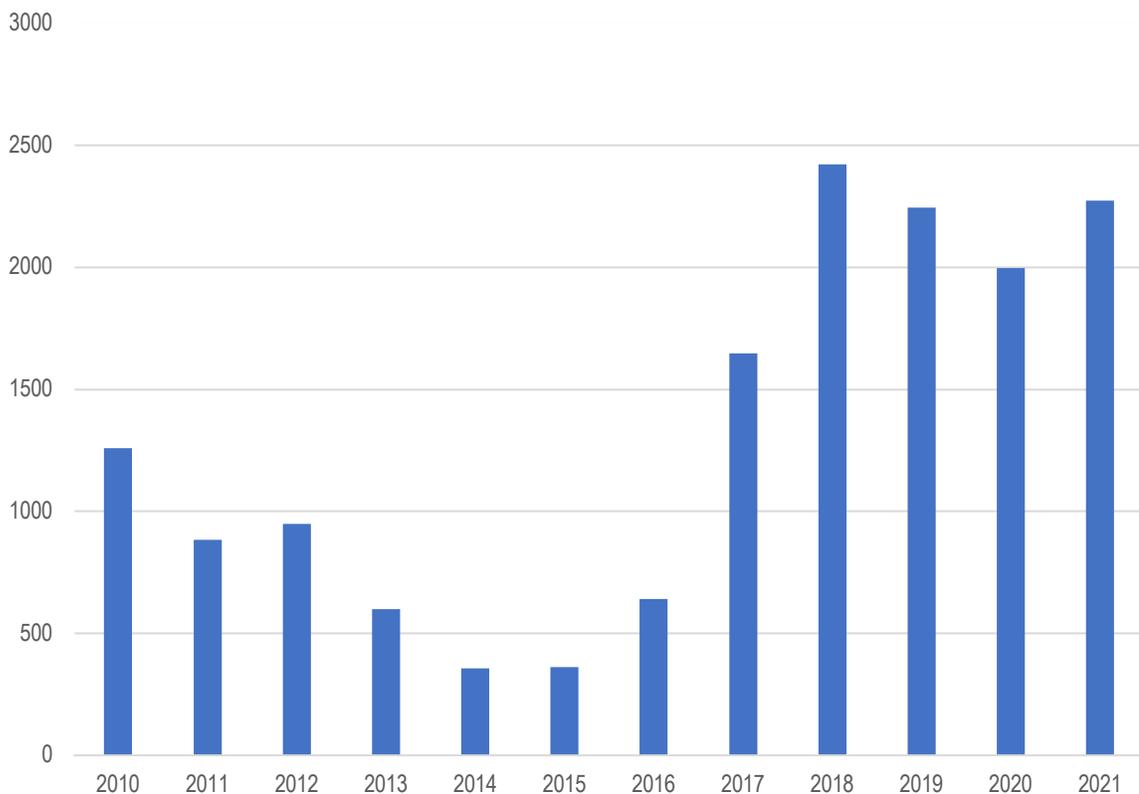


Рисунок 36 – Динамика объемов экспорта авиационного керосина

Основными потребителями российского авиационного керосина являются страны ЕС (77,8%), СНГ и Азии (Рисунок 37). При это около половины всего экспорта керосина из РФ в ЕС обеспечивает полностью экспортно-ориентированное производство ООО «НОВАТЭК-Усть-Луга» (1062,3 тыс. т), которое выпускает, используемую в ЕС марку керосина Джет А-1.

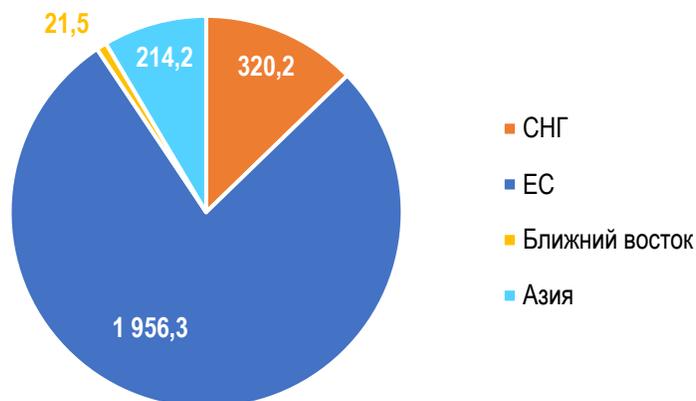


Рисунок 37 – Экспорт авиационного керосина за 2021 год (тыс. т)

Одним из способов увеличить выпуск и экспорт Джет А-1 может стать вовлечение 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 фракцией 240–280 °С способно одновременно вернуть часть полярных компонентов,

повышающие смазывающую способность (что позволить обойтись без вовлечения противоизносной присадки), и скорректировать плотность. При этом критично соблюдать ограничения требований качества по высоте некоптящего пламени, температуре конца кипения, содержанию серы и особенно по температуре застывания.

В следующих разделах будет рассмотрено влияние содержания и типа сернистых соединений на смазывающую способность реактивного топлива, а также доказан потенциал расширения производства топлива марки Джет А-1 без применения противоизносной присадки с вовлечением узких фракций негидроочищенных дистиллятов.

4.2 Влияние содержания и типа сернистых соединений на смазывающую способность реактивного топлива

В состав реактивного топлива входят следующие классы сероорганических соединений: меркаптаны (тиолы, R-SH), сульфиды (тиоэфиры, R-S-R), дисульфиды (R-S-S-R) и тиофеновые структуры (тиофен, бензотиофен, дибензотиофен и их алкилзамещенные аналоги). Их суммарное содержание и соотношение зависят от природы нефти и глубины переработки: в прямогонных керосинах серосодержащие соединения многочисленны и разнообразны, а по мере гидроочистки наиболее реакционноспособные формы уходят, и остаточная сера концентрируется в более устойчивых, высококипящих гетероциклах [114, 115].

Меркаптаны – наиболее агрессивный класс сернистых соединений, который может находиться в составе реактивных топлив. Из-за кислотного характера связи S-H и высокой нуклеофильности они взаимодействуют с металлами, ухудшают коррозионные показатели, способны портить совместимость с эластомерами и в условиях термического и окислительного воздействия быстро превращаются в дисульфиды и кислые продукты [116, 117]. При содержании тиолов на уровне

десятков ppm повышается склонность топлива к образованию отложений и перепад давления на фильтрах, отрицательное влияние меркаптановой серы на термоокислительную стабильность реактивных топлив подтверждено как отраслевыми, так и академическими исследованиями [116, 118]. Поэтому именно меркаптаны ограничивают отдельно и их удаляют целевыми процессами.

