ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ, 2024, том 58, № 4, с. 498–505

УДК 665.75

НОВЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ РЕЦЕПТУРЫ ТОПЛИВА СУДОВОГО МАЛОВЯЗКОГО

© 2024 г. С. Г. Дьячкова[a], Ж. Н. Артемьева[b, *]

[a]*ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия*

[b]*АО "Ангарская нефтехимическая компания", Ангарск, Россия*

**e-mail: artemevazn@anhk.rosneft.ru*

Поступила в редакцию 24.05.2024 г.
После доработки 28.06.2024 г.
Принята к публикации 01.07.2024 г.

На основе комплексного анализа экспериментальных данных и методов математического моделирования предложен новый подход к формированию рецептур топлива маловязкого судового. Данный подход базируется на установленных закономерностях смешения средних и тяжелых дистиллятов нефтепереработки, формирующих топливные композиции, более чем на 95% состоящие из ароматических и парафино-нафтеновых углеводородов в соотношении ~ 1 : 2. Для определения углеводородного состава компонентов и топливных композиций применялась схема комбинаторного использования методов испытаний. На базе полученных данных создана математическая модель для расчета рецептуры топлива маловязкого судового по углеводородному составу компонентов без дополнительных исследований последних по широкому спектру показателей. Совокупность найденных закономерностей и подходов к моделированию позволила обосновать расширение сырьевой базы топлива за счет замены в его составе до 70% ценных компонентов на более низкомаржинальные нефтепродукты.

Ключевые слова: топливо маловязкое судовое, углеводородный состав, ароматические углеводороды, парафино-нафтеновые углеводороды, температурные характеристики, цетановый индекс

DOI: 10.31857/S0040357124040115 **EDN**: AVIVHC

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в России отмечается увеличение объема перевалки грузов в морских портах на 0.8%, прирост производственных мощностей которых составил 36.6 млн т.[1] Развивается также инфраструктура внутреннего водного транспорта: увеличиваются протяженность и пропускная способность водных путей, вводятся в эксплуатацию дополнительные суда[2] [1]. Основным видом топлива для водного транспорта является топливо маловязкое судовое (ТМС), которое выпускается согласно ТУ 38.101567-2014. До 2020 г. морской транспорт считался одним из наиболее сильных источников загрязнения окружающей среды, но принятое Международной морской организацией постановление, ограничивающее содержание сернистых компонентов в топливе для речного и морского транспорта – не более 0.5%, в корне меняет ситуацию на рынке нефтепродуктов для судоходной отрасли [2–5]. В условиях необходимости удовлетворения спроса на судовое топливо важно правильно подобрать сырьевую базу, обеспечивающую одновременно получение топлива необходимого качества и увеличение глубины переработки нефти [6–9]. Ранее нами были проведены комплексные исследования по расширению сырьевой базы ТМС за счет вовлечения тяжелых дистиллятов, побочных и низкомаржинальных продуктов нефтепереработки [10–15]. Вместе с тем получение ТМС, отвечающего нормативным требованиям, является в настоящее время сложной, малоизученной технологической задачей. Сведения об обоснованности выбора компонентов ТМС очень ограничены, носят эмпирический характер и не опираются на теоретические исследования, объясняющие зависимость формирования топливно-дисперсной системы необходимого качества

[1] Заседание коллегии Федерального агентства морского и речного транспорта и Общественного совета при ведомстве под председательством руководителя Росморречфлота Захария Джиоева по итогам 2022 г.

[2] Доклад о результатах деятельности Министерства транспорта Российской Федерации за 2022 г., целях и задачах на 2023 г. и плановый период до 2025 г. Москва, 2023 г.

от состава и свойств компонентов. А методы математического моделирования, учитывающие корреляцию между эксплуатационными свойствами топлив и углеводородным составом компонентов в процессе создания и оптимизации рецептур ТМС, при применении существующих специализированных программ оптимизационного планирования на НПЗ практически не применяются.

