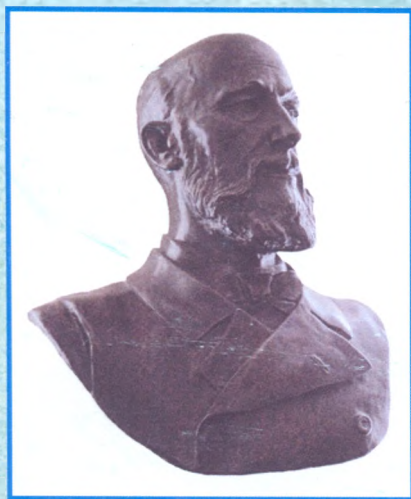


Бутлеровские сообщения



2024. Том 80. №10-12

ISSN 2074-0212

русская язычная печатная
версия с 2009 года

Международная версия нашего журнала с 2021 года
преобразована в три независимых Online журнала:

Butlerov Communications A
Advances in Organic Chemistry & Technologies

Butlerov Communications B
Advances in Chemistry & Thermophysics

Butlerov Communications C
Advances in Biochemistry & Technologies

International Edition in English from 2009 (Print):
Butlerov Communications



ISSN 2074-0948

Использование скипидара как компонента моторного топлива

© Курзин^{1*} Александр Вячеславович, Миксон² Дарья Сергеевна,
Гераскина³ Софья Александровна, Евдокимов¹ Андрей Николаевич

¹Кафедра органической химии. Кафедра материаловедения и технологии машиностроения. Высшая школа технологий и энергетики. Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. ул. Ивана Черных, 4. г. Санкт-Петербург, 198095. Россия.

Тел.: +7 (812) 786-52-69. E-mail: zakora@mail.ru

²Кафедра технологии лесохимических продуктов, химии древесины и биотехнологии. Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова. Институтский пер., 5. г. Санкт-Петербург, 194021. Россия. Тел.: +7 (812) 217-92-95. E-mail: public@spbftu.ru

³Кафедра химии и материаловедения. Военно-морской политехнический институт. ВУНЦ ВМФ Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова. Кадетский б-р, 1. г. Пушкин. г. Санкт-Петербург, 196604. Россия. Тел.: +7 (812) 465-27-00. E-mail: vunc-vmf-vmii@mil.ru

*Ведущий направление; *Поддерживающий переписку

Ключевые слова: живичный скипидар, сульфатный скипидар, моторное топливо, добавки в топливо, биотопливо.

Аннотация

Скипидар – смесь моноциклических терпенов и терпеноидов, (прежде всего, α - и β -пененов, а также 3-карена), получаемых из смол хвойных деревьев. Он является вторым после канифоли важнейшим лесохимическим продуктом. Несмотря на существующие направления квалифицированного использования скипидара, а также на наличие комплексных схем его глубокой переработки с получением продуктов с высокой добавленной стоимостью, поиск новых эффективных направлений применения скипидара является актуальной задачей лесохимической отрасли химической промышленности. В последние десятилетия проводятся исследования по замене топлив нефтяного происхождения альтернативными возобновляемыми. С целью расширения использования скипидара, а именно применения в качестве компонента моторного топлива, рассмотрены два основных вида скипидара – живичный (терпентинное масло) и сульфатный (побочный продукт сульфатного производства целлюлозы). Наличие сернистых соединений в концентрации много большей, чем 100 мг/кг в составе сульфатного скипидара делает невозможным его применение в качестве компонента моторного топлива. В связи с тем, что терпентинное масло обладает невысоким октановым числом и повышенной склонностью к окислению, были исследованы свойства его смесей с дизельным топливом. Помимо учета известных из литературы фактов о том, что добавление скипидара в целом ведет к повышению содержания несгоревших углеводородов, к снижению окислительной стабильности и увеличению сажеобразования, установлено, что 10%-ное добавление терпентинного масла не привело к заметному ухудшению свойств топливной смеси, например, температура помутнения составила -6 °С, предельная температура фильтруемости на холодном фильтре -9 °С, температура застывания -15 °С, а теплотворная способность 43.2 МДж/кг. Из отрицательного влияния скипидара на свойства смеси отметим незначительное, в пределах регламентируемых показателей, ухудшение смазывающей способности (320 мкм), а также снижение температуры вспышки в закрытом тигле (54.5 °С) и цетанового числа (49.8). Таким образом, применение скипидара в качестве компонента дизельного топлива имеет большой потенциал с точки зрения сокращения использования ископаемого невозобновляемого нефтяного сырья. Кроме того, перспективным направлением будет применение скипидара в составе биодизельного топлива.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Курзин А.В., Миксон Д.С., Гераскина С.А., Евдокимов А.Н. Использование скипидара как компонента моторного топлива. *Бутлеровские сообщения*. 2024. Т.80. №12. С.53-60. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-80-12-53

