

Научная статья
УДК 62-611, 535.6
DOI 10.46845/1997-3071-2025-78-115-127

**Исследование возможности определения загрязнения дизельных топлив
оптическими методами**

Ирина Павловна Корнева¹✉, Сергей Николаевич Виноградов²

^{1,2}Калининградский государственный технический университет, Калининград,
Россия

¹ipk05@mail.ru✉, <http://orcid.org/0000-0002-6523-724X>

²sergey.vinogradov.04@mail.ru

Аннотация. Основой эффективной безаварийной эксплуатации судовых двигательных установок является исследование процессов, происходящих с их составными частями. В этой связи немаловажным аспектом является бесперебойная работа дизелей, которая зависит от состояния дизельного топлива, используемого на судах в настоящее время. Необходимость контроля состояния топлива является приоритетной задачей, стоящей перед механиками. Совершенствование существующих и разработка новых методов контроля физико-химических характеристик дизельных топлив и анализ факторов, влияющих на процессы в двигателях, остаются актуальными по сей день. В данной работе предпринята попытка применить совокупность методов спектрофотометрии, рефрактометрии и микроскопии для исследования характеристик дизельных топлив. С помощью спектрофотометра СФ-2000 и приставки диффузного и зеркального отражения были получены спектры коэффициентов пропускания всех образцов дизельных топлив в видимой части спектра (400–800 нм). Определение цветовых координат и показателей цветовых различий по стандартной и нестандартной методикам позволило провести восстановление цвета поверхностей топлив. С помощью такой методики можно выявить загрязнения и своевременно принять меры к устранению причин. В работе показано, что нестандартная методика (с помощью смартфона и программного обеспечения) получения цветовых координат для контроля загрязнений целесообразна в условиях мореплавания. Рефрактометрический метод позволил определить значения показателя преломления и средней дисперсии топлив, которые изменяются в процессе загрязнения. Дополнительным методом исследования включений, попавших в топливо, является микроскопия. Этот метод особенно эффективен для темных сортов дизельного топлива.

Ключевые слова: дизельное топливо, оптические методы, спектрофотометрия, рефрактометрия, микроскопия, цветовые координаты.

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Федерального агентства по рыболовству, № 1024032500238-0-2.7.3;2.5.4;2.11.2.

Для цитирования: Корнева И. П., Виноградов С. Н. Исследование возможности определения загрязнения дизельных топлив оптическими методами // Известия КГТУ. 2025. № 78. С. 115–127. DOI 10.46845/1997-3071-2025-78-115-127.

Original article

Study of the possibility of determining contamination of diesel fuels using optical methods

Irina P. Korneva¹✉, Sergey N. Vinogradov²

^{1,2} Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹ipk05@mail.ru✉, <http://orcid.org/0000-0002-6523-724X>

²sergey.vinogradov.04@mail.ru

Abstract. The basis for the efficient and trouble-free operation of marine propulsion systems is the study of processes occurring with their components. In this regard, an important aspect is the uninterrupted operation of diesel engines, which depends on the state of diesel fuel used on ships at present. The need to control the state of fuel is a priority task facing mechanics. Improving existing and developing new methods for monitoring the physical and chemical characteristics of diesel fuels, and analyzing the factors affecting the processes in engines remain relevant to this day. In this paper, an attempt has been made to apply a combination of spectrophotometry, refractometry and microscopy methods to study the characteristics of diesel fuels. Using an SF-2000 spectrophotometer and a diffuse and mirror reflection attachment, transmission coefficient spectra of all diesel fuel samples in the visible part of the spectrum (400–800 nm) have been obtained. Determination of color coordinates and color difference indices using standard and non-standard methods makes it possible to restore the color of the fuel surfaces. This method allows to identify contamination and promptly take measures to eliminate the causes. The work shows that a non-standard method (using a smartphone and software) for obtaining color coordinates for contamination control is appropriate in maritime conditions. The refractometric method makes it possible to determine the values of the refractive index and average dispersion of fuels, which change during contamination. An additional method for studying inclusions in fuel is microscopy. This method is especially effective for dark diesel fuels.

Keywords: diesel fuel, optical methods, spectrophotometry, refractometry, microscopy, color coordinates.

Funding: the research was carried out with the financial support of the Federal Agency for Fisheries of the Russian Federation (project number № 1024032500238-0-2.7.3;2.5.4;2.11.2.).