Сульфиды (тиоэфиры) в прямогонной керосиновой фракции часто составляют наибольшую долю сероорганики. Они менее реакционноспособны, чем тиолы, и термически устойчивее при умеренных температурах, но в присутствии кислорода и следов металлов постепенно окисляются до сульфоксидов и сульфонов. Эти окисленные формы повышают кислотность, ухудшают цвет и могут выступать предшественниками осадков, особенно в горячих зонах системы [119, 120]. С точки зрения смазывающей способности вклад сульфидов невелик: на ранних стадиях окисления более полярные сульфоксиды могут кратковременно улучшать граничную смазку, однако по мере накопления сульфонов и кислых продуктов обычно наблюдается ее ухудшение из-за дестабилизации защитных пленок и роста коррозионного износа.

Дисульфиды обычно присутствуют в меньших количествах. Термически и химически они устойчивее меркаптанов, но при повышенных температурах способны распадаться с образованием тиольных радикалов, ароматические дисульфиды в ряде стандартных тестов на термостабильность проявляют выраженный промоторный эффект по отложениям [117, 119]. Коррозионная активность у дисульфидов ниже, чем у тиолов, но их присутствие может отражать путь превращения остаточных тиолов при контакте с кислородом на стадиях подготовки/хранения топлива [119].

Тиофеновые структуры – самые инертные в этом ряду при умеренных условиях. Простой тиофен, бензотиофены и особенно дибензотиофены трудно удаляются гидроочисткой и концентрируются в высококипящих хвостовых фракциях [117, 118]. В свежем топливе они мало влияют на коррозию и, будучи слабо полярными, практически не улучшают граничную смазку, их наличие скорее указывает на

«тяжелую» ароматическую основу топлива, которая может поддерживать смазывающую способность. При сильном нагреве и в присутствии кислорода тиофены окисляются в сульфоксиды и сульфоны и участвуют в образовании сначала растворимых, а затем и нерастворимых отложений [119, 120]. В балансе свойств рост доли этих гетероциклов чаще связан с повышением температуры конца кипения, изменением дымовой точки и большей требовательностью к режимам гидроочистки, чем с прямым «смазочным» эффектом [114,].

В целом, перечисленные классы сероорганических соединений по-разному влияют на качество реактивного топлива: меркаптаны наиболее критичны (коррозия, ухудшение термостабильности и фильтруемости), сульфиды вносят умеренный вклад, дисульфиды обычно следовые и важны как индикатор превращений тиолов, а тиофены сравнительно инертны и отражают «тяжелую» ароматическую основу.

Далее рассмотрим на практике, как с изменением фракционного состава будет меняться содержание общей и меркаптановой серы (рисунок 38), а также диаметр пятна износа по методу ВОСЛЕ (таблица 27).

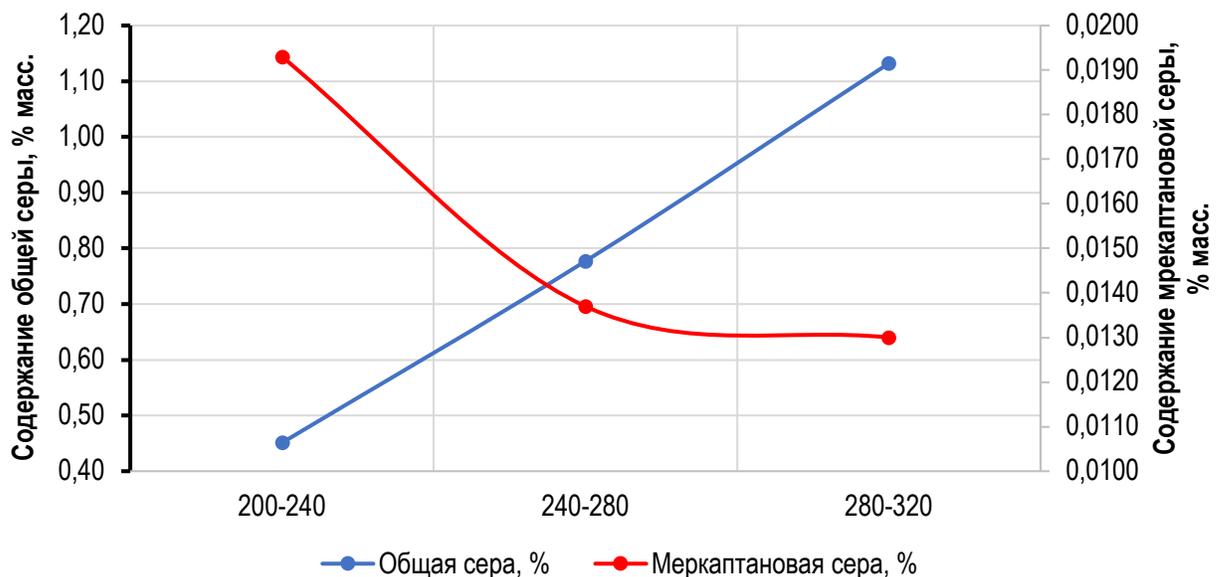


Рисунок 38– Изменение общей и меркаптановой серы по диапазонам кипения дистиллятных фракций

Таблица 27 – Изменение смазывающей способности по диапазонам кипения дистиллятных фракций

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

По мере перехода от легкой к более тяжелой фракции (200–240 → 240–280 → 280–320 °С) одновременно растет содержание общей серы, снижается доля меркаптановой серы и уменьшается диаметр пятна износа ВОСЛЕ. Это объясняется тем, что в тяжелом конце 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, а при возможном подслащивании часть их переходит в дисульфиды с более высоким $T_{\text{кип}}$, что дополнительно обедняет тяжелую фракцию именно меркаптановой серой, одновременно рост доли тиофенов и дисульфидов усиливает адсорбцию на металлической поверхности и облегчает формирование защитных граничных пленок, из-за чего износ по ВОСЛЕ уменьшается, повышенная ароматичность и немного большая вязкость тяжелого конца дополнительно стабилизируют эту пленку.

Наиболее оптимальной фракцией для добавления в гидроочищенный керосин будет фракция 240–280 °С, так как она сохраняет достаточную концентрацию полярных соединений, которые формируют защитные граничные пленки и стабильно снижают диаметр пятна износа ВОСЛЕ, при этом меркаптаны в данном интервале уже существенно истощены, поэтому по мере увеличения доли добавки общий уровень серы растет умеренно и остается в пределах нормы, а меркаптановая сера, напротив, уменьшается, в сравнении с 200–240 °С исключается привнос избыточно летучих и коррозионно-активных тиолов, а в сравнении с 280–320 °С минимизируется ухудшение высоты некопящего пламени, низкотемпературных и дистилляционных

свойств за счет меньшего вклада тяжелой ароматике и высокопарафинистых углеводородов.