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Курзин А.В., Миксон Д.С., Гераскина С.А., Евдокимов А.Н. Использование скипидара как компонента моторного топлива. *Бутлеровские сообщения А*. 2024. Т.9. №4. Id.23. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-80-12-53/ROI-jbc-RA/24-9-4-23

Введение

Основным источником энергии для автомобильного транспорта остается топливо на основе ископаемого невозобновляемого сырья, несмотря на растущую долю электрического транспорта и топлива из возобновляемых источников: биоэтанол [1] и биодизель [2]. Одним из компонентов топлива для двигателей внутреннего сгорания является керосино-газойлевая фракция с интервалом температуры кипения от 160 до 250 °С. В близком интервале перегоняется один из продуктов переработки древесины – скипидар, представляющий собой смесь моно- и сесквитеренов. С начала 2000-х годов активно проводятся исследования его применения для возможной замены авиационного керосина, а также в качестве компонента в биодизельном топливе [3-6]. С другой стороны, масштабы выпуска скипидара и авиационного керосина несопоставимы. В России в 2019 г. на внутренний рынок было поставлено 10.9 млн т авиационного керосина, а одним из достижений лесопромышленного комплекса страны стал выпуск за первые полгода 2023 г. 2767 т скипидара по сравнению с 1350 т за аналогичный период в 2022 г. Скипидар – это смесь углеводородов, получаемая экстрактивных веществ древесины хвойных пород [7, 8]. В зависимости от способа получения может быть живичным, экстракционным или сульфатным. Живичный скипидар (терпентинное масло) получают вакуумной дистилляцией живицы с выходом около 20%. Экстракционный скипидар добывают экстракцией из пней, оставшихся после вырубки. Сульфатный скипидар – побочный продукт производства сульфатной целлюлозы (выход примерно 10 кг/т целлюлозы хвойных пород), его отличительной особенностью является заметное содержание сернистых соединений. В 2019 г. в мире было произведено 316 тыс. т скипидара, из них 125 тыс. т живичного, 185 тыс. т сульфатного и лишь 6 тыс. т экстракционного. Основные производители скипидара – Китай (50% мирового производства), Бразилия, Индонезия, США, Португалия, Испания, Вьетнам, Аргентина, Мексика и Индия. На рис. 1 представлены основные компоненты скипидара [7].

Традиционно скипидар применяли как растворитель в лакокрасочной промышленности, но он был практически вытеснен уайт-спиритом, получаемым из нефти. Другие области применения, в том числе, извлечение индивидуальных компонентов с целью производства синтетических душистых веществ, инициаторов полимеризации и других полупродуктов, имеет ограниченное значение. В настоящее время продолжают поиски новых областей его применения. Одним из таких направлений является использование его основных компонентов (α - и β -пиненов), а также гидрированного скипидара для производства возобновляемого топлива для дизельных и реактивных двигателей [9].

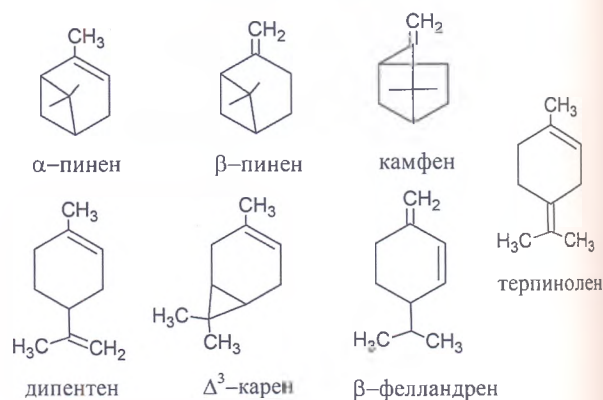


Рис. 1. Основные компоненты, входящие в состав скипидара

Цель работы – исследование возможности применения живичного и сульфатного скипидара в качестве компонента топлива для бензиновых и дизельных двигателей внутреннего сгорания.

