

УДК 656.13+62-634

Методика оценки экологического эффекта от применения биотоплив

А. А. Воробьев¹, А. Л. Пенкин², В. С. Смирнов²

¹ Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

² Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

Для цитирования: Воробьев А. А., Пенкин А. Л., Смирнов В. С. Методика оценки экологического эффекта от применения биотоплив // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2024. Т. 21, вып. 3. С. 553–560. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-03-553-560

Аннотация

Цель: снижение экологического ущерба от транспортных средств обеспечивается за счет совершенствования их конструкций и двигателей, рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания, а также применения альтернативных топлив. Для определения рациональности использования биотоплив в транспортных средствах необходимо оценить экологический эффект, который будет достигнут при их применении. **Методы:** рассмотрены существующие методики оценки выбросов отработавших газов от автотранспортных средств. В качестве основы для расчета вредных веществ отработавших газов используется существующий способ из «Временной типовой методики определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды», в качестве основы для расчета выбросов углекислого газа применяется метод, приведенный в приказе Минприроды «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов». На их основе выполнены доработки, которые включают в себя ввод дополнительных коэффициентов, учитывающих изменение экологической нагрузки в зависимости от процентного содержания биотоплива в смеси с традиционным углеводородным топливом. **Результаты:** произведен расчет экологического эффекта от использования биотоплив на примере добавления биодизеля в нефтяное дизельное топливо, для определения которого на основе статистических данных от Агентства по охране окружающей среды США и данных НАМИ были установлены зависимости изменения годовых выбросов вредных веществ и углекислого газа для грузового транспортного средства большой грузоподъемности. В дополнение к расчету в статье представлены графики выбросов вредных веществ с учетом их относительной агрессивности и количества выделяемого углекислого газа в процессе сгорания биодизельных смесей. **Практическая значимость:** предложенный способ расчета экологического эффекта позволяет производить оценку объемов выбросов вредных веществ и углекислого газа в зависимости от концентрации биотоплива в смеси с традиционным топливом. Такой подход может обеспечивать общую картину эффекта применения биодизеля, и вместе с тем используемые коэффициенты нуждаются в уточнении.

Ключевые слова: биотопливо, биодизель, нефтяной дизель, экологический ущерб, альтернативные топлива, расчет ущерба

Введение

При сжигании углеводородных топлив в атмосферу выбрасывается значительное количество углекислого газа, скопление которого приводит к отрицательным процес-

сам, обусловленным парниковым эффектом. Сырьем для производства биотоплива могут быть растительные масла из сельскохозяйственных культур — первое поколение [1],

животные жиры [2] и любые жиросодержащие отходы — второе поколение [3], а также микроводоросли — третье поколение [4]. В жизненном цикле первого и третьего поколения биотоплив часть выбросов углекислого газа в атмосферу поглощается при выращивании сырья в процессе фотосинтеза, за счет чего сохраняется баланс углекислого газа в атмосфере при сжигании топлива [5]. Поэтому общее воздействие, которое биотопливо может оказать на глобальное потепление, будет зависеть не только от продуктов его сгорания, но и от выбросов, связанных с полным жизненным циклом производства и потребления биотоплива [3, 6].

Одним из направлений снижения экологической нагрузки на окружающую среду является биодизельное топливо, которое в настоящий момент добавляют в нефтяное дизельное топливо [7]. В основном биодизель применяют в качестве добавки в концентрациях 5–20% [8], так как считается, что это позволяет повысить цетановое число, улучшить смазочные свойства и экологические характеристики, при этом не ухудшив остальные показатели двигателя внутреннего сгорания [9]. Но для определения рациональности использования биотоплив в транспортных средствах необходимо оценить экологический эффект, который будет достигнут при их применении.

Оценка изменения выброса вредных веществ при использовании биотоплив

Учитывая сказанное выше, экологический эффект (ЭЭ) от применения смеси нефтяного дизельного топлива с биодизелем (далее — смесь) может описываться следующей зависимостью:

$$\text{ЭЭ} = f(M_{\text{вв}}(x); E_{\text{CO}_2}(x)), \quad (1)$$

где x — это содержание биодизеля в смеси, %;

$M_{\text{вв}}$ — приведенная масса токсичных выбросов за год, усл. т/год;

E_{CO_2} — масса выбросов углекислого газа, т/год.

Определяем приведенную массу токсичных выбросов за год ($M_{\text{вв}}$, усл. т/год) от выхлопных газов автомобиля при использовании смесового топлива и сравниваем со значениями базового варианта на ДТ. Таким образом, сравнение показателей, полученных для смесей с разными концентрациями, с показателями для базового ДТ будет давать первое представление об экологическом эффекте от применения таких смесей.