Чтобы определить оптимальную долю вовлечения фракции 240–280 °С, рассмотрим, как при ее поэтапном увеличении меняются ключевые показатели: диаметр пятна износа ВОСЛЕ монотонно снижается и уже при 5–10 % становится < 0,65 мм, тогда как общий сернистый фон растет умеренно и остается существенно ниже предела, меркаптановая сера в интервале 5–10 % имеет уверенный запас до норматива, но при ≥ 15 % быстро приближается к лимиту и на 20 % его превышает (рисунок 39). Следовательно, оптимальное содержание фракции 5–10 % обеспечивает диаметр пятна износа < 0,65 мм, соответствие строгим международным требованиям и технологический запас по сере, что подтверждает промышленную перспективность подхода.

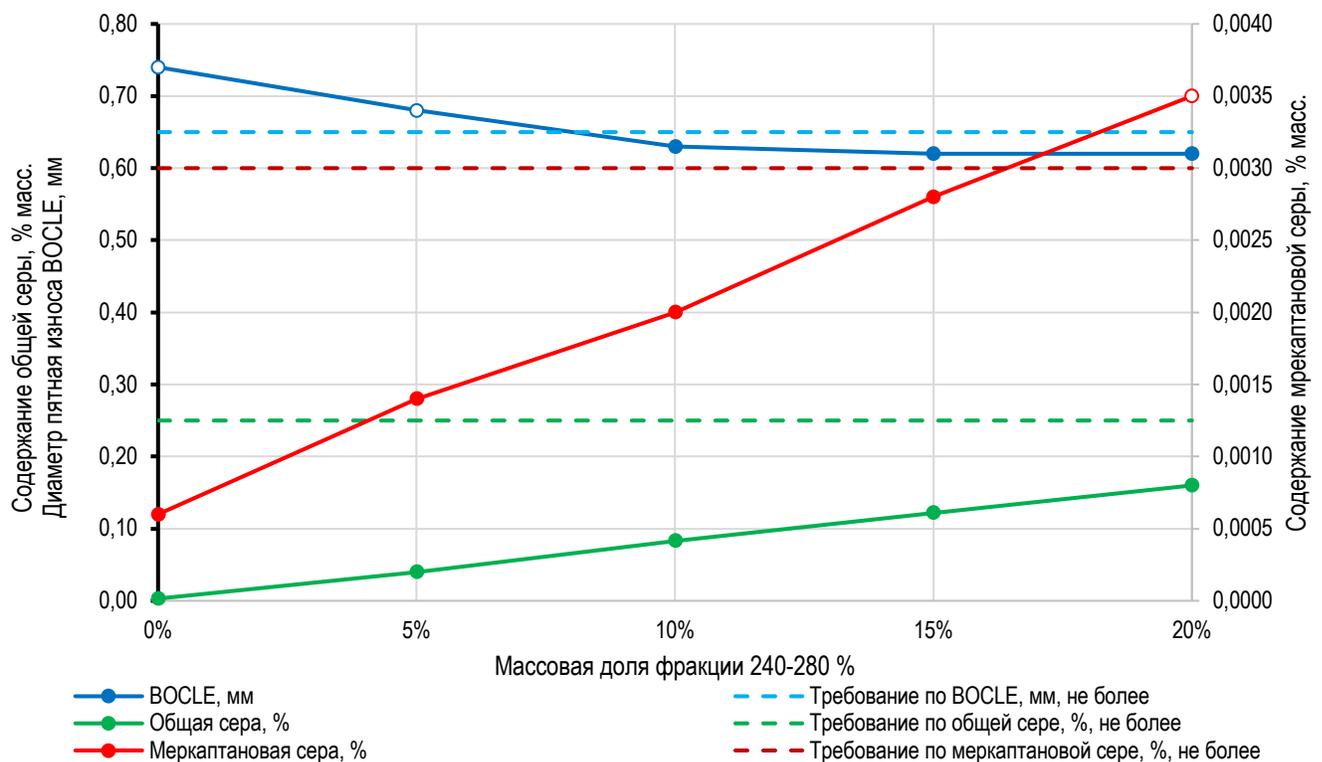


Рисунок 39 – Влияние добавления в гидроочищенный керосин фракции 240–280 °С на ВОСЛЕ и содержание общей и меркаптановой серы

4.3 Разработка и испытания новых топливных композиций топлива для реактивных двигателей

На основе данных, описанных в предыдущем разделе, были проанализированы четыре образца Джет А-1, в которых содержание фракции 240–280 °С варьировало от 0 до 15 % масс. (0, 5, 10 и 15 %), с проверкой соответствия требованиям ГОСТ 32595 и ТР ТС 013/2011 (таблица 28).

Выявлено, что максимально допустимое количество вводимой фракции регламентируется совокупностью показателей: высотой некоптящего пламени, температурой замерзания, концентрацией фактических смол, массовой долей меркаптановой серы и смазывающей способностью (диаметр пятна износа ВОСЛЕ).

При увеличении доли фракции 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 уверенный запас до предельных значений и не лимитируют состав.

Ключевым ограничителем выступает температура замерзания: ее ухудшение при росте доли фракции определяет максимально допустимое содержание порядка 10 % масс., поскольку именно на этом уровне сохраняется нормативный запас.

Одновременно утяжеление состава положительно сказывается на смазывающих свойствах: за счет увеличения доли сероорганических соединений диаметр пятна износа ВОСЛЕ 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 Джет А-1 при целевом улучшении противоизносных свойств без необходимости применения дополнительных присадок.

Таблица 28 – Влияние содержания фракции 240-280 °С на физико-химические свойства топливной композиции

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	-	0,74	0,68	0,63	0,61	≥10%
<ul style="list-style-type: none"> • Рекомендуемая значение показателя по комплексу методов квалификационной оценки 							

Схема получения реактивного топлива марки Джет А-1 на основе гидроочищенного керосина с вовлечением легкой дизельной прямогонной фракции, выкипающей при 240–280 °С, будет иметь следующий вид, представлена на рисунке 40: нефть после первичной перегонки (АВТ) разделяется на прямогонный керосин и узкие дизельные фракции, прямогонный керосин направляется на гидроочистку и образует малосернистую базу Джет А-1, а отобранная фракция 240–280 °С без гидроочистки дозированно вводится в этот поток как компонент, обеспечивающий требуемую смазывающую способность, прочие дизельные фракции (200–240 и 280–320 °С) идут по своим направлениям, включая гидроочистку, для получения компонентов дизельного топлива.