Экспериментальная часть

Сырье и реагенты. В работе были использованы: живичный скипидар – терпентинное масло (ЗАО «Ярославская фармацевтическая фабрика»), сульфатный скипидар (АО «Группа «Илим», 2020 г.), дизельное топливо (приобретено на АЗС «Лукойл»). Ниже перечисленные реагенты применяли без дополнительной очистки и сушки: гептан (этал., АО «ЭКОС-1»); бромид калия (хч, АО «Ленреактив»); бромат калия (хч, АО «Ленреактив»).

Методы анализа и контроля. Исследование составов скипидара проводили на газовом хроматографе Agilent Technologies 6850С с квадрупольным масс-спектрометром Agilent Technologies 5973N, стандартная

кварцевая капиллярная колонка HP-5MS длиной 30 м и с внутренним диаметром 0.25 мм, толщина пленки неподвижной фазы (5% фенилметилсилоксан) – 0.25 мкм. Разделение потока 1:100. Температурный режим колонки от 60 до 200 °C с программированием температуры 5 °C/мин. Идентификацию проводили сравнением масс-спектров, полученных на хроматограмме пиков соединений, с библиотекой масс-спектров NIST 20 и литературными источниками.

Для получения ИК-спектров использовали прибор ИК-Фурье спектрофотометр фирмы Shimadzu FTIR-8400S с разрешением 400-7800 см⁻¹.

Следующие показатели определяли с помощью соответствующего оборудования:

1. Плотность при 15 °C – цифровой денсиметр Anton Paar 4500;
2. Содержание серы – энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализатор Oxford 3500;
3. Содержание меркаптанов – автоматический титратор Titrino Basic 794;
4. Бромное число – автоматический титратор Titrino Basic 794;
5. Давление насыщенных паров – анализатор давления насыщенных паров Grabner MiniVAP;
6. Октановое число определяли по исследовательскому методу с использованием одноцилиндровой установки для определения детонационной стойкости автомобильных бензинов по исследовательскому методу, модель Waukesha CFR F1;
7. Кинематическая вязкость – вискозиметр Ubbelode, термостат Tamson-2000;
8. Содержание полициклических углеводородов – жидкостной хроматограф Shimadzu LC-20;
9. Температура помутнения и температура застывания – аппарат для ручного определения температуры застывания (температуры текучести) и помутнения нефтепродуктов Scavini CAPP-404;
10. Предельная температура фильтруемости на холодном фильтре – автоматический аппарат для определения температуры фильтруемости на холодном фильтре ISL FPP 5GS;
11. Температура вспышки в закрытом тигле – автоматический аппарат для определения температуры вспышки в закрытом тигле ISL FP93 5G2;
12. Цетановое число – одноцилиндровая универсальная установка ИДТ-69;
13. Смазывающая способность – аппаратура для измерения смазывающей способности дизельного топлива с высокочастотным возвратно-поступательным механизмом (HFRR) PCS Instruments, программное обеспечение HFRP);
14. Фракционный состав при атмосферном давлении – автоматический аппарат для определения фракционного состава нефти и нефтепродуктов при атмосферном давлении PAC-Herzog OptiDist;
15. Для определения концентрации выбросов загрязняющих веществ (углеводороды, оксид и диоксид углерода, оксидов азота) в выхлопных газах использовался анализатор модели AVL DiGas 4000 с модулем измерения дымности DiSmoke 4000.

Результаты и их обсуждение

Как следует из литературных данных [3-6, 9] в качестве компонентов моторного топлива возможно использование скипидара и продуктов его химической модификации. Современные моторные топлива (бензины и дизельные топлива, в частности) представляют собой сложную смесь компонентов, позволяющих добиться стабильной и эффективной работы двигателя. По этой причине скипидар, даже очищенный, рассматривается только как возможная замена части топливной смеси.