For citation: Korneva I. P., Vinogradov S. N. Study of the possibility of determining contamination of diesel fuels using optical methods. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2025; (78): 115–127. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2025-78-115-127.

ВВЕДЕНИЕ

Безаварийная работа судовых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) является одной из приоритетных задач на морском флоте [1, 2]. Судовые дизельные двигатели эксплуатируются в сложных условиях, а потому требуется регулярный сервис, включающий комплекс различных диагностических мероприятий.

В качестве дизельного топлива на судах используются бензиновые, лигроиновые, газойлевые, соляровые фракции нефти и мазуты [3].

Дизельное топливо является приоритетным на морских судах вследствие доступности, чистоты, минимальных затрат. Благодаря хорошей смазывающей способности оно способствует предотвращению трения между деталями, что обеспечивает надежную работу в течение длительного времени [4].

Качество топлива является предметом повышенного интереса, так как оно обуславливает стабильность рабочего процесса и снижение эффективного расхода топлива [5]. Быстроходные суда используют более качественный дизель. Изменение показателей судовых дизельных топлив оказывает влияние на эксплуатационные характеристики топливной системы и работу судна в целом.

Снижение качества топлива обусловлено разными причинами, среди которых следует отметить его загрязнение. Длительное или ненадлежащее хранение приводит к появлению микроорганизмов, если в резервуары для хранения топлива попадает вода [6]. Такое топливо впоследствии загрязняет все оборудование.

Наличие воды в топливе, которая может находиться в нем как взвесь либо эмульсия, воздействует на процесс сжигания топлива. Особенно неблагоприятным фактором для топлива является морская вода.

К другим внешним факторам загрязнения дизельного топлива относятся твердые частицы органического и неорганического происхождения, вызывающие разрушительный износ топливной аппаратуры [7]. Загрязнения в нефтепродуктах имеют различную структуру и состав. Содержание механических примесей регулируется техническим стандартом [8].

Физико-химические свойства нефтепродуктов можно контролировать с помощью оптических методов [9–14], к которым относятся спектроскопия, флуоресценция, фотометрия и др. Такие методы, обеспечивающие высокую чувствительность и надежность, позволяют быстро и точно определить состав, качество, наличие примесей и степень очистки продуктов без разрушения образца.

В работе [12] представлены данные анализа загрязнения отработанного моторного масла дизельными фракциями посредством методов УФ-видимой и ближней ИК-спектроскопии. Метод определения содержания нефтяных углеводородов в почве естественной влажности посредством инфракрасной спектроскопии описан в работе [13]. В данном исследовании показано значительное улучшение точности анализа концентраций нефти в пробах почвы предлагаемым методом.

В другой работе проанализированы спектры флуоресценции различных объектов, в том числе дизельного топлива [14]. Обозначены перспективы использования лазерного флуоресцентного метода с целью мониторинга разливов дизельного топлива по поверхности земли.

Состояние оптических свойств поверхностей позволяет оценивать состояние самих материалов различной природы. В статье [9] предлагается метод отражательной спектроскопии для мониторинга контроля качества судовых моторных масел. Этот метод с успехом может применяться и для судовых дизельных топлив. Исследование цветовых координат и спектров отражения топлив позволит выявить причины загрязнения и незамедлительно принять меры по устранению источников засора.

Цвет является неотъемлемым свойством любой среды, вследствие чего его изменение – условный знак к дальнейшему действию по устранению причины. Для определения цветовых координат используются цветовые пространства.

Цветовое пространство – модель представления цвета с применением цветных координат. Цветовые координаты – это числовые значения, которые описывают цвет в трехмерном пространстве, например, через системы LAB или XYZ. Эти координаты точно определяют цвет любой точки цветовой модели, позволяя однозначно характеризовать и сравнивать цвета.

Самый широкий охват цветового видимого спектра дает система LAB, определяемая яркостью L (от *англ.* lightness) от 0 до 100, а также спектрами A – от зеленого до пурпурного в пределах 128–127 и B – от голубого до желтого в пределах 128–127. Также немаловажно, что изменение значений координат нелинейно, а описывает изменение цвета по логике, близкой к восприятию цвета человеком [15–16]. Именно система LAB является предпочтительным оптическим методом контроля качества нефтепродуктов.