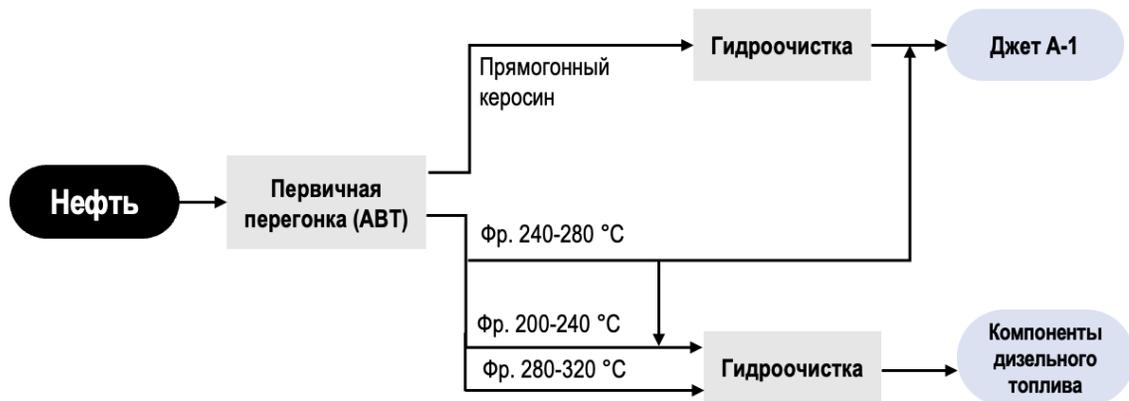


Рисунок 40 – Технологическая схема получения топлива Джет А-1

Благодаря предложенному подходу удастся исключить необходимость применения противоизносных присадок, что особенно важно в текущих условиях. Примером площадки для внедрения является Сызранский НПЗ, где уже реализовано разделение дизельной фракции на узкие на установке АВТ, что позволяет получать Джет А-1 по данной схеме. Расчетный потенциал технологии для российских НПЗ оценивается порядка в 25 млн т авиационного керосина в год, что практически вдвое увеличивает объем его производства в стране.

4.4 Выводы по главе 4

1) Проведен анализ производства основных компонентов топлива для реактивных двигателей, показано, что в РФ существует потенциал расширения производства Джет А-1 без применения противоизносной присадки за счет вовлечения узких фракций негидроочищенных средних дистиллятов.

2) Проанализировано влияние распределения сероорганических веществ по фракциям на смазывающие свойства топлива: при утяжелении фракции растет содержание общей серы, снижается количество меркаптанов и уменьшается диаметр пятна износа ВОСЛЕ. Причина – концентрация в тяжелом конце высококипящих тиофенов и дисульфидов (меркаптаны остаются в легких или переходят в дисульфиды), что усиливает формирование защитных граничных пленок, повышенная ароматичность и вязкость дополнительно их стабилизируют.

3) Выявлено, что наиболее рациональным компонентом для компаундирования с гидроочищенным керосином является фракция 240–280 °С, рекомендуемая доля ввода – 5–10 % масс., которая позволяет достичь диаметр пятна износа < 0,65 мм при соблюдении требований ГОСТ 32595 и ТР ТС 013/2011.

4) Разработана технологическая схема выпуска Джет А-1: гидроочищенный прямогонный керосин + дозированное вовлечение фракции 240–280 °С. Такой подход позволяет отказаться от противоизносных присадок в составе топлива. Расчетный потенциал данной технологии для российских НПЗ оценивается в порядка 25 млн тонн авиационного керосина в год, что практически вдвое увеличивает объем его производства в стране.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Был проведен обзор рынков моторных топлив в РФ: по бензинам наблюдается устойчивый профицит на фоне стагнации спроса и региональных дисбалансов, по дизельному топливу – сильная экспортная ориентация с положительным сальдо, по авиационным керосинам – близкая к балансовой ситуация при заметном промышленном потенциале роста.

2) Наибольший потенциал увеличения производства моторных топлив связан не столько с вводом новых мощностей, сколько с интеграцией нефтепереработки и нефтехимии, которая расширяет компонентную базу и повышает гибкость смесевых схем.

3) Изучен рынок высокооктановых присадок к бензину, выделена доминирующая роль МТБЭ. Обоснован комплексный, формульный подход к их ценообразованию. Сформирован перечень и выполнена сравнительная оценка наиболее результативных октаноповышающих компонентов – биоэтанола, изопропилового спирта и N-метиланилина.

4) Предложена технико-экономическая формула расчета цены МТБЭ (сред АИ-95/АИ-92, доля добавки, маржа блендера).

5) Разработаны рецептуры автомобильного бензина, показывающие, что высокооктановый АИ-92-К5 может быть получен из низкооктановых потоков переработки с использованием нефтехимических компонентов. Испытания подтвердили пригодность этих составов: они соответствуют требованиям ГОСТ 32513 и ТР ТС 013/2011.

6) Выявлен потенциал расширения производства топлива марки Джет А-1 без применения противоизносной присадки с вовлечением узких фракций негидроочищенных дистиллятов.

7) Выявлено влияние распределения сераорганических соединений на смазывающую способность (по фракциям 200–240 → 240–280 → 280–320 °С): общая

сера растет, меркаптановая сера снижается, ВОСЛЕ улучшается. Причина – концентрация высококипящих тиофенов и дисульфидов в тяжелом конце (меркаптаны остаются в легких или переходят в дисульфиды), что усиливает формирование защитных граничных пленок, повышенная ароматичность и слегка большая вязкость их стабилизируют.

8) Рациональный компонент для компаундирования Джет А-1 – узкая фракция 240–280 °С, рекомендуемая доля ввода – 5–10 % масс.: достигается ВОСЛЕ < 0,65 мм при соблюдении ГОСТ 32595 и ТР ТС 013/2011. Ограничением по увеличению доли фракции 240–280 °С главным образом являются температура замерзания (вторично – высота некопящего пламени), плотность, дистилляция до конца кипения, вязкость при –20 °С, фактические смолы и меркаптановая сера в окне 5–10 % сохраняют нормативный запас.