При этом оценка данного параметра будет основана на «Временной типовой методике определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды» (1986). Но с помощью данного способа будет затруднительно оценить экологический эффект для исследуемых смесей, поэтому для решения данной задачи предлагается доработать и дополнить существующие методы.

Значения, необходимые для расчета предельно допустимой концентрации вредного вещества (ПДК), отображены в табл. 1, где ПДК_{сут} — среднесуточная предельно допустимая концентрация, ПДК_{раб.зоны} — разовая предельно допустимая концентрация или значения ориентировочно безопасного уровня воздействия.

ТАБЛИЦА 1. Значения ПДК для вредных веществ выхлопных газов автомобиля

Показатель	СО	СН	NO _x	PM
ПДК _{сут}	3	1,5	0,1	0,06
ПДК _{раб.зоны}	20	30	5	6

Посчитанные значения относительной опасности присутствия вредных веществ в воздухе приведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Расчет относительной агрессивности вредных веществ

Показатель	CO	CH	NO _x	PM
a_i	1	1	1	2
d_i	1	1	1,5	1,2
λ_i	1	1	1	1
β_i	1	5	1	1
a_i	0,09	0,11	1	1,18
A_i	0,09	0,53	1,5	2,83

Оценка экологического ущерба окружающей среде применима для однокомпонентных топлив, ее расчет можно оценить как непосредственным измерением выбросов вредных веществ, так и по накопленным за все время статистическим данным, что значительно упрощает процесс оценки. В случае же расчета для смесей ДТ с биодизелем предлагается ввести коэффициент, учитывающий изменения экологической нагрузки и зависящий от процентного содержания биотоплива в смеси.

Данный коэффициент будет учитываться при расчете приведенной массы годового выброса вредных веществ. Для сравнения показателей экологического ущерба расчет производится сначала для двигателя, работающего на нефтяном дизельном топливе.

Чтобы оценить примерный годовой выброс вредного вещества i -го вида в атмосферу (m_i), можно провести расчет для восьмицилиндрового дизельного двигателя КамАЗ 740.75-440 (объем 11,76 л, мощность 440 л. с., 4-й экологический класс) со средним временем работы в году 1800 ч (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3. Нормы выбросов вредных веществ дизельными автомобилями категории N3

Экологический класс	Допустимая норма, г/кВт·ч			
	CO	CH	NO _x	PM
1	4,50	1,10	8,00	0,36
2	4,00	1,10	7,00	0,15
3	2,10	0,66	5,00	0,10
4	1,50	0,46	3,50	0,02
5	1,50	0,46	2,00	0,02

Расчет производится перемножением удельной массы выбросов вредного вещества i -го вида (г/кВт·ч), которая берется из табл. 2, времени эксплуатации (ч) и мощности данного ТС (кВт·ч). Единица измерения полученных значений из г/год переводится в т/год, и данные значения сводятся в табл. 4.

ТАБЛИЦА 4. Полученные значения массы годового выброса ВВ, т/год

CO	CH	NO _x	PM	Σ
1,188	0,36432	2,772	0,01584	4,34016

Данные значения веществ используются для получения значений $M_{ВВ}$, сведенных в табл. 5.

ТАБЛИЦА 5. Полученные значения веществ используются для получения значений $M_{ВВ}$ для нефтяного дизельного топлива, усл. т/год

CO	CH	NO _x	PM	Σ
0,1069	0,1931	4,158	0,0448	4,5028

Коэффициент для вредного вещества i -го вида, учитывающий изменение выбросов вредных веществ и зависящий от процентного содержания биотоплива в смеси,

возможно определить с помощью зависимостей, основанных на статистических данных от Агентства по охране окружающей среды США [6]. В отчете учитывались данные по двигателям, используемым на грузовиках большой грузоподъемности.

С помощью данных коэффициентов были получены данные по приведенной массе годового выброса вредных веществ для смешанного топлива с биодизелем, содержащегося в разных концентрациях (рис. 1).

За счет высокой относительной агрессивности NO_x и большой массы выбросов этого вещества при работе на дизельном цикле значение общей приведенной массы вредных веществ медленно растет с увеличением процентного содержания биодизельного топлива в смеси.

Оценка влияния применения биотоплив на парниковый эффект

На парниковый эффект влияют не вредные вещества, а парниковые газы, и прежде всего CO_2 . Поэтому для полной оценки влияния данного смешанного топлива на окружающую среду в расчете необходимо учитывать и массу годового выброса CO_2 .