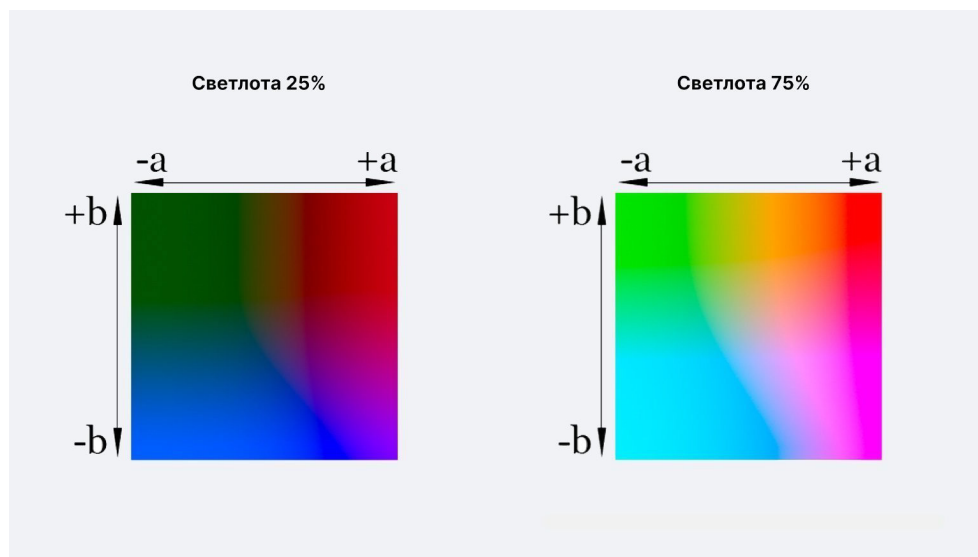


Рис. 1. Представление цветового поля LAB [16]

Fig. 1. LAB color field representation [16]

Задачами данного исследования являлось применение оптических методов исследования различных показателей дизельных топлив и обнаружение их изменений вследствие загрязнения. В данном эксперименте дизельное топливо рассматривается как новый объект, к которому ранее не применялась методика анализа на основе цветовых координат.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В работе использовался спектрофотометр СФ-2000 с приставкой зеркального и диффузного отражения СФО-2000. Угол между нормалью к поверхности

образца и направлением освещения составлял 8° , а между нормалью к поверхности образца и направлением отражения – 45° .

Показатели преломления и средняя дисперсия измерялись с помощью лабораторного рефрактометра ИРФ-Компакт. Для исследования загрязнения образцов применялись цифровой микроскоп ELEKLIV и микроскоп ЛОМО МИКМЕД-1.

В работе использовались образцы дизельного топлива ЕВРО-5 (сорта С, F), IFO-180, IFO-380, топочный мазут М-100, Экто Diesel (сорт С) и судовое маловязкое топливо (СМТ).

Для исследования спектрофотометрическим методом образцы топлив помещались по одной капле на подложку из карбоната кальция диаметром 10 мм, толщина которой составляла 3 мм.

Спектрофотометр регистрировал спектры коэффициентов диффузного отражения в диапазоне длин волн видимого света от 400 до 800 нм. Обработка спектров и вычисление цветовых координат осуществлялись с помощью программы SFScan. Восстановление цвета проводилось с использованием онлайн-ресурса Nixsensor [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Значения показателей преломления n_D и средней дисперсии n_F-n_C образцов дизельных топлив, полученные с помощью рефрактометра, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели преломления n_D и средняя дисперсия n_F-n_C образцов
Table 1. Refractive index n_D and average dispersion n_F-n_C of the samples

№	Дизельное топливо	n_D	n_F-n_C
1	ЕВРО-5, сорт С	1,4605	0,009286500
2	ЕВРО-5, сорт F	1,4575	0,008479255
3	IFO-180	1,5250	0,014937720
4	IFO-380	1,5350	0,016171920
5	Топочный мазут М-100	1,6600	0,023206000
6	Экто Diesel, сорт С	1,4590	0,009259500
7	СМТ	1,4710	0,009480500

Как видно из таблицы, наибольший показатель преломления и средняя дисперсия у самого темного топлива – топочного мазута М-100. Определение показателя преломления у данного образца было затруднено тем, что граница раздела двух полей зрения в рефрактометре размыта вследствие того, что данное топливо является многокомпонентной системой. Такая же картина наблюдается и у тяжелых топлив IFO-180 и IFO-380, показатели преломления которых 1,525 и 1,535 соответственно. Наименьший показатель преломления и средняя дисперсия у самого светлого топлива ЕВРО-5, сорт F.