9) Разработана технологическая схема выпуска Джет А-1: дозированное вовлечение фракции 240–280°С в гидроочищенный прямогонный керосин, данный подход позволяет отказаться от вовлечения противоизносных присадок в состав топлива. Потенциал внедрения составляет ориентировочно до 25 млн т/год Джет А-1 по РФ, что практически удваивает текущий выпуск и повышает добавленную стоимость экспортной корзины.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящей НИР применяют следующие сокращения и обозначения:

БГС – бензин газовый стабильный

ГК – гидрокрекинг

ГО нафта – гидроочищенная нафта

ДВС – двигатель внутреннего сгорания

ДНП – давление насыщенных паров

И100 – объемная доля исп. бензина, при температуре 100°C

И70 – объемная доля исп. бензина, при температуре 70°C

ИБС – изобутиловый спирт

ИПБ – изопропилбензол

ИПС – изопропиловый спирт

ЛБГК – легкий бензин гидрокрекига

МТАЭ – метил-трет-амиловый эфир

МТБЭ – метил-трет-бутиловый эфир

НПЗ – нефтеперерабатывающий завод

ОЧ – октановое число

ОЧИ – октановое число по исследовательскому методу

ОЧМ – октановое число по моторному методу

ОЭСР – Организация экономического сотрудничества и развития

СУГ – сжиженный углеводородный газ

ТБГК – тяжелый бензин гидрокрекига

BOCLE – Ball-On-Cylinder Lubricity Evaluator – метод определения смазывающей способности на аппарате шар-цилиндр

FAME – Fatty Acid Methyl Esters – метиловые эфиры жирных кислот

HVO – Hydrotreated Vegetable Oil – гидроочищенное растительное масло

N-MA – N-метиланилин

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Motor Gasoline Consumption [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.indexmundi.com/energy/?product=gasoline&graph=consumption&display=rank> (дата обращения 2024 г.)
2. Wen, W. Impacts of COVID-19 on the electric vehicle industry: Evidence from China / W. Wen, S. Yang, P. Zhou, S.Z. Gao // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2021. – P. 20.
3. Потребление ГСМ в Казахстане растет опережающими производство темпами – Минэнерго [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vlast.kz/novosti/59834-potreblenie-gsm-v-kazahstane-rastet-operezausimi-proizvodstvo-tempami-minenergo.html> (дата обращения 2024 г.)
4. АО «НК КазМунайГаз». Расширение мощностей Шымкентского НПЗ (РКОР) до 12 млн т/год к 2030: пресс-релиз от 15.06.2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kmg.kz/en/press-center/press-releases/pkor-cnrc/> (дата обращения 2025 г.)
5. Казахстан продлил запрет на экспорт бензина/ДТ автотранспортом, включая страны ЕАЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://interfax.com/newsroom/top-stories/108067/> (дата обращения 2024 г.)
6. В 2024 году импорт бензина в КР вырос на 73 млн литров – откуда поставляют топливо? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://economist.kg/all/2025/02/17/v-2024-ghodu-import-bienzina-v-kr-vyros-na-73-mln-litrov-otkuda-postavliaiut-toplivo/> (дата обращения 2025 г.)
7. Урустонбекова А. В 2023 году бензина было импортировано на 24,5 миллиарда сомов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://24.kg/obschestvo/291174_v2023_godu_benzina_byilo_importirovano_na245_milliarda_somov_/ (дата обращения 2024 г.)

8. В модернизацию НПЗ «Джунда» вложат \$167 млн, завод обновят до стандарта К-5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://economist.kg/all/2025/02/13/v-modiernizatsiiu-npz-dzhunda-vlozhat-167-mln-zavod-obnoviat-do-standarta-k-5-amanghiildiiev/> (дата обращения 2025 г.)
9. Energy sector monitor Belarus [Электронный ресурс] // German Economic Team. – Режим доступа: https://www.german-economic-team.com/wp-content/uploads/2023/06/GET_BLR_PB_02_2023.pdf (дата обращения 2024 г.)
10. Belarus: Gasoline consumption (thousand barrels per day) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.theglobaleconomy.com/belarus/gasoline_consumption/ (дата обращения 2024 г.)
11. Belarus' refineries reduce export of motor gasoline by 7.9% in Jan–Oct 2020 to 1.39m tonnes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://primepress.by/news/ekonomika/belarus_refineries_reduce_export_of_motor_gasoline_by_7_9_in_jan_oct_2020_to_1_39m_tonnes-28148/ (дата обращения 2024 г.)
12. Комплекс замедленного коксования: экономичность и эффективность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://energoeffect.gov.by/news/news_2023/20230602_news2 (дата обращения 2024 г.)
13. Курс на повышение конкурентоспособности. На Мозырском НПЗ приступили к реализации нового масштабного проекта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mazyr.by/2024/08/kurs-na-povyshenie-konkurentosposobnosti-na-mozyrskom-npz-pristupili-k-realizacii-novogo-masshtabnogo-investicionnogo-proekta/> (дата обращения 2024 г.)
14. SOCAR Construction завершила строительство комплекса гидрокрекинга тяжелых нефтяных остатков на Мозырском НПЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rupec.ru/news/46255/> (дата обращения 2024 г.)
15. Oil in Mongolia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.petromatadgroup.com/mongolia/oil-in-mongolia/> (дата обращения 2024 г.)

16. Mongolia imports maximum volume of petroleum products [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vom.mn/en/p/51479> (дата обращения 2024 г.)
17. Final Stage Contract of Oil Refinery Plant Signed [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.montsame.mn/en/read/328178> (дата обращения 2024 г.)
18. Mongolia's India-assisted refinery on track for 2026 launch: Ambassador [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.business-standard.com/india-news/mongolia-s-india-assisted-refinery-on-track-for-2026-launch-ambassador-124021100231_1.html (дата обращения 2024 г.)
19. Mongolia's First \$1.7B Refinery To Be Ready By March 2026 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rigzone.com/news/wire/mongolias_first_17b_refinery_to_be_ready_by_march_2026-12-sep-2024-178092-article/ (дата обращения 2024 г.)
20. Mongolia's first oil refinery to be commissioned in 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mongoliainc.com/8488/> (дата обращения 2024 г.)
21. Uzbekistan increases gasoline production [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kun.uz/en/news/2023/03/24/uzbekistan-increases-gasoline-production>
22. Uzbekistan witnesses robust growth in gasoline production in 2023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://daryo.uz/en/2023/08/25/uzbekistan-witnesses-robust-growth-in-gasoline-production-in-2023> (дата обращения 2024 г.)
23. Uzbekistan: Gasoline consumption (thousand barrels per day) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.theglobaleconomy.com/uzbekistan/gasoline_consumption/ (дата обращения 2024 г.)
24. OLTIN YO'L GTL. Номе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.oltinyolgtl.com/> (дата обращения 2024 г.)
25. At the Uzbekistan GTL plant [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://uza.uz/en/posts/at-the-uzbekistan-gtl-plant_740871 (дата обращения 2025 г.)