В связи с этим целью настоящего исследования являлось установление закономерностей формирования композиций ТМС, отвечающих нормативным требованиям, и разработка на их основе нового подхода к оптимизации рецептур ТМС из любого набора компонентов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектами исследования являлись компоненты ТМС: прямогонные среднедистиллятные фракции утяжеленного фракционного состава, получаемые в процессе атмосферной перегонки обессоленной нефти (ПСДФ); легкий газойль, получаемый в процессе каталитического крекинга смеси вакуумных дистиллятов (ЛГКК); гидроочищенные среднедистиллятные фракции, получаемые в процессе гидроочистки смеси дизельных фракций различного происхождения с бензином замедленного коксования (ГСДФ); кубовый остаток, получаемый в процессе атмосферно-вакуумной перегонки гидрогенизата блоков гидрирования тяжелых среднедистиллятных фракций первичной и вторичной переработки нефти (КО); дизельная фракция, получаемая в процессе замедленного коксования смеси гудрона, тяжелого газойля каталитического крекинга и тяжелой смолы пиролиза (ДФЗК); утяжеленные дизельные фракции с вакуумных колонн установок АВТ-6 и ГК-3 (УДФ уст. АВТ-6, УДФ уст. ГК-3); легкий газойль замедленного коксования (ЛГЗК); тяжелая дизельная фракция с атмосферной колонны установки ГК-3 (ТДФ); вакуумные дистилляты различного фракционного состава (ВД), представляющие собой средние и тяжелые дистилляты, а также ТМС нового состава (ТМС № 1–7), полученное при вовлечении вышеперечисленных компонентов.

Отбор проб и испытания на соответствие требованиям ТУ 38.101567-2014 проводились по стандартизированным методикам на поверенных средствах измерения и аттестованном испытательном оборудовании.

Содержание непредельных углеводородов в нефтепродукте вычисляли по формуле, приведенной в п. 1.4.4 ГОСТ 2070 “Нефтепродукты светлые. Методы определения йодных чисел и содержания непредельных углеводородов”, предварительно определяя йодное число, выраженное в граммах I_2, присоединившегося к 100 г топлива при последующем титровании свободного йода раствором тиосульфата натрия после обработки образца спиртовым раствором йода.

Содержание ароматических углеводородов определяли по ГОСТ EN 12916 “Нефтепродукты. Определение типов ароматических углеводородов в средних дистиллятах. Метод высокоэффективной жидкостной хроматографии с детектированием по коэффициенту рефракции”. Нами использовался высокоэффективный жидкостной хроматограф ProStar, оснащенный колонкой с сорбентом – пористые силикагельные частицы, химически модифицированные привитой аминофазой Zorbax NH_2 (4.6 × 250 мм, 5 мкм) и предколонкой Zorbax NH_2 (4.6 × 12.5 мм, 5 мкм). Элюент – гептан, скорость потока 1 мл/мин. Перед вводом в колонку образец нефтепродукта определенной массы разбавлялся гептаном. Используемый нами полярный сорбент обладает слабым сродством к неароматическим углеводородам, но определенной селективностью в отношении ароматических углеводородов. Вследствие этого ароматические углеводороды разделяются и идентифицируются в зависимости от числа ароматических колец. Детектор в ВЭЖ хроматографе – дифференциальный рефрактометр. Сигнал детектора непрерывно регистрируется системой накопления данных. Амплитуды сигналов, соответствующих ароматическим соединениям в образце, сравнивают с сигналами, полученными при анализе калибровочных стандартных растворов. Это сравнение позволяет определить массовые доли моно-, ди- и три+-ароматических углеводородов в образце. Сумма массовых долей ди- и три+-ароматических углеводородов соответствует массовой доле полиароматических углеводородов. Общая массовая доля ароматических соединений представляет сумму моно-, ди- и три+-ароматических углеводородов.

Оценка содержания парафино-нафтеновых углеводородов проводилась методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ) в сравнении с методом нормализации с учетом известного количества непредельных и ароматических углеводородов.