Спектры коэффициентов пропускания всех образцов в видимом диапазоне, полученные с помощью спектрофотометра, представлены на рис. 2. Как видно из полученных зависимостей, коэффициент пропускания у светлых топлив ЕВРО-5

(сорта С, F), Экто Diesel (сорт С) и СМТ увеличивается с ростом длины волны, наибольшее значение (86 %) имеет Экто Diesel на длине волны 800 нм. У темных топлив коэффициент пропускания уменьшается в диапазоне от 400 до 650 нм, а затем возрастает с ростом длины волны.

Далее по спектрам вычислялись цветовые координаты, а по ним с помощью онлайн-инструмента Nixsensor восстанавливался цвет образцов. Данная методика является стандартной лабораторной методикой.

Другой инструмент исследования цветовых характеристик – нестандартная методика, описанная в работе [18], в которой предлагается метод с использованием смартфона и программного обеспечения для обработки изображений. Авторы измеряют цветовые координаты загрязненной поверхности и проводят количественную оценку. Используется схема, при которой расположение объектива фотокамеры и источника света не является общепринятым и составляет $45^\circ/45^\circ$.

Авторы попытались применить этот метод к исследованию поверхностей дизельных топлив и сравнить его со стандартным методом спектрофотометрии. В нашей работе использовался смартфон Realme 8i, оснащенный фронтальной камерой с разрешением 16 Мп и основной камерой высокого разрешения 50 Мп. Программным приложением для обработки изображения и получения цветовых координат являлось приложение Color Grab [19].