26. Uzbekistan launches \$3.4 billion gas-to-liquids plant [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://business.com.tm/post/8034/uzbekistan-launches-34-billion-gastoliquids-plant> (дата обращения 2024 г.)
27. Uzbekneftegaz selects Axens' advanced technologies for production of Euro V gasoline at Bukhara refinery [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.axens.net/resources-events/news/uzbekneftegaz-selects-axens-advanced-technologies-production-euro-v-gasoline-bukhara-refinery> (дата обращения 2024 г.)
28. Bukhara Refinery to switch to production of AI-91 and AI-92 gasoline from November-December [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tashkenttimes.uz/national/13002-bukhara-refinery-to-switch-to-production-of-ai-91-and-ai-92-gasoline-from-november-december> (дата обращения 2024 г.)
29. Uzbekistan to fully stop selling AI-80 gasoline from 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tashkenttimes.uz/national/12406-uzbekistan-to-fully-stop-selling-ai-80-gasoline-from-2025> (дата обращения 2024 г.)
30. Use and sale of AI-80 motor fuel to be restricted [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gov.uz/en/eco/news/view/35490> (дата обращения 2025 г.)
31. French Axens will help modernize the Bukhara refinery [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kun.uz/en/14559021> (дата обращения 2024 г.)
32. China refined oil production projected to fall in 2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mysteel.net/news/5045475-china-refined-oil-production-projected-to-fall-in-2024> (дата обращения 2024 г.)
33. China gasoline and gasoil consumption both grows in 2023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mysteel.net/news/5047035-china-gasoline-and-gasoil-consumption-both-grows-in-2023> (дата обращения 2024 г.)
34. China's April gasoline exports fall to lowest level since July 2015 on recovering domestic demand [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.brecorder.com/news/40304077> (дата обращения 2024 г.)

35. Trends in electric car markets – Global EV Outlook 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025/trends-in-electric-car-markets-2> (дата обращения 2025 г.)
36. Rising new energy vehicle sales in China: falling gasoline demand, rising uncertainty [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2025/04/Insight-167-Rising-new-energy-vehicle-sales-in-China.pdf> (дата обращения 2025 г.)
37. What’s driving decreasing gasoline consumption in China? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=63764> (дата обращения 2025 г.)
38. Oil and petroleum products – a statistical overview [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Oil_and_petroleum_products_-_a_statistical_overview (дата обращения 2025 г.)
39. Nigeria’s Dangote oil refinery could accelerate European sector’s decline [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.reuters.com/business/energy/nigerias-dangote-oil-refinery-could-accelerate-european-sectors-decline-2024-03-27/> (дата обращения 2024 г.)
40. Statistics – EU-27 gasoline trading balance: USA is a key export market for the EU [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.fuelseurope.eu/statistics> (дата обращения 2025 г.)
41. Annual Energy Outlook 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.eia.gov/pressroom/presentations/AEO2021_Release_Presentation.pdf (дата обращения 2024 г.)
42. The European Green Deal [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2> (дата обращения 2024 г.)

43. Motor Gasoline Consumption [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.indexmundi.com/energy/?product=gasoline&graph=consumption&display=rnk> (дата обращения 2024 г.)
44. Wen, W. Impacts of COVID-19 on the electric vehicle industry: Evidence from China / W. Wen, S. Yang, P. Zhou, S.Z. Gao // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2021. – P. 20.
45. JSC NC “KazMunayGas”. 2024 Annual Report: Statement from the Chairman [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kmg.kz/upload/iblock/bea/az68jgy089psrkmvn751j2hweodkgbuo/Отчет%20АО%20НК%20КазМунайГаз%20за%20первое%20полугодие%202024%20года%20ENG.pdf> (дата обращения 2024 г.)
46. Kursiv Media. KMG forecasts sharp increase in diesel fuel consumption by 2035 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kz.kursiv.media/en/2023-06-15/kmg-forecasts-sharp-increase-in-diesel-fuel-consumption-by-2035/> (дата обращения 2024 г.)
47. Interfax. Kazakhstan agreed on supply of up to 850,000 t of diesel from Russia in 2023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://interfax.com/newsroom/top-stories/88664/> (дата обращения 2024 г.)
48. Kazakhstan Plans to Export Up to a Third of Its Fuel Production by 2040 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://timesca.com/kazakhstan-plans-to-export-up-to-a-third-of-its-fuel-production-by-2040/> (дата обращения 2025 г.)
49. KazMunayGas. Annual Report 2019: Downstream. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ar2019.kmg.kz/pdf/ar/en/strategic-report_operating_downstream.pdf (дата обращения 2024 г.)
50. Kazakhstan approves its 2025-2040 oil refining development strategy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.enerdata.net/publications/daily-energy-news/kazakhstan-approves-its-2025-2040-oil-refining-development-strategy.html> (дата обращения 2024 г.)

51. В Кыргызстане в 2024 году произведено 86,5 тысячи тонн бензина. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://24.kg/ekonomika/311409_vnbspkirgyzstane_vnbsp2024_godu_proizvedeno_865_tyisyachi_tonn_benzina/ (дата обращения 2024 г.)

52. Спрос на нефтепродукты в Кыргызстане в основном восполнялся за счет их импорта. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://knews.kg/2024/12/27/spros-na-nefteprodukty-v-kyrgyzstane-v-osnovnom-vo spolnyalsya-za-schet-ih-importa/> (дата обращения 2024 г.)

53. Gasoline rises in price by 1–1.5 soms in Kyrgyzstan in 2025 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://24.kg/english/329067_Gasoline_rises_in_price_by_1-15_soms_in_Kyrgyzstan_in_2025/ (дата обращения 2025 г.)

54. Кыргызстан снизил импорт, но увеличил экспорт топлива. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://cronos.asia/ekonomika/kyrgyzstan-snizil-import-no-uvelichil-export-topliva/> (дата обращения 2024 г.)

55. В модернизацию НПЗ «Джунда» вложат \$167 млн: завод обновят до стандарта К-5. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://economist.kg/all/2025/02/13/v-modiernizatsiiu-npz-dzhunda-vlozhat-167-mln-zavod-obnoviat-do-standarta-k-5-amanghielidiev/> (дата обращения 2025 г.)

56. Переходные положения техрегламента на автомобильное топливо для Кыргызстана будут действовать до 1 января 2027 года. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://eec.eaeunion.org/news/perekhodnye-polozheniya-tekhreglamenta-na-avtomobilnoe-toplivo-dlya-kyrgyzstana-budut-deystvovat-do-/> (дата обращения 2024 г.)

57. Возвращение нефтяной ренты: экспресс-анализ. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://beroc.org/upload/medialibrary/d39/d39d8052c62924abef09d0577ea65216.pdf> (дата обращения 2024 г.)

58. The end of prosperity: The state of Belarusian refineries. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.osw.waw.pl/en/publikacje/osw-commentary/2024-08-29/end-prosperity-state-belarusian-refineries> (дата обращения 2024 г.)