Состав сульфатного скипидара-сырца отличается наличием соединений серы, таких как метантиол (метилмеркаптан), диметилсульфид, диметилдисульфид и другие. Массовая доля соединений, содержащих серу, в этом типе скипидара составляет до 1% и выше в пересчете на серу [7, 10]. Из-за высокого содержания сернистых соединений его нельзя напрямую использовать в качестве моторного топлива. Для расширения области применения сульфатного скипидара требуется снижение содержания сернистых соединений до уровня ниже 100 мг/кг (ppm) в пересчете на элементную серу. Для иных областей использования скипидара массовую долю необходимо сократить до 0.005%, или 50 мг/кг [11].

Содержание сернистых соединений в представленном образце сульфатного скипидара составило 0.0981% (981 мг/кг) в пересчете на элементарный серу, а в терпентинном масле 106 мг/кг. Титрование сульфатного скипидара 0.1N раствором нитрата серебра показало отсутствие меркаптанов. На ИК спектре отсутствует полоса поглощения 2550-2600 см⁻¹, характерная для связи S-H, что можно считать дополнительным доказательством отсутствия меркаптанов. В спектре наблюдается полоса в области 540 см⁻¹, характерная для дисульфидов. Полосы поглощения, характерные для S=O-связи обычно располагаются в областях 1030-1070 (сульфоксиды), 1140-1160

Полная исследовательская публикация ____ Курзин А.В., Миксон Д.С., Гераскина С.А., Евдокимов А.Н. и 1300-1350 см⁻¹ (сульфоны). В перечисленных областях имеются полосы 1060 и 1330 см⁻¹, что позволяет предположить присутствие сульфоксидов и сульфонов в образце. Для сравнения углеводородного состава терпентинного масла и образца сульфатного скипидара использован метод ГХ-МС в условиях маскирования сернистых соединений (табл. 1). Компонентный состав двух образцов оказался достаточно близок, что позволяет предположить возможность использования сульфатного скипидара после дополнительной очистки.

Табл. 1. Идентифицированные компоненты терпентинного масла и сульфатного скипидара (% масс.), по данным ГХ/МС

Компонент	Сульфатный скипидар (без учета сернистых соединений)	Терпентинное масло
<i>α</i> -пинен	56.95	57.06
3-карен	14.18	26.90
<i>β</i> -фелландрен	5.61	4.58
<i>β</i> -пинен	3.83	2.14
<i>α</i> -терпинеол	3.48	0.48
терпинеол-4	1.85	0.10
камфен	1.38	1.44
эндо-борнеол	1.36	0.00
<i>α</i> -терпинолен	1.16	0.30
лонгифолен	1.06	0.00
<i>n</i> -цимен	1.04	1.40
<i>α</i> -кадинен	0.96	0.00
<i>γ</i> -кадинен	0.84	0.00
<i>β</i> -мирцен	0.66	0.65
<i>α</i> -фенхол	0.52	0.08
копаборнеол	0.50	0.00
цемброл	0.44	0.00
камфора	0.36	0.00
изогермакрен D	0.35	0.00
сандаракопимариналь	0.32	0.00
<i>α</i> -копаен	0.28	0.00
лонгипинен	0.26	0.00
<i>n</i> -цимен-8-ол	0.26	0.26
<i>γ</i> -муролен	0.25	0.00
<i>β</i> -терпинеол	0.24	0.00
<i>β</i> -копаен	0.23	0.00
<i>транс</i> -вербенол	0.23	0.08
<i>транс</i> -пинокарвеол	0.22	0.00
<i>α</i> -фелландрен	0.19	0.38
<i>n</i> -цименен	0.17	1.11
борнилацетат	0.15	0.16
цембрен	0.14	0.00
<i>γ</i> -терпинен	0.14	0.00
метилтимол	0.11	0.00
<i>α</i> -терпинен	0.08	0.00
<i>α</i> -фарнезен	0.00	0.83
кар-3-ен-5-он	0.00	0.60
<i>α</i> -пинен оксид	0.00	0.34
<i>α</i> -терпенилацетат	0.00	0.14
2-карен-4-ол	0.00	0.10
<i>транс</i> -2-карен-4-ол	0.00	0.10

Для дальнейших исследований был использован только живичный скипидар. В табл. 2 приведены некоторые свойства терпентинного масла, определенные нами в рамках настоящего исследования, которые могут влияние на эксплуатационные характеристики топлива.