Метод определения цетанового индекса (*CI*) осуществлялся по ГОСТ 27768 и заключался в определении плотности при 15°С (ρ) и температуры кипения 50%-ной фракции (*t*) с дальнейшим расчетом по уравнению:

$$CI = 454{,}74 - 1641{,}416\rho + 774{,}74\rho^2 - 0{,}554t + \\ +97{,}803(lgt)^2.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для того чтобы спрогнозировать качество конечного продукта, нами были исследованы не только физико-химические и эксплуатационные свойства рецептур ТМС, составленных нами согласно требований ТУ 38.101567-2014 (табл. 1, № 1–7), но и углеводородный состав как компонентов (табл. 2), так и топливных композиций (рис. 1).

Известно, что наличие парафино-нафтеновых углеводородов в топливной смеси, в отличие от ароматических и непредельных, снижает ее вязкость, обеспечивает пологость вязкостно-температурной кривой, увеличивает воспламеняемость топлива [6, 16–20]. Компоненты ТМС – ПСДФ уст. ГК-3, ГСДФ и ДФЗК имеют в своем составе большое количество парафино-нафтеновых углеводородов: 67.6%, 75.4 и 34.7%, соответственно (табл. 2). При удалении из рецептуры ТМС этих компонентов высокое содержание алифатических углеводородов может быть скомпенсировано вовлечением в топливо таких продуктов, как УДФ и ВД, а также увеличением содержания в рецептуре компонентов ПСДФ уст. АВТ-6 и КО. Это позволит обеспечить сохранение температурных характеристик, а также вязкости и воспламеняемости ТМС нового состава.

Низкокипящие фракции, содержащие парафино-нафтеновые углеводороды, снижают температуру вспышки, высококипящие, повышая температуру вспышки, одновременно приводят к повышению температуры застывания [6, 16–20]. Так, увеличение содержания в топливе компонента КО приведет к повышению значений вязкости и температур вспышки и застывания ТМС. Напротив, увеличение содержания в топливе компонентов ГСДФ и ДФЗК, имеющих в своем составе низкокипящие парафино-нафтеновые углеводороды, приведет к понижению температуры вспышки ТМС. Поэтому удаление данных компонентов из рецептуры топлива необходимо не только по показателям снижения себестоимости ТМС, но и с точки зрения оптимизации эксплуатационных показателей.

По мере утяжеления фракционного состава вовлекаемых продуктов [ТДФ (T_{end} = 373°C), УДФ (T_{end} = 390°C), ЛГЗК (T_{end} = 394°C)] увеличивается содержание в них тяжелых парафи-

Таблица 1. Компонентный состав и эксплуатационные характеристики рецептур топлива маловязкого судового

Компонент		Новый состав топлива маловязкого судового (мас. %)						
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
ПСДФ уст. АВТ-6		31	8	5	–	60	60	47
КО		26	34	30	19	8	10	–
ЛГКК		13	8	5	6	10	10	4
УДФ уст. ГК-3		5	15	11	–	10	10	–
УДФ уст. АВТ-6		–	–	–	15	–	–	12
ЛГЗК		–	5	9	–	2	–	–
ТДФ		25	25	36	60	10	10	2
ВД		–	5	4	–	–	–	35
Эксплуатационные характеристики	Норма по ТУ 38.101567-2014	Фактические значения*						
υ_{20}, мм^2/с	⩽ 11.4	9.2	10.3	10.6	11.3	10.5	10.1	11.4
T_{fl}, °C	⩾ 61	98	111	108	106	93	97	100
T_{sol}, °C	⩽ –10	–2	–2	–2	–1	3	4	5
ρ_{15}, кг/м^3	⩽ 893	869	872	873	871	880	875	884
ω_S, мас. %	⩽ 0.5	0.47	0.48	0.49	0.49	0.48	0.47	0.49

* Приведены фактические значения топливных композиций без добавления в рецептуру депрессорно-диспергирующих присадок.