Существующие методики не учитывают эффект от основного парникового компонента, которым является углекислый газ. Для компенсации этого недостатка можно использовать формулу от Минприроды России.

По этой причине вводится коэффициент, учитывающий разницу выбросов углекислого газа между ДТ и его смесями с биодизелем. Тогда формула (2) будет выглядеть следующим образом:

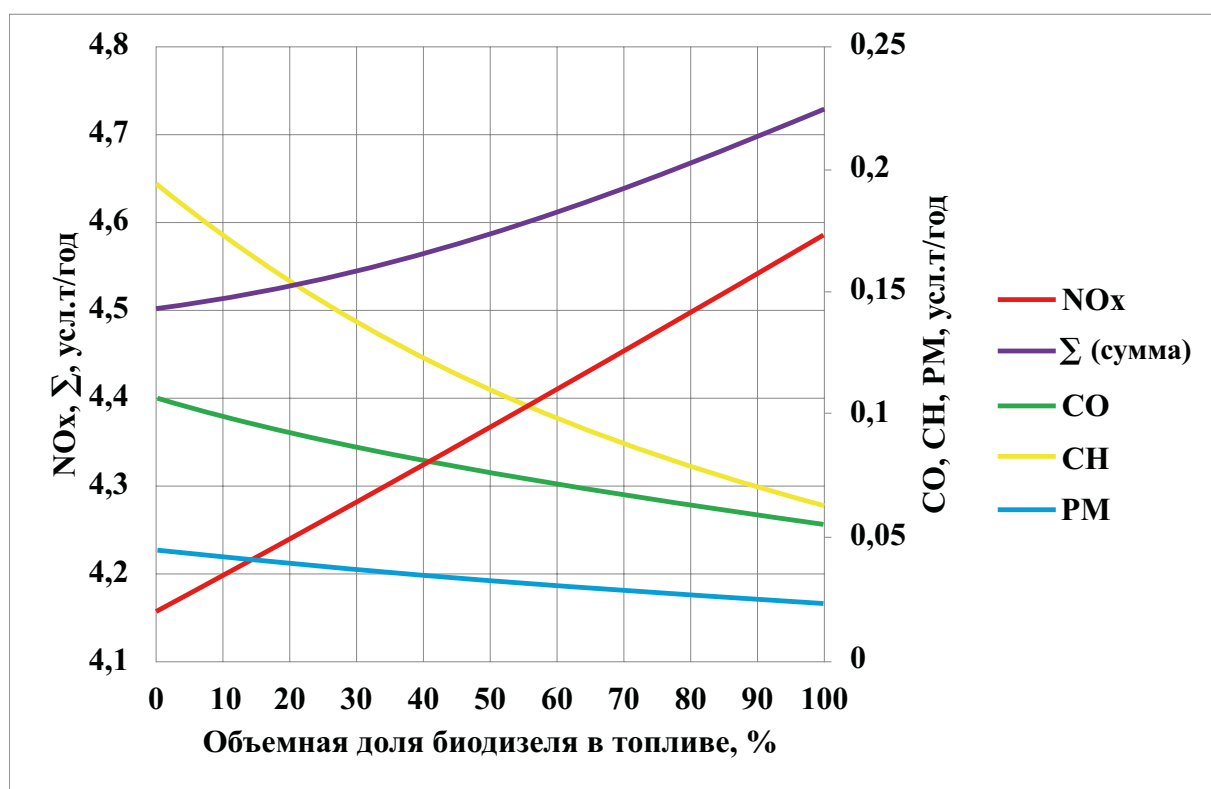


Рис. 1. Полученные значения приведенной массы годового выброса вредных веществ M_{vv} , усл. т/год

$$E_{CO_2,y} = \sum_{j,b,y} (FC_{j,b,y} \cdot EF_{j,b} \cdot K_{\text{био}}^{CO_2}), \quad (2)$$

где $FC_{j,b,y}$ — расход топлива вида j ТС типа b за период y , т;

$EF_{j,b}$ — коэффициент выбросов CO_2 при использовании в ТС типа b вида топлива j , т CO_2 /т;

j — вид топлива;

b — тип ТС;

$K_{\text{био}}^{CO_2}$ — коэффициент, учитывающий изменение выбросов CO_2 в зависимости от процентного содержания биотоплива в смеси.

Коэффициент $K_{\text{био}}^{CO_2}$ рассчитывался по средним значениям исходя из данных [10].