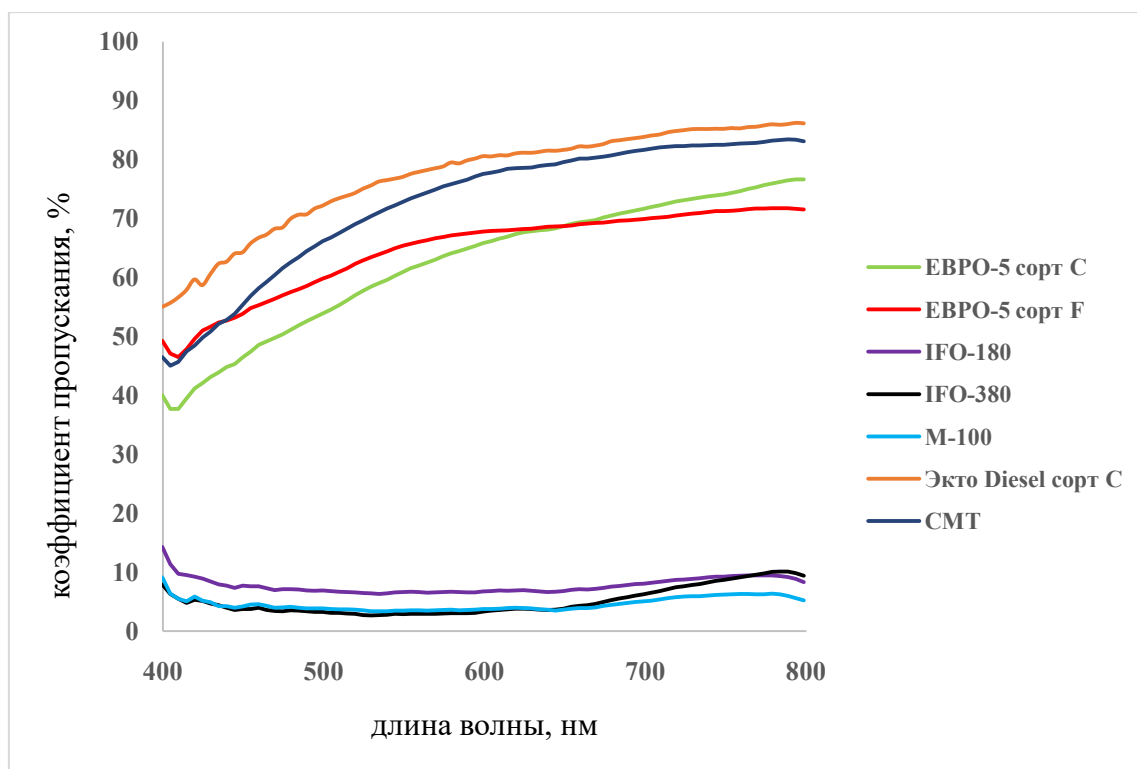


Рис. 2. Зависимость коэффициента пропускания от длины волны

Fig. 2. Transmittance as a function of wavelength

Результаты исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2. Значения цветовых координат и показателей цветовых различий дизельных топлив

Table 2. Values of color coordinates and color differences indicators of diesel fuels

Образец	Цветовые координаты (нестандартная методика) L, a, b	Цветовые координаты (стандартная методика) L*, a*, b*	Показатель цветовых различий ΔE
Евро, сорт С	69,10 –2,40 15,90	83,34 4,57 14,33	15,93
Евро, сорт F	71,30 –2,10 9,60	85,01 2,08 9,89	14,37
IFO-180	18,50 8,50 12,70	31,03 1,32 –3,19	21,47
IFO-380	12,60 11,40 13,50	20,64 4,68 –3,81	20,24
Топочный мазут М-100	1,10 0,0 0,0	22,36 1,75 –3,62	21,63
Эктодизель, сорт С	67,60 –2,20 15,40	90,94 2,21 9,75	24,40
Судовое маловязкое топливо	72,30 –3,00 16,60	89,17 3,38 14,37	18,17

Показатель цветовых различий ΔE для цветовых координат, полученных с помощью смартфона и спектрофотометра, рассчитывался по формуле из работы [15]:

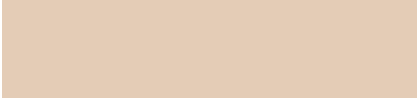
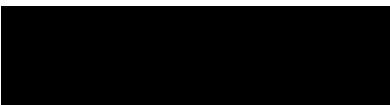
$$\Delta E = \sqrt{(L - L^*)^2 + (a - a^*)^2 + (b - b^*)^2},$$

где L , a , b – цветовые координаты, определенные по нестандартной методике (с помощью смартфона); L^* , a^* , b^* – цветовые координаты, определенные по стандартной методике (с помощью спектрофотометра).

Как видно из табл. 2, показатель цветовых различий изменяется в пределах от 14,37 до 24,4 усл. ед. со средним значением 19,45 усл. ед.

В табл. 3 представлены восстановленные по цветовым координатам изображения поверхностей дизельных топлив, полученные по стандартной и нестандартной методикам.

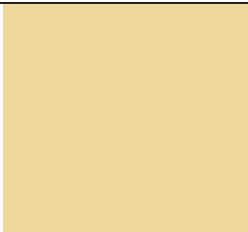
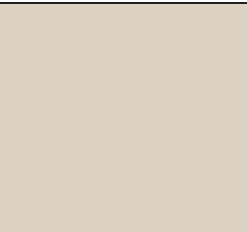
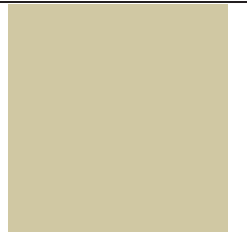
Таблица 3. Восстановление цвета поверхностей дизельных топлив
Table 3. Restoration of the color of diesel fuel surfaces

Образец	Восстановленный цвет по спектру	Восстановленный цвет по приложению Color Grab
Евро, сорт С		
Евро, сорт F		
IFO-180		
IFO-380		
Топочный мазут		
Эктодизель, сорт С		
Судовое маловязкое топливо		

Анализ экспериментальных данных позволил сделать вывод, что использование обеих методик возможно для количественной оценки загрязняющих факторов по значению показателя цветовых различий ΔE между цветами чистой и загрязненной поверхностей.

Для одного из образцов представленных топлив – судового маловязкого топлива – было проведено исследование поверхности с помощью нестандартной методики до и после попадания в топливо воды и при биологическом загрязнении. Результаты исследования представлены в табл. 4.