Таблица 2. Углеводородный состав компонентов, используемых в приготовлении топлива маловязкого судового

Компонент топлива маловязкого судового	Содержание углеводородов, мас. %		
	непредельных	ароматических	парафино-нафтеновых
ГСДФ	0.4	24.2	75.4
ДФЗК	35.0	30.3	34.7
ПСДФ			
уст. ГК-3	0.9	31.5	67.6
уст. АВТ-6	1.3	35.0	63.7
ЛГКК	9.8	76.5	13.7
КО	0.7	1.9	97.4
ЛГЗК	23.1	44.9	32.0
ТДФ	1.4	34.6	64.0
УДФ			
уст. ГК-3	2.2	38.8	59.0
уст. АВТ-6	3.5	39.5	57.0
ВД	3.2	44.4	52.4

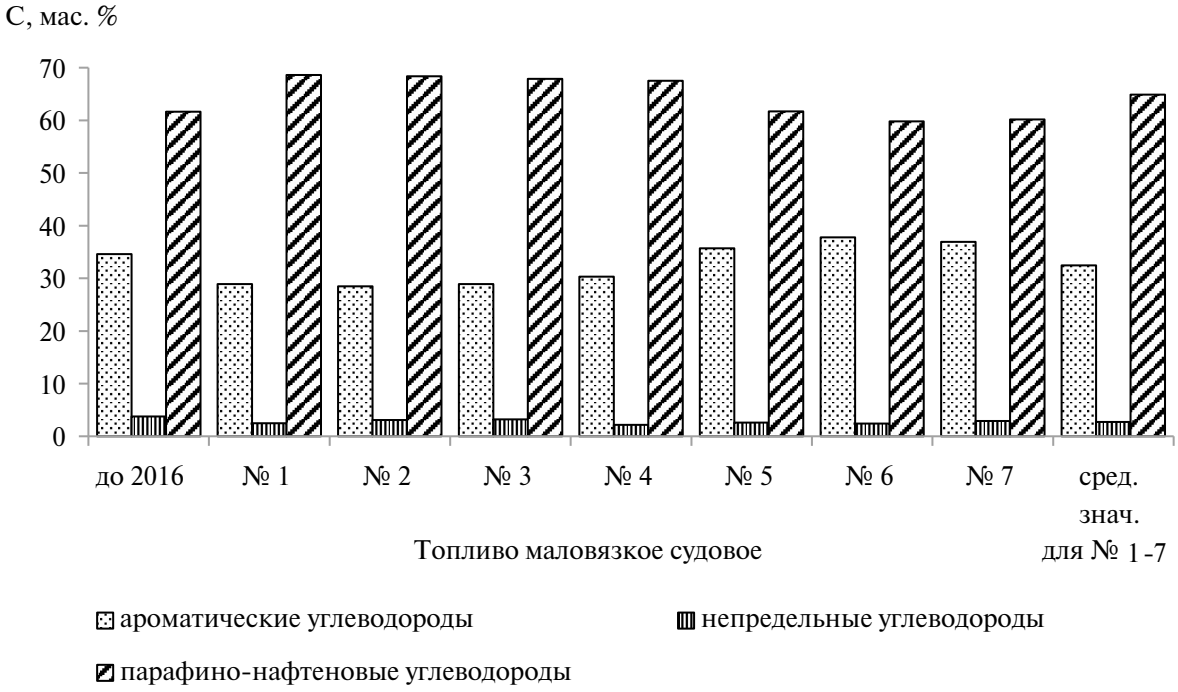

Рис. 1. Групповой химический состав ТМС по предложенным рецептурам (№ 1–7), по рецептуре 2016 г. и усредненный состав по всем предложенным рецептурам ТМС.

нов, серосодержащих соединений и ароматических углеводородов, растет плотность, вязкость и температура застывания самих компонентов. Ароматические углеводороды ухудшают фотометрические свойства топлив и увеличивают нагарообразование [6, 16–20]. Нами установлено, что снижение содержания ароматических углеводородов при выводе из состава ТМС таких компонентов, как ПСДФ уст. ГК-3, ДФЗК и ГСДФ, может компенсироваться вовлечением в топливо ТДФ, УДФ и ВД, а также увеличением доли ПСДФ уст. АВТ-6 (табл. 2).