Как показывают данные табл. 2 терпентинное масло может быть использовано в качестве компонента бензинов, например, в качестве частичной замены прямогонных бензинов (нафты), имеющих октановые числа 61-66, определенные по исследовательскому методу.

Поскольку терпентинное масло обладает невысоким октановым числом дополнительных исследований его свойств как компонента для бензиновых топлив не проводили. Скипидар может быть компонентом не только бензиновых топлив, но дизельных, поскольку по своему составу и фракционному составу схож с керосином. Нами были проведены исследования топливных смесей на основе коммерческого топлива Евро 5, содержащих от 1 до 10 % об. терпентинного масла. Большее количество добавляемого терпентинного масла приведет к содержанию серы значительно выше допустимого значения 10 мг/кг. С другой стороны, одним из показателей, влияющих на длительность хранения топлива является бромное число, которое характеризует количество двойных связей в испытуемом материале. Большое количество двойных связей ведет к снижению окислительной стабильности и увеличению сажеобразования.

Были исследованы смеси дизельного топлива и терпентинного масла (от 1 до 10 % об.) на следующие показатели: содержание серы и цетановое число (рис. 2). Как можно видеть, эти показатели являются аддитивными величинами и прямо зависят от соотношения компонентов смеси.

Табл. 2. Некоторые свойства терпентинного масла

Показатель	Значение показателя
Плотность при 15 °С, г/см³	0.8735
Бромное число, г Br₂/100 г	143
Давление паров при 37.8 °С P _{abs} , кПа	1.8
Октановое число смешения* по исследовательскому методу	85.4

Примечание: * Расчет по результатам испытания образца, полученного смешением 10 % масс. испытуемого образца с толуолсодержащим контрольным топливом состава (74 % об. толуола и 26 % об. гептана), имеющему, согласно [12], октановое число по исследовательскому методу 93.4.

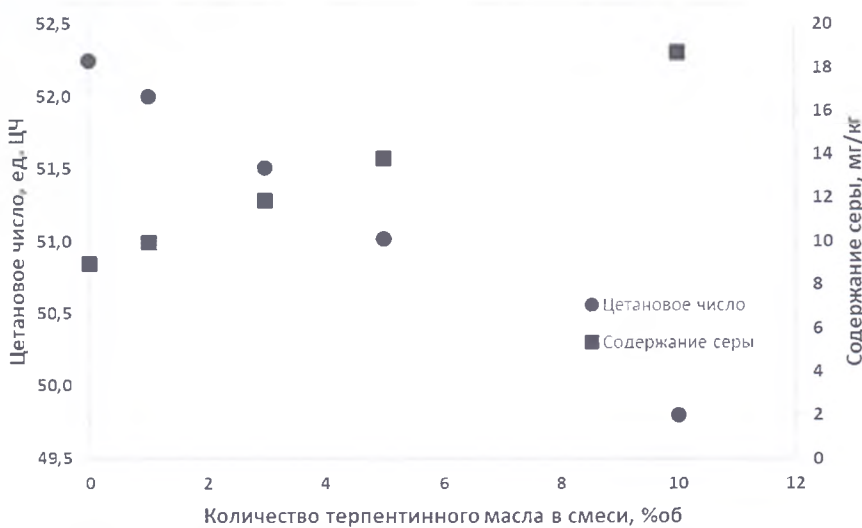


Рис. 2. Цетановое число и содержание серы в смесях терпентинного масла и дизельного топлива

Результаты сравнительного анализа образца коммерческого дизельного топлива и смеси этого топлива, содержащей 10 % об. терпентинного масла, приведены в табл. 3.

Стоит также отметить, что добавление терпентинного масла к дизельному топливу ведет к повышению содержания несгоревших углеводородов и оксидов азота в выхлопных газах, а также снижению дымности. Кислород в составе скипидара, вероятно, с одной стороны, обеспечивает более полное сгорание, что снижает уровень задымления, а с другой стороны, увеличивает степень вовлеченности в реакции окисления азота воздуха, что повышает концентрацию оксидов азота. Аналогичные выводы были сделаны в работе [14], где авторы смешивали кислородсодержащее топливо и сообщали об уменьшении выбросов дыма. В целом, как видно из табл. 3, заметного ухудшения свойств не произошло.