Таблица 4. Значения цветовых координат и показателей цветовых различий образца чистого топлива до и после загрязнения
Table 4. Values of color coordinates and color difference indices of a clean fuel sample before and after contamination

Образец	Цветовые координаты	Цветовые координаты при попадании воды	Цветовые координаты при биологическом загрязнении
Судовое маловязкое топливо	89,17 3,38 14,37	84,68 2,04 8,34	80,62 -1,76 19,51
	$\Delta E = 0$	$\Delta E = 7,67$	$\Delta E = 11,22$
			

Микроскопические исследования использовались для более детального рассмотрения биологических загрязнений судового маловязкого топлива. Использование бинокулярного светового микроскопа позволило более детально выявить характер загрязнений. Микроскопирование объектов, попадающих в поле зрения, разрешает отличить органические частицы от неорганических, определить их форму, размеры и структуру. Цифровой микроскоп дает возможность зафиксировать изображение для дальнейшей обработки с целью идентификации исследуемого объекта.

Такой подход оправдан и при изучении темных дизельных топлив, так как определить наличие и характер загрязнений невооруженным глазом не представляется возможным. В этом случае микроскопия будет дополнительным методом исследования, так как рефрактометрический метод в силу повышенной вязкости и непрозрачности тяжелых топлив имеет ограничения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследованы образцы дизельного топлива спектрофотометрическими, рефрактометрическими и микроскопическими методами. Получены спектры коэффициентов пропускания и значения цветовых координат.

Показана возможность применения нестандартной методики (смартфон – программное обеспечение) с целью определения цветовых координат и показателя цветовых различий ΔE для количественной оценки загрязняющих факторов между цветами чистой и загрязненной поверхностей. Проведено сравнение стандартной и нестандартной методик определения цветовых координат.

Показано, что в условиях мореплавания, когда нет возможности использовать спектрофотометр, применение нестандартной методики оправдано для выявления наличия загрязнения дизельного топлива.

Дополнительными методами исследования характеристик дизельного топлива и выявления наличия в нем загрязнений являются рефрактометрия и микроскопия. Показатель преломления изменяется в случае попадания в топливо других веществ. Характер и структуру загрязнений помогает определить метод микроскопии, однако рефрактометрические методы также имеют ограничения для темных топлив вследствие повышенной вязкости и непрозрачности.

Список источников

1. Qingguo, Shi. Prioritization of key practices for marine diesel engine maintenance activities using 2-tuple linguistic term set and DEMATEL / Qingguo Shi, Yihuai Hu, Fei Gao // *Ocean Engineering*. – 2023. – V. 286. – Part 2. – P. 115644.
2. Возницкий, И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. В 2 т. Т. 2 / И. В. Возницкий, А. С. Пунда. – М.: Моркнига, 2010. – 382 с. – ISBN 978-5-030033-89-1.
3. Рогозин, Н. А. Словарь по топливам, маслам, смазкам, присадкам и специальным жидкостям / Н. А. Рогозин, К. К. Папок. – М.: Химия, 1975. – 392 с.
4. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория ДОЗ рабочих процессов / В. Н. Луканин, К. А. Морозов, А. С. Хачиян [и др.]. – М.: Высшая школа, 1995. – 368 с. – ISBN 5-06-003298-1.
5. Демидова, Н. П. Основные показатели судового топлива и их основные эксплуатационные свойства / Н. П. Демидова, А. А. Марченко, О. А. Онищенко // *Вестник Камчатского государственного технического университета*. – 2015. – № 32. – С. 6–11.
6. Мамаева, Г. Г. Возрастание микробиологической активности в процессе биodeградации дизельного топлива: лабораторные опыты (Польша) / Г. Г. Мамаева // *Экологическая безопасность в АПК. Реферативный журнал*. – 2007. – № 4. – С. 915.
7. Возницкий, И. В. Практика использования морских топлив на судах / И. В. Возницкий. – Санкт-Петербург: ГМА им. Макарова, 2005. – 124 с. – ISBN 594218009X.
8. Стандарты качества судовых топлив и применение присадок в судоходной отрасли. – Текст: электронный // *Топливный регион: сайт*. – URL: <https://www.topreg.ru/stati-i-obzori/standarty-kachestva-sudovykh-topliv-i-primenenie-prisadok-v-sudokhodnoj-otrasli> (дата обращения: 17.04.2025).
9. Синявский, Н. Я. Спектры отражения видимого диапазона и колориметрия судовых моторных масел / Н. Я. Синявский, И. П. Корнева, Н. А. Кострикова // *Морские интеллектуальные технологии*. – 2024. – № 3–1 (65). – С. 131–137.
10. Рыбаков, А. А. Спектрофотометрия как метод подбора кислотных составов для интенсификации добычи / А. А. Рыбаков, В. Д. Зимин, Н. Н. Садыков // *Нефтяная провинция*. – 2020. – № 2 (22). – С. 95–105.
11. Identifying and modelling changes in chemical properties of engine oils by use of infrared spectroscopy / A. Wolak, J. Molenda, G. Zajac, P. Janocha // *Measurement*. – 2021. – V. 186. – P. 110–141.