Расчет новых рецептур ТМС осуществлялся с учетом критичных показателей (вязкость, плотность, массовая доля серы) методом математического моделирования с использованием программного продукта PIMS компании Aspen Tech (табл. 1). При этом качество полученных образцов топлива (№ 1–7) хорошо коррелирует с расчетными данными и лежит в области, близкой

к регламентируемой ТУ 38.101567-2014 (табл. 1). В приготовленных на основании расчетных рецептур топливах был определен групповой химический состав (рис. 1). При этом оказалось, что все исследуемые образцы топлива близки по углеводородному составу, содержание в них парафино-нафтеновых углеводородов в среднем в два раза выше, чем ароматических.

Нами было определено содержание в каждой конкретной рецептуре ТМС парафино-нафтеновых и ароматических углеводородов при незначительном количестве непредельных углеводородов (до 4%), вносимых индивидуальными компонентами с учетом их процентного вовлечения в топливо (рис. 2).

На базе анализа фракционного и группового химического состава ТМС (рис. 1, табл. 1) с определением содержания в конкретной рецептуре парафино-нафтеновых, ароматических и непредельных углеводородов, вносимых компонентами с учетом их процентного вовлечения в топливо (табл. 2, рис. 2), установлено, что приоритетными компонентами ТМС являются нефтепродукты в количествах, формирующих топливный состав более чем на 95% представленный ароматическими и парафино-нафтеновыми углеводородами, оптимальное соотношение которых в среднем должно быть равным 1 : 2.

Одной из характеристик ТМС, вошедших в европейские спецификации, является цетановый индекс как функция воспламеняемости топлива. Нами рассчитан цетановый индекс компонентов, вовлекаемых в новые рецептуры ТМС. Установлено, что с увеличением содержания парафино-нафтеновых и снижением содержания ароматических углеводородов в компоненте цетановый индекс компонента растет (рис. 3), что полностью согласуется с теоретическими представлениями, ввиду низких значений цетановых чисел ароматических углеводородов. Вместе с тем для всех приготовленных по расчетным рецептурам топлив (табл. 1, рис. 2) наблюдается незначительный разброс значений температурных характеристик и цетанового индекса (48–50 ед., рис. 4). Следовательно, определяющим для значения цетанового индекса топливных композиций является углеводородный состав топлива, который постоянен для ТМС, удовлетворяющих нормативным требованиям.

На основании полученных данных разработана математическая модель, позволяющая рассчитать рецептуры ТМС, соответствующие нормативным требованиям, из любого набора