Свойства холодного течения важны для дизельного топлива, особенно биодизеля, поскольку молекулярная структура и свойства топлива влияют на подачу топлива из-за закупорки фильтров и гомогенизацию при низких температурах. Различные испытания могут выявить склонность некоторых видов топлива к образованию кристаллов при низких температурах. Небольшое количество кристаллов может не вызывать проблем, но их накопление может привести к возникновению

Полная исследовательская публикация ____ Курзин А.В., Миксон Д.С., Гераскина С.А., Евдокимов А.Н. закупорки фильтров. Температуры застывания, помутнения и закупорки холодного фильтра помогают определить температуру, при которой использование топлива может привести к эксплуатационным проблемам. Измеренные температуры помутнения, застывания (текучести) снижаются по мере увеличения содержания в топливе очищенного скипидара, т.е. его присутствие снижает тенденцию к образованию кристаллов. Следует учитывать, что исходное дизельное топливо не соответствовало спецификации EN 590:2022 [13] в части требований к дизельным топливам, эксплуатируемым в арктическом или суровом зимнем климате, поэтому и испытываемая смесь не предназначена для эксплуатации в подобных условиях.

Табл. 3. Сравнение свойств образцов топлива и его смеси с добавлением живичного скипидара

Показатель	Требования EN 590:2022 [13]	Контрольный образец	Смесь
Плотность при 15 °С, кг/м ³	815.0-845.0	837.4	839.9
Вязкость при 40 °С, мм ² /с		2.625	2.433
Содержание полициклических углеводородов, %	макс. 8.0	2.48	2.13
Температура помутнения, °С		-5	-6
Предельная температура фильтруемости на холодном фильтре*, °С		-7	-9
Температура застывания, °С		-12	-15
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	мин. 55.0	57.0	54.5
Цетановое число	мин. 51.0	52.2	49.8
Смазывающая способность, мкм	макс. 460	198	320
Теплотворная способность, МДж/кг		42.9	43.2
Дистилляция (фракционный состав) Температура, °С			
- начала кипения		161.2	156.3
- отгона 10 % об.		195.2	182.6
- отгона 50 %, об.		275.4	268.5
- отгона 90 % об.		335.9	334.7
- конца кипения		357.3	356.0

Примечание: * Максимальные значения различаются для сортов от А (+5 °С) до F (-20 °С) с шагом 5 °С.

Смазывающая способность является важным свойством для всех видов топлива, поскольку топливо с плохой смазывающей способностью может повредить целостность двигателя и увеличить затраты на его техническое обслуживание. В испытываемой смеси ухудшилось значение смазывающей способности (диаметр пятна износа), но и оно не превышает регламентируемых показателей, указанных в табл. 3 (чем больше пятно износа, тем хуже смазывающая способность, что сказывается на состоянии поверхности трущихся деталей работающего двигателя).

Температура вспышки – одно из самых важных свойств топлива с точки зрения безопасности. Для смеси значение температуры вспышки несколько ниже нормы, что указывает на то, что смеси дизельного топлива и очищенного скипидара недостаточно безопасны. В данном случае эту проблему можно решить либо снижением содержания скипидара, либо применением производных скипидара с более высокой температурой вспышки.

Цетановое число – одно из важнейших качественных показателей дизельного топлива, оно характеризует способность к воспламеняемости и самовоспламеняемости. От значения цетанового числа зависят показатели работы дизельного двигателя. Оптимальное значение – от 40 до 55, при значении меньше 40 увеличивается период задержки горения и давление в камере сгорания, что приводит к увеличению износа двигателя. Цетановое число смеси с очищенным скипидаром стало ниже нормы, однако следует понимать, что подобные значения характерны для топлив, предназначенных для эксплуатации в зимних и арктических условиях, с другой стороны, его можно увеличить с помощью цетанповышающих добавок.

Хотя в скипидаре присутствует некоторое количество кислородсодержащих соединений, теплотворная способность (теплота сгорания) смеси оказалась чуть выше, чем у исходного дизельного топлива.