12. Application assessment of UV–vis and NIR spectroscopy for the quantification of fuel dilution problems on used engine oils / V. Macian, B. Tormos, A. Garcia-Barbera, A. Balaguer // *Fuel*. – 2023. – V. 333. – Part 1. – P. 126350.
13. Василенко, П. А. Определение содержания нефтепродуктов в почве с естественной влажностью ИК-спектрометрическим методом / П. А. Василенко, С. Г. Корниенко // *Журнал аналитической химии*. – 2022. – Т. 77. – № 5. – С. 433–437.
14. Белов, М. Л. Выбор диапазонов регистрации лазерно-индуцированного флуоресцентного излучения для задачи обнаружения разливов дизельного топлива / М. Л. Белов, М. Б. Нгуен // *Контенант*. – 2022. – Т. 21. – № 2. – С. 52–67.
15. Цветовые координаты. – Текст: электронный // Fandom: сайт. – URL: [https://science.fandom.com/ru/wiki/Цветовые координаты](https://science.fandom.com/ru/wiki/Цветовые_координаты) (дата обращения: 17.04.2025).
16. Цветовые пространства: большой разбор. – Текст: электронный // Skillbox Media: сайт. – URL: <https://skillbox.ru/media/design/rgb-cmyk-lab/> (дата обращения: 17.04.2025).
17. Nixsensor. – Текст: электронный // Nixsensor: сайт. – URL: <https://www.nixsensor.com/free-colorconverter/?srsltid=AfmBOorFkY9JWz1WPJHPCYxatrSkatZVCsdstzMTjPDDcMKZGkl ygq7j> (дата обращения: 17.04.2025).
18. Литунов, С. Н. Оперативный спектрофотометрический метод количественной оценки загрязняющих факторов / С. Н. Литунов, И. А. Сысуев, А. С. Хлыбов // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2022. – № 4. – С. 206–216.
19. Color Grab. – Текст: электронный // Color Grab: сайт. – URL: <https://color-grab.ru.uptodown.com/android> (дата обращения: 17.04.2025).

References

1. Qingguo Shi, Yihuai Hu, Fei Gao. Prioritization of key practices for marine diesel engine maintenance activities using 2-tuple linguistic term set and DEMATEL. *Ocean Engineering*. 2023. V. 286. Part 2. P. 115644.
2. Voznitskiy I. V., Punda A. S. *Sudovye dvigateli vnutrennego sgoraniya* [Marine internal combustion engines]. Moscow, Morkniga Publ., 2010, vol. 2, 382 p.
3. Rogozin N. A., Papok K. K. *Slovar' po toplivam, maslam, smazkam, prisadkam i spetsial'nym zhidkostyam* [Dictionary of fuels, oils, lubricants, additives and special liquids]. Moscow, Khimiya Publ., 1975, 392 p.
4. Lukanin V. N., Morozov K. A., Hachiyani A. S. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya. V 3 kn. Kn. 1. Teoriya DOZ rabochikh protsessov* [Internal combustion engines. In 3 books. Book 1. Theory of DOZ working processes]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1995, 368 p.
5. Demidova N. P., Marchenko A. A., Onishchenko O. A. Osnovnye pokazateli sudovogo topliva i ikh osnovnye ekspluatatsionnye svoystva [Main indicators of marine fuel and their main operational properties]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, no. 32, pp. 6–11.
6. Mamaeva G. G. Vozrastanie mikrobiologicheskoy aktivnosti v protsesse biodegradatsii dizel'nogo topliva: laboratornye opyty (Pol'sha) [Increase of microbiological

activity during biodegradation of diesel fuel: laboratory experiments (Poland)] *Ekologicheskaya bezopasnost' v APK. Referativnyy zhurnal*, 2007, no. 4, p. 915.