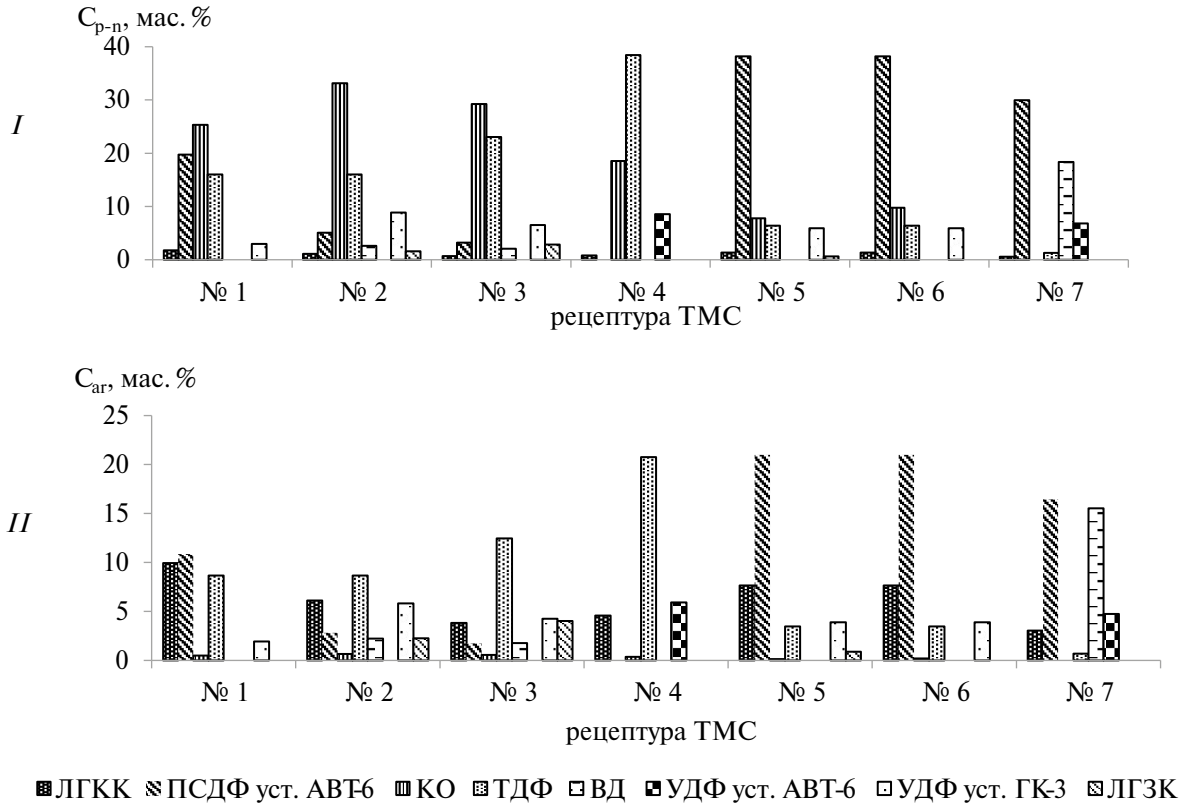

Рис. 2. Содержание углеводородов, вносимое каждым компонентом с учетом его массовой доли в ТМС разного состава: *I* – парафино-нафтеновых; *II* – ароматических.

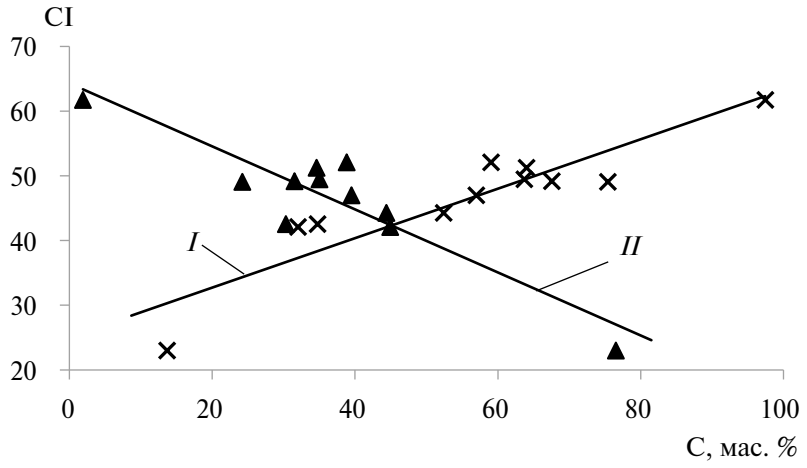

Рис. 3. Зависимость цетанового индекса компонентов от содержания углеводородов: *I* – парафино-нафтеновых; *II* – ароматических.

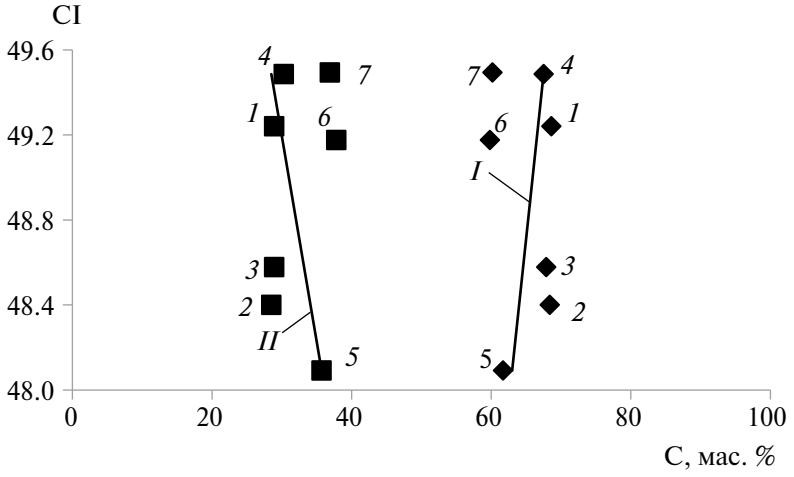

Рис. 4. Зависимость цетанового индекса ТМС от содержания углеводородов: *I* – парафино-нафтеновых; *II* – ароматических.