59. «Нафтан» возобновил работу УЗК [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.argusmedia.com/ru/news-and-insights/latest-market-news/2304249-naftan-vozobnovil-rabotu-uzk> (дата обращения 2024 г.)

60. На ОАО «Нафтан» введена в действие установка замедленного коксования [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://giar.by/na-oao-naftan-vvedena-v-dejstvie-ustanovka-zamedlennogo-koksovaniya.html> (дата обращения 2024 г.)

61. Сколько нефтепродуктов Беларусь отгрузит через российские порты [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://officelife.media/news/56380-skolko-nefteproduktov-belarus-otgruzit-v-etom-godu-cherez-rossiyskie-porty/> (дата обращения 2024 г.)

62. Стало известно, куда Белоруссия перенаправила экспорт нефтепродуктов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://eadaaily.com/ru/news/2023/02/02/stalo-izvestno-kuda-belorussiya-perenapravila-eksport-svoih-nefteproduktov> (дата обращения 2024 г.)

63. Petroleum Sector Statistics for Q1 2024 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://lexoil.mn/en/petroleum-sector-statistics-for-quarter1-2024/> (дата обращения 2024 г.)

64. Mongol Refinery Project [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://envoyexcellency.com/mongol-refinery-project/> (дата обращения 2024 г.)

65. Uzbekistan notes growth in diesel fuel production [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.trend.az/casia/uzbekistan/3890106.html> (дата обращения 2024 г.)

66. At the Uzbekistan GTL plant [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://uza.uz/en/posts/at-the-uzbekistan-gtl-plant_740871 (дата обращения 2025 г.)

67. French Axens to help modernize Bukhara Oil Refinery to stop producing AI-80 gasoline [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://kun.uz/en/14559021> (дата обращения 2024 г.)
68. China refined oil production projected to fall in 2024 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.mysteel.net/news/5045475-china-refined-oil-production-projected-to-fall-in-2024> (дата обращения 2024 г.)
69. China gasoil apparent consumption estimated to rise 4% in 2023 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.mysteel.net/news/5045508-china-gasoil-apparent-consumption-estimated-to-rise-4-in-2023> (дата обращения 2024 г.)
70. Diesel consumption falls in China due to reduced economic activity and fuel substitution [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=62824> (дата обращения 2024 г.)
71. Breakdown of global car sales in 2019 and 2030, by fuel technology [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.statista.com/statistics/827460/global-car-sales-by-fuel-technology/> (дата обращения 2024 г.)
72. Motorisation rates in the EU, by country and vehicle type [Электронный ресурс]. - 2021. - Режим доступа: <https://www.acea.be/statistics/article/vehicles-per-capita-by-country> (дата обращения 2024 г.)
73. Wen, W. Impacts of COVID-19 on the electric vehicle industry: Evidence from China / W. Wen, S. Yang, P. Zhou, S.Z. Gao // Renewable and Sustainable Energy Reviews. - 2021. - P. 20.
74. Abdoun, A., 2018 Global Fuel Specifications / A. Abdoun, L. Erazo, Y. Wei // Houston. - 2018. - P. 73.
75. Muratori, M. The rise of electric vehicles—2020 status and future expectations / M. Muratori, M. Alexander, D. Arent, M. Bazilian, P. Cazzola, E. Dede, J. Farrell, C. Gearhart, D. Greene, A. Jenn, M. Keyser, T. Lipman, S. Narumanchi1, A. Pesaran, R.

Sioshansi, E. Suomalainen, G. Tal, K. Walkowicz1, J. Ward // Progress in Energy. – 2021. – №3. – P. 35.

76. Statistical report 2020 [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: https://www.fuelseurope.eu/wp-content/uploads/SR_FuelsEurope-_2020-1.pdf (дата обращения 2023 г.)

77. Lin, B. The impact of electric vehicle penetration: A recursive dynamic CGE analysis of China / B. Lin, W. Wu // Energy Economics. – 2021. – №94.

78. Economic and Market Report EU Automotive Industry Full year 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.acea.be/statistics/tag/category/economic-and-market-outlook>

79. В режиме дефицита [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://portnews.ru/magazine/portnews/a488/> (дата обращения 2024 г.)

80. Рынок бункеровки 2024: рост продолжается [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://portnews.ru/magazine/portnews/a975/> (дата обращения 2025 г.)

81. Эксперт ожидает продаж бункерного топлива в портах РФ в 2025 г. не выше 8 млн т [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.interfax.ru/business/1033180> (дата обращения 2025 г.)

82. Объем производства судового топлива в России в 2025 году не превысит 8 млн тонн [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://portnews.ru/news/378606/> (дата обращения 2025 г.)

83. Бункерный рынок России: текущая ситуация и перспективы [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://portnews.ru/comments/3575/> (дата обращения 2025 г.)

84. 2024 Marine Bunker Fuels Review [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://vpsveritas.com/knowledgecentre/articles/2024-marine-bunker-fuels-review> (дата обращения 2025 г.)

85. Объем бункеровок в порту Владивосток за 2024 год вырос почти на 1% – до 507,5 тыс. тонн [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://portnews.ru/news/372276/> (дата обращения 2025 г.)

86. Правительство ввело временное ограничение на экспорт автомобильного бензина и дизельного топлива (Постановление Правительства РФ от 21.09.2023 № 1537) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://government.ru/news/49564/> (дата обращения 2025 г.)

87. Правительство распространило временные ограничения экспорта бензина на производителей нефтепродуктов (Постановление Правительства РФ от 28.07.2025 № 1118) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://government.ru/docs/52367/> (дата обращения 2025 г.)

88. Крупнейший логист Дальнего Востока назвал причины дефицита топлива [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.rbc.ru/business/07/12/2023/657065db9a794757e438e724> (дата обращения 2025 г.)

89. New sulphur emission limits enter into effect in the Mediterranean (Med SOx ECA) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.imo.org/en/mediacentre/pages/whatsnew-2254.aspx> (дата обращения 2024 г.)

90. United Nations Conference on Trade and Development. Review of Maritime Transport 2024. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://unctad.org/mt2024ch1_en.pdf (дата обращения 2025 г.)

91. Информационное агентство «ПортНьюс». Российский бункерный рынок в 2019 году снизился более чем на 6% – до 11 млн тонн судового топлива. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://portnews.ru/news/291716/> (дата обращения 2024 г.)

92. ИАА «ПортНьюс». В режиме дефицита. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://portnews.ru/magazine/portnews/a488/> (дата обращения 2024 г.)