7. Voznitskiy I. V. *Praktika ispol'zovaniya morskikh topliv na sudakh* [Practice of using marine fuels on ships]. Saint-Petersburg, GMA im. Makarova Publ., 2005, 124 p.

8. Standarty kachestva sudovykh topliv i primeneniye prisadok v sudokhodnoy otrasli [Marine Fuel Quality Standards and Additives Application in the Shipping Industry]. Available at: <https://www.topreg.ru/stati-i-obzori/standarty-kachestva-sudovykh-topliv-i-primeneniye-prisadok-v-sudokhodnoy-otrasli> (accessed 17 April 2025).

9. Sinyavskiy N. Ya., Korneva I. P., Kostrikova N. A. Spektry otrazheniya vidimogo diapazona i kolorimetriya sudovykh motornykh masel [Visible Reflectance Spectra and Colorimetry of Marine Motor Oils]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2024, no. 3–1 (65), pp. 131–137.

10. Rybakov A. A., Zimin V. D., Sadykov N. N. Spektrofotometriya kak metod podbora kislotnykh sostavov dlya intensivatsii dobychi [Spectrophotometry as a method for selecting acid compositions for intensifying production]. *Neftyanaya provintsiya*, 2020, no. 2 (22), pp. 95–105.

11. Wolak A., Molenda J., Zajac G., Janocha P. Identifying and modelling changes in chemical properties of engine oils by use of infrared spectroscopy. *Measurement*. 2021. V. 186. P. 110–141.

12. Macian V., Tormos B., Garcia-Barbera A., Balaguer A. Application assessment of UV–vis and NIR spectroscopy for the quantification of fuel dilution problems on used engine oils. *Fuel*, 2023. V. 333. Part 1. P. 126350.

13. Vasilenko P. A., Kornienko S. G. Opredelenie soderzhaniya nefteproduktov v pochve s estestvennoy vlazhnost'yu IK-spektrometricheskim metodom [Determination of the content of petroleum products in soil with natural moisture by IR spectrometric method]. *Zhurnal analiticheskoy khimii*, 2022, vol. 77, no. 5, pp. 433–437.

14. Belov M. L., Nguen M. B. Vybore diapazonov registratsii lazerno-indutsirovannogo fluoretsentnogo izlucheniya dlya zadachi obnaruzheniya razlivov dizel'nogo topliva [Selection of laser-induced fluorescence emission detection ranges for diesel fuel spill detection]. *Kontenant*, 2022, vol. 21, no. 2, pp. 52–67.

15. Tsvetovye koordinaty [Color coordinates]. Available at: https://science.fandom.com/ru/wiki/Cvetovye_koordinaty (accessed 17 April 2025).

16. Tsvetovye prostranstva: bol'shoy razbor [Color Spaces: a big analysis]. Available at: <https://skillbox.ru/media/design/rgb-cmyk-lab/> (accessed 17 April 2025).

17. Nixsensor. Available at: <https://www.nixsensor.com/free-colorconverter/?srsltid=AfmBOorFkY9JWz1WPJHPCYxatrSkatZVCsdstzMTjPDDcMKZGk1ygq7j> (accessed 17 April 2025).

18. Litunov S. N., Sysuev I. A., Khlybov A. S. Operativnyy spektrofotometricheskoy metod kolichestvennoy otsenki zagryaznyayushchikh faktorov [Operational spectrophotometric method for quantitative assessment of polluting factors]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2022, no. 4, pp. 206–216.

19. Color Grab. Available at: <https://color-grab.ru.uptodown.com/android> (accessed 17 April 2025).

Информация об авторах

И. П. Корнева – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры физики
С. Н. Виноградов – курсант Морского института КГТУ

Information about the authors

I. P. Korneva – PhD in Engineering, Associate Professor, Professor of the Department of Physics

S. N. Vinogradov – cadet of the Marine Institute of KSTU

Статья поступила в редакцию 30.05.2025; одобрена после рецензирования 10.06.2025; принята к публикации 25.06.2025.

The article was submitted 30.05.2025; approved after reviewing 10.06.2025; accepted for publication 25.06.2025.