компонентов с известным содержанием парафино-нафтеновых и ароматических углеводородов без проведения дополнительных испытаний для определения всех показателей качества по каждому компоненту [21].

Подбор требуемой рецептуры ТМС заключается в решении следующей системы ограничений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n} \omega_i' \left(x_i'' - Z x_i' \right) = 0, \\ \sum_{i=1}^{n} \omega_i' \left(x_i'' + x_i' - C \right) > 0, \\ 0 \le \omega_i' \le \omega_i^0, \end{cases}$$

где $\omega_i' = \dfrac{m_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i^0}$; $\omega_i^0 = \dfrac{m_i^0}{\sum_{i=1}^{n} m_i^0}$; m_i и m_i^0 – вовлекаемое в ТМС и максимально-возможное количество i-го компонента соответственно, кг; x_i' и x_i'' – концентрации ароматических и парафино-нафтеновых углеводородов в *i*-м компоненте смеси соответственно, мас. %; Z – требуемое соотношение парафино-нафтеновых и ароматических углеводородов в полученном ТМС (≈2); C – требуемое суммарное содержание парафино-нафтеновых и ароматических углеводородов в полученном ТМС (95 мас. %); n – количество компонентов в ТМС.

Критерий оптимальности данной задачи:

$$\sum_{i=1}^{n} \omega_i' \to max .$$

Данный метод расчета удобен и прост в исполнении и, в отличие от программного продукта Aspen PIMS, не требует ввода данных по всем эксплуатационным характеристикам компонентов, следовательно, позволяет значительно сократить временные и материальные затраты на аналитическую подготовку.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базе анализа фракционного и группового химического состава компонентов и сформированного из них топлива установлено, что приоритетными компонентами для производства топлива маловязкого судового, соответствующего современным нормативным требованиям, являются нефтепродукты, выкипающие в интервалах температур, близких к дизельным фракциям, в соотношениях, формирующих топливный состав, более чем на 95% представленный ароматическими и парафино-нафтеновыми углеводородами, оптимальное соотношение которых в среднем должно быть равным 1 : 2.

На основе установленных закономерностей формирования углеводородного состава ТМС, создания математической модели для прогнозирования и оптимизации рецептуры ТМС найден новый подход к формированию оптимальных рецептур ТМС, расширена сырьевая база ТМС за счет вовлечения до 75% низкомаржинальных нефтепродуктов.

ОБОЗНАЧЕНИЯ

C	содержание
CI	цетановый индекс
m	количество компонента
n	число компонентов
T	температура, °C
t	температура кипения 50%-й фракции (°C)
x	концентрация
Z	соотношение углеводородов
ρ	плотность, кг/м^3
υ	вязкость кинематическая, мм^2/с
ω	массовая доля, мас. %

ИНДЕКСЫ

15	при 15°C
20	при 20°C
ar	ароматические углеводороды
end	конец кипения
fl	вспышка, определяемая в закрытом тигле
p-n	парафино-нафтеновые углеводороды
S	сера
sol	застывание