Режим эксплуатации транспорта был определен такими данными: рабочих дней в году — 247, длительность рабочего дня — 8 ч, средняя скорость движения — 60 км/ч. Расход топлива для выбранного двигателя —

33 л на 100 км. Плотность нефтяного дизельного топлива — 0,84 кг/л. Коэффициент выбросов CO_2 для ДТ — 3,149.

Результаты расчета массы годового выброса CO_2 по формуле 2 в зависимости от содержания биодизельного топлива в смеси представлены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что масса годового выброса CO_2 значительно снижается по мере увеличения содержания биодизельного топлива в смеси. Расчет для CO_2 проводился без учета относительной агрессивности, так как ущерб, который наносится окружающей среде, заключается не во вредности данного компонента, а во вкладе, который он вносит в парниковый эффект. Поэтому итоговые показатели расчетов для вредных веществ и углекислого газа суммировать некорректно и стоит их учитывать как отдельные факторы, влияющие на экологическую нагрузку.

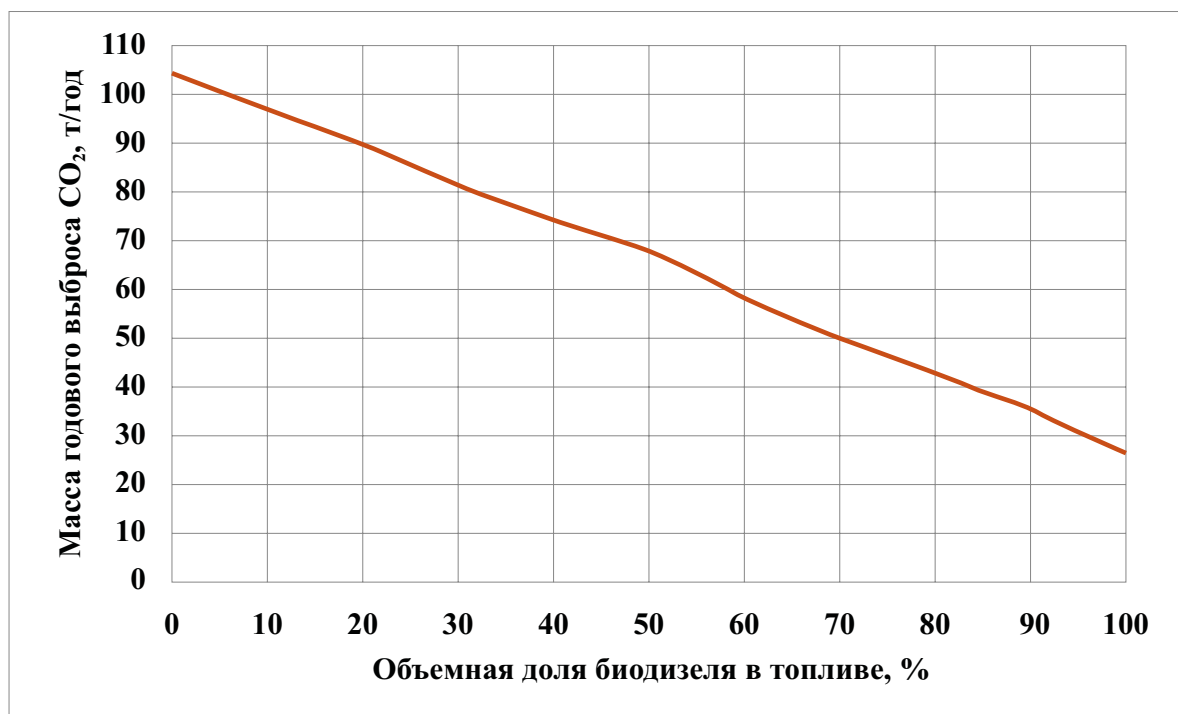


Рис. 2. Полученные значения массы годового выброса CO_2 , т/год в зависимости от процентного содержания биодизеля в смеси

Заключение

Таким образом, с учетом ввода дополнительных коэффициентов, учитывающих изменение экологической нагрузки для грузового транспортного средства, коэффициенты для вредных веществ и углекислого газа установлены по усредненному биодизельному топливу, не учитывая сырье и способ производства топлива и исходя из данных Агентства по охране окружающей среды США [6] и данных НАМИ [10], где были двигатели с несовершенными системами и устройствами снижения токсичности отработавших газов. Такой подход может обеспечивать общую картину эффекта применения биодизеля, и вместе с тем используемые коэффициенты нуждаются в уточнении.

Исследования, выполняемые по данной тематике, проводились в рамках реализации Федеральной программы поддержки университетов «ПРИОРИТЕТ 2030».