Англоязычная версия данной статьи опубликована в электронном журнале *Butlerov Communications A* [15]. Русскоязычная версия данной статьи опубликована также в электронном журнале *Бутлеровские сообщения A* [16].

Итоги и выводы

1. Терпентинное масло обладает соответствующими свойствами и характеристиками, позволяющими использовать его в качестве компонента дизельного топлива.
2. Установлено, что по большинству показателей и характеристик 10%-ное добавление терпентинного масла к дизельному топливу не ухудшило качество смеси.
3. Неочищенный сульфатный скипидар из-за присутствия в нем сернистых соединений может быть использован в качестве добавки в моторное топливо только после снижения концентрации общей серы в нем (до содержания не более 100 ppm).

Литература

- [1] Донцов А.Г. Разработка концепта биоэтанольного производства на платформе технологии биопалпинга. *Бутлеровские сообщения*. **2021**. Т.68. №12. С.95-102. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/21-68-12-95
- [2] Зибарев Н.В., Политаева Н.А., Молодкина Л.М. Получение биодизеля из микроводорослей путём переэтерификации биомассы. *Бутлеровские сообщения*. **2023**. Т.73. №1. С.101-108. DOI: 10.37952/ROI-jbc01/23-73-1-101
- [3] M.H. Alma, T. Salan. A review on novel bio-fuel from turpentine oil. *PROR*. **2017**. Vol.18. No.1. P.1-12.
- [4] R. Mewalal, D.K. Rai, D. Kainer, F. Chen, C. Kulheim, G.F. Peter, G.A. Tuscan. Plant-derived terpenes: a feedstock for specialty biofuels. *Trends Biotechnol.* **2017**. Vol.35. No.3. P.227-240. DOI: 10.1016/j.tibtech.2016.08.003
- [5] A.S. Yadav, P. Singh, R. Sahu, P. Thangamuthu, R.S. Narain, Y.A. Rao, A. Balu, B.P. Panda, A. Sharma. Potential utilization of turpentine oil as an alternative fuel. *Mater. Today: Proc.* **2022**. Vol.63. P.A1-A8. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.06.319
- [6] A. Sharma, Y.P. Rao, P. Tiwari, N.K. Dhapekar, J.K. Sohal, N. Tiwari, R. Kumar. Recent advancement in biofuels production and its environmental impacts. In: Goyal R., Patel S., Sharma A. *Renewable energy: accelerating the energy transition. Energy systems in electrical engineering. Singapore: Springer*. **2024**. P.167-177. DOI: 10.1007/978-981-99-6116-0_9
- [7] M. Gscheidmeier, H. Fleig. Turpentines. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. **2012**. Vol.37. P.537-550. DOI: 10.1002/14356007.a27_267
- [8] Чемоданов А.М., Царев Е.М., Анисимов С.Е. Комплексная переработка древесины и древесных материалов. Справочные материалы. *Москва; Вологда: Инфра-Инженерия*. **2022**. 352с.
- [9] N.I. Tracy, D. Chen, D.W. Crunkleton, G.L. Price. Hydrogenated monoterpenes as diesel fuel additives. *Fuel*. **2009**. Vol.88. No.11. P.2238-2240. DOI: 10.1016/j.fuel.2009.02.002
- [10] Головин А.И., Трофимов А.Н., Узлов Г.А., Жукова И.П., Киприанов А.И., Прохорчук Т.И., Ковалев В.Е. Лесохимические продукты сульфатцеллюлозного производства. *Москва: Лесная пром-сть*. **1988**. 288с.
- [11] Радбиль А.Б. Направления квалифицированного использования скипидара. *Химия растительного сырья*. **2005**. №1. С.5-11.
- [12] Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа. *Уфа: Гилем*. **2002**. 672с.
- [13] EN 590:2022. Automotive fuels. Diesel. Requirements and test methods. *Brussels: CEN-CENELEC*. **2022**. 22p.
- [14] L.H. Duong, I.K. Reksowardojo, T.H. Soerawidjaja, D.Ng. Pham, O. Fujita. The sooting tendency of aviation biofuels and jet range paraffins: effects of adding aromatics, carbon chain length of normal paraffins, and fraction of branched paraffins. *Combust. Sci. Technol.* **2018**. Vol.190. No.10. P.1710-1721. DOI: 10.1080/00102202.2018.1468323
- [15] Alexander V. Kurzin, Darya S. Mikson, Sofya A. Geraskina, Andrey N. Evdokimov. Application of turpentine as a component of motor fuel. *Butlerov Communications A*. **2024**. Vol.9. No.4. Id.23. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-80-12-53/ROI-jbc-A/24-9-4-23
- [16] Курзин А.В., Миксон Д.С., Гераскина С.А., Евдокимов А.Н. Использование скипидара как компонента моторного топлива. *Бутлеровские сообщения А*. **2024**. Т.9. №4. Id.23. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-80-12-53/ROI-jbc-RA/24-9-4-23