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспорт в России: Статистический сборник. Т. 65. М.: Росстат, 2022.
2. Технический регламент Таможенного союза “О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту” (ТР ТС 013/2011) / Утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 18.10.2011 № 826 с изменениями на 24.11.2023.
3. Приложение VI к МАРПОЛ 73/78 “Правила предотвращения загрязнения воздушной среды с судов” / Принят 62-й сессией Комитета ИМО по предотвращению загрязнения морской среды Резолюцией МЕРС. 203(62), вступившие в силу 1.01.2013.
4. *Митусова Т.Н., Лобашова М.М., Ершов М.А., Бобкова М.В., Титаренко М.А.* Судовые топлива: изменения в стандарте // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2018. № 11. С. 44.
5. *Капустин В.М., Чернышева Е.А., Ершов М.А., Сердюкова Е.Ю.* Оптимизация компонентного состава судового топлива с целью снижения содержания серы // Актуальные проблемы нефтехимии: Сборник тезисов докладов XII Российской конференции (с международным участием), Грозный, 5–9 октября 2021 года. Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, 2021. С. 117.
6. *Элверс Б.* Топлива. Производство, применение, свойства. Справочник / Под ред. Т.Н. Митусовой. СПб.: Профессия, 2012.
7. *Кондрашева Н.К., Кондрашев Д.О.* Основные направления совершенствования технологии производства дизельных и судовых маловязких топлив // Технологии нефти и газа. 2014. № 3. С. 3.
8. *Титов А.А.* Тревожное будущее судовых топлив // Нефтегазовая Вертикаль. 2017. № 9. С. 20.
9. *Солодова Н.Л., Черкасова Е.И.* Тенденции развития нефтепереработки в России // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 21. С. 57.
10. *Артемьева Ж.Н., Дьячкова С.Г.* Расширение ресурсов дизельных и судовых топлив за счет изменения их компонентного состава // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы конференции XX Юбилейная международная научно-практическая конференция имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых ученых. Томск: ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2019. С. 337.

11. *Artemeva Zh.N., Dyachkova S.G., Kuzora I.E., Vakulskaya T.I., Pavlov D.V., Lonin M.A.* Marine gas oil based on heavy diesel fractions of secondary origin: problems and solutions // Petroleum Chemistry. 2020. V. 60. № 9. P. 1100. [Артемьева Ж.Н., Дьячкова С.Г., Кузора И.Е., Вакульская Т.И., Павлов Д.В., Лонин М.А. Топливо судовое маловязкое на базе тяжелых дизельных фракций вторичного происхождения. Проблемы и методы их решения // Нефтехимия. 2020. Т. 60. № 5. С. 715.]
12. *Артемьева Ж.Н., Дьячкова С.Г., Кузора И.Е., Вакульская Т.И., Павлов Д.В., Гершпигель Т.Н.* Дистилляты процесса коксования – новые компоненты топлива судового маловязкого // Химическая промышленность сегодня. 2021. № 4. С. 18.
13. *Артемьева Ж.Н., Кузора И.Е., Дьячкова С.Г., Лонин М.А.* Оценка возможности использования ловушечного нефтепродукта как компонента товарных нефтепродуктов // Нефтепереработка и Нефтехимия. 2019. № 5. С. 3.
14. *Артемьева Ж.Н., Дьячкова С.Г., Гершпигель Т.Н., Прудникова Е.В.* Сравнение процессов гидрирования и окисления как методов улучшения эксплуатационных свойств топлива маловязкого судового // Теорет. основы хим. технологии. 2022. Т. 56. № 3. С. 358.
15. *Dyachkova S.G., Artemeva Zh.N.* New Components of Low-Viscosity Marine Fuel Based on Low-Value and By-products of Oil Refining // Chemistry for Sustainable Development. 2024. V. 32. № 3. P. 282. [*Дьячкова С.Г., Артемьева Ж.Н.* Новые компоненты топлива маловязкого судового на базе малоценных и побочных продуктов нефтепереработки // Химия в интересах устойчивого развития. 2024. Т. 32. № 3. С. 291.]
16. *Папок К.К., Рагозин Н.А.* Словарь по топливам, маслам, присадкам. М.: Химия, 1975.
17. *Капустин В.М.* Технология переработки нефти. В 4-х ч. Ч. 1. Первичная переработка нефти. М.: КолосС, 2012.
18. *Папок К.К.* Моторные, реактивные и ракетные топлива / Под ред. проф. д-ра техн. наук К.К. Папок и проф. д-ра техн. наук Е.Г. Семенидо. М.: Гостоптехиздат, 1962.
19. *Гуревич И.Л.* Технология переработки нефти и газа. М.: Химия, 1972.
20. *Капустин В.М., Гуреев А.А.* Технология переработки нефти. Ч. 2. Физико-химические процессы. М.: Химия, 2015.
21. *Дьячкова С.Г., Артемьева Ж.Н., Семёнов И.А.* Расчет состава топлива маловязкого судового. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2022615371. 2022.