Библиографический список

1. Винаров А. Ю., Дирин Е. Н. Биодизель из растительного сырья. Повышение конкурентоспособности за счет переработки отходов производства // Транспорт на альтернативном топливе. 2009. № 4 (10).
2. Жидкое биотопливо из растительного и животного сырья. Технические и экономические аспекты / Д. Г. Горохов [и др.] // Вестник МГУЛ — Лесной вестник. 2010. № 4.
3. Кучкина А. Ю., Сушик Н. Н. Источники сырья, методы и перспективы получения биодизельного топлива // Журнал СФУ. Биология. 2014. № 1.
4. Черкаев Г. В., Чихонадских Е. А. Анализ критериев получения биотоплива из водорослей // Тру-

ды Крыловского государственного научного центра. 2021. № S1.

5. Халиль И. А., Шевченко Д. В. Биоэнергетика автотранспорта // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования, 2011. № 4.

6. U.S. Environmental Protection Agency (2002). A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions (EPA 420-P-02-001). Washington, DC: Assessment and Standard Division, Office of Transportation and Air Quality, USEPA.

7. Исследование целесообразности использования биодизельных топлив в качестве смесового компонента товарных дизельных топлив / Н. Е. Белозерцева [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. № 1 (40).

8. Выбор наиболее предпочтительного сырья для синтеза биодизельного топлива с позиции его выхода и физико-химических свойств / Н. Е. Белозерцева [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. № 1 (32).

9. Применение биодизельного топлива в условиях холодного климата / А. Л. Пенкин [и др.] // Грузовик. 2024. № 1.

10. Козлов А. В., Теренченко А. С. Оценка эффективности применения биодизельного моторного топлива в полном жизненном цикле // Транспорт на альтернативном топливе. 2008. № 2 (2).

Дата поступления: 14.06.2024

Решение о публикации: 05.08.2024

Контактная информация:

ПЕНКИН Алексей Леонидович — канд. техн.

наук, доцент; apenkin1@gmail.com

СМИРНОВ Вадим Сергеевич — магистрант;

v.s.smirnof@yandex.ru

ВОРОБЬЕВ Александр Алфеевич — докт. техн.

наук, доцент; nttk@pgups.ru

Methodology for assessing the environmental effect of the use of biofuels

A. A. Vorobev¹, A. L. Penkin², V. S. Smirnov²

¹ Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2nd Krasnoarmeiskaya Str., Saint-Petersburg, 190005, Russia

² Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: Vorobev A. A., Penkin A. L., Smirnov V. S. Methodology for assessing the environmental effect from the use of biofuels // Proceedings of Petersburg Transport University. 2024. Vol. 21, iss. 3. P. 553–560. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2024-03-553-560

Abstract

Purpose: the fight for ecology in the transport sector is ensured by improving the design of vehicles and engines, the working processes of internal combustion engines, as well as the use of alternative fuels. To determine the rational use of biofuels in vehicles, it is necessary to assess the environmental effect that will be achieved when using them. **Methods:** the existing methods of estimating exhaust gas emissions from motor vehicles are considered. Based on them, improvements have been made, which include the introduction of additional coefficients that take into account changes in the environmental load depending on the percentage of biofuels mixed with traditional hydrocarbon fuels. **Results:** the calculation of the environmental effect from the use of biofuels was carried out using the example of adding biodiesel to petroleum diesel fuel, for which, based on statistical data from the US Environmental Protection Agency and data, WE established dependences of changes in annual emissions of harmful substances and carbon dioxide for a heavy-duty cargo vehicle. In addition to the calculation, the article presents graphs of emissions of harmful substances, taking into account their relative aggressiveness and the amount of carbon dioxide released during the combustion of biodiesel mixtures. **Practical significance:** The proposed method for calculating the environmental effect makes it possible to estimate the volume of emissions of harmful substances and carbon dioxide depending on the concentration of biofuels mixed with traditional fuels. Such an approach can provide an overall picture of the effect of using biodiesel, and at the same time, the coefficients used need to be clarified.

Keywords: biofuels, biodiesel, mixed fuels, ecology, the use of alternative fuels, calculation methods

References

1. Vinarov A. Yu., Dirina E. N. Biodizel' iz rastitel'nogo syr'ya. Povyshenie konkurentosposobnosti za schet pererabotki othodov proizvodstva // Transport na al'ternativnom toplive. 2009. № 4 (10). (In Russian)
2. Zhidkoe biotoplivo iz rastitel'nogo i zhitovno-go syr'ya. Tekhnicheskie i ekonomicheskie aspekty / D. G. Gorohov [i dr.] // Vestnik MGUL — Lesnoj vestnik. 2010. № 4. (In Russian)
3