The English version of the article have been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications A
Advances in Organic Chemistry & Technologies

The Reference Object Identifier – ROI: jbc-A/24-9-4-23

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-80-12-53/ROI-jbc-A/24-9-4-23

Application of turpentine as a component of motor fuel

Aleksandr V. Kurzin,^{1*} Darya S. Mikson,² Sofya A. Geraskina,³ Andrey N. Evdokimov¹

¹ Department of Organic Chemistry. Department of Materials Science and Mechanical Engineering Technology. Higher School of Technology and Energetics. Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. Ivana Chernykh St., 4. Saint Petersburg, 198095. Russia.

Phone: +7 (812) 786-52-69. E-mail: zakora@mail.ru

² Department of Technology of Forest Chemical Products, Wood Chemistry and Biotechnology. Saint Petersburg State Forest Technical University Named after S.M. Kirov. Institutsky Bystreet, 5. Saint Petersburg, 194021. Russia. Phone: +7 (812) 217-92-95. E-mail: public@spbfu.ru

³ Department of Chemistry and Materials Science. Naval Polytechnic Institute. Naval Educational and Scientific Center. Naval Academy Named after Admiral of the Fleet of the Soviet Union N.G. Kuznetsov. Kadetsky Ave., 1. Pushkin. Saint Petersburg, 196604. Russia.

Phone: +7 (812) 465-27-00. E-mail: vunc-vmf-vmii@mil.ru

*Supervising author; *Corresponding author

Keywords: gum turpentine, sulphate turpentine, motor fuel, fuel additives, biofuel.

Abstract

Turpentine is a mixture of monocyclic terpenes and terpenoids (primarily α - and β -penes and 3-carene) obtained from the resins of coniferous trees. It is the second most important forest chemical product after rosin. Despite the existing directions of qualified use of turpentine, as well as the availability of complex schemes of its deep processing with obtaining products with high added value, the search for new effective directions of turpentine application is an urgent task of the wood-chemical branch of the chemical industry. In the last decades researches on replacement of fuels of petroleum origin by alternative renewable fuels have been carried out. In order to expand the use of turpentine, namely its application as a component of motor fuel, two main types of turpentine are considered – oleoresin (turpentine oil) and sulphate (by-product of sulphate production of cellulose). Presence of sulphur compounds in concentration much higher than 100 mg/kg in the composition of sulphate turpentine makes it impossible to use it as a component of motor fuel. Due to the fact that turpentine oil has a low octane number and increased tendency to oxidation, the properties of its mixtures with diesel fuel were studied. In addition to taking into account the facts known from the literature that the addition of turpentine generally leads to an increase in the content of unburned hydrocarbons, a decrease in oxidative stability and an increase in soot formation, it was found that the 10% addition of turpentine oil did not lead to a noticeable deterioration in the properties of the fuel mixture, for example, the turbidity temperature was -6 °C, the maximum temperature of filterability on a cold filter -9 °C, the pour point is -15 °C, and the calorific value is 43.2 MJ/kg. Among the negative effects of turpentine on the properties of the mixture, we note a slight deterioration in lubricity (320 microns) within the regulated parameters, as well as a decrease in the flash point in a closed crucible (54.5 °C) and the cetane number (49.8). Thus, the use of turpentine as a component of diesel fuel has great potential in terms of reducing the use of fossil non-renewable petroleum raw materials. In addition, the use of turpentine in the composition of biodiesel will be a promising direction.