93. ИАА «ПортНьюс». Рынок бункеровки 2024: рост продолжается. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://portnews.ru/magazine/portnews/a975/> (дата обращения 2024 г.)
94. ИАА «ПортНьюс». Росморречбункер ожидает объем продаж судового топлива в России в 2025 г. до 8 млн тонн. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://portnews.ru/news/378602/> (дата обращения 2025 г.)
95. Коммерсантъ. Нефтяной маневр наращивает темп. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/3651470> (дата обращения 2024 г.)
96. Forbes Russia. Меж двух огней. Как отразится налоговый маневр на стоимости бензина. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.forbes.ru/biznes/363065-mezh-dvuh-ogney-kak-otrazitsya-nalogovyy-manevr-na-stoimosti-benzina> (дата обращения 2024 г.)
97. VPS (Veritas Petroleum Services). 2024 Marine Bunker Fuels Review. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2025/02/VPS-Article_2024-Marine-Bunker-Fuels-Review.pdf (дата обращения 2025 г.)
98. International Maritime Organization. Report on the fuel oil consumption data submitted to the IMO DCS (Reporting year 2023). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Reporting%20year%202023.pdf> (дата обращения 2025 г.)
99. LNG PATHWAY - THE PRACTICAL AND REALISTIC ROUTE [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://sea-lng.org/wp-content/uploads/2025/01/A_View_From_The_Bridge_2025_WEB.pdf (дата обращения 2025 г.)
100. DNV: Alternative-fuelled newbuilding orders slow down in November. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.manifoldtimes.com/news/dnv->

alternative-fuelled-newbuilding-orders-slow-down-in-november/ (дата обращения 2025 г.)

101. S&P Global Commodity Insights. LNG bunkering forecast to grow thirtyfold to 30 mil mt by 2030: Pavilion Energy. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.spglobal.com/commodity-insights/en/news-research/latest-news/natural-gas/091120-lng-bunkering-forecast-to-grow-thirtyfold-to-30-mil-mt-by-2030-pavilion-energy>

102. Kalghatgi G. Development of Fuel/Engine Systems – The Way Forward to Sustainable Transport / G. Kalghatgi // Engineering. – 2019. – №5. – P. 510-518.

103. Kalghatgi G. Is it really the end of internal combustion engines and petroleum in transport? / G. Kalghatgi // Applied Energy. – 2018. – №225. – P. 965-974

104. Лосиков Б.В. Нефтепродукты. Свойства, качества, применение. / Б.В. Лосиков– М.: - Химия, 1966. – С. 777.

105. Heude W. A Carbon Border Adjustment Mechanism for the European Union / W. Heude, M. Chailloux, X. Jardi // Tresor-Economics. – 2021. – №280. – P. 12.

106. Peters J.F. Low emission zones: Effects on alternative-fuel vehicle uptake and fleet CO2 emissions / J.F. Peters, M. Burguillo, J. M. Arranz // Transportation Research Part D. – 2021. – 95. – P. 18.

107. The 2020 automotive trends report [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://nepis.epa.gov/Exec/ZyPDF.cgi?Dockkey=P1010U68.pdf>

108. ГОСТ 32339–2013. Нефтепродукты. Определение детонационных характеристик моторных топлив. Исследовательский метод. М.: Стандартиформ, 2014. 24 с.

109. ГОСТ 8226. Топливо для двигателей. Исследовательский метод определения октанового числа. М.: Стандартиформ, 2016. 35 с.

110. ГОСТ 32340–2013. Определение детонационных характеристик моторных и авиационных топлив. Моторный метод. М.: Стандартиформ, 2014. 18 с.

111. ГОСТ 511–2015. Топливо для двигателей. Моторный метод определения октанового числа. М.: Стан-дартинфоим, 2016. 45 с.
112. Methyl Tert-Butyl Ether (MTBE) Price Trend and Forecast // ChemAnalyst [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.chem-analyst.com/Pricing-data/methyl-tertiary-butyl-ether-81>
113. Link, D.D.; Zandhuis, P. The distribution of sulfur compounds in hydrotreated Джет fuels: Implications for obtaining low-sulfur petroleum fractions. *Fuel* 2006, 85(4), 451–455
114. Zandhuis, P.; Link, D.D. Determination of sulfur contaminants in military Джет fuels. *Fuel Processing Technology* 2007, 88(7), 737–743.
115. Fedorov, E.P.; Ivanov, V.F.; Yanovskii, L.S. Increasing the Thermooxidative Stability of TS-1 Fuel. Decreasing the Acceptable Content of Mercaptan Sulfur. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils* 2003, 39(5), 253–256.
116. Boulicault, J.; et al. Contribution of sulfur compounds to deposit formation in Джет fuels at high temperature (ASTM D7739 conditions). *Fuel* 2018, 234, 129–138.
117. Mayo, F.R.; Lan, B.Y. Thermal Stability of Jet Fuels: Kinetics of Forming Deposit Precursors. NASA NTRS Report 1997. (Traces of sulfur reduce autoxidation rate but increase deposit precursor yield; role of aromatics.)
118. Huang, Q.; et al. A comprehensive review of the thermal oxidation stability of Джет fuels. *Chemical Engineering Science* 2021, 229, 116035.
119. Zhang, H.; et al. Surface deposit formation of sulfur compounds in both air-saturated and oxygen-free conditions. *Fuel* 2023, 336, 127041.
120. Hsieh, P.Y.; Bruno, T.J. A perspective on the origin of lubricity in petroleum distillate motor fuels. *Fuel Processing Technology* 2015, 129, 52–60. (NIST PDF)

ПРИЛОЖЕНИЕ А



**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«СЛАВЯНСК ЭКО»
(ООО «Славянск ЭКО»)**

350020, Россия, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Им. Бабушкина, дом 250
ИНН/КПП 2370000496/ 230801001, ОКПО/ОГРН 92316478/1112370000753
тел. 8(86146) 2-72-76, факс 8(86146) 2-73-44

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационного исследования
Сафронова Егора Михайловича

Материалы диссертации Сафронова Егора Михайловича на тему: «Увеличение производства моторных топлив при интеграции нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы в практической деятельности ООО «Славянск ЭКО» при разработке технологии производства бензина неэтилированного марки АИ-92 экологического класса К5 по ГОСТ 32513-2013 из низкооктановых потоков нефтепереработки с использованием нефтехимических компонентов.

По материалам исследования на ООО «Славянск ЭКО» был проведен опытно-промышленный пробег, подтвердивший технологическую реализуемость разработанной рецептуры и соответствие готового топлива требованиям ГОСТ 32513-2013 и ТР ТС 013/2011.

Генеральный директор
ООО «Славянск ЭКО»



К.Р. Агаджанян

27.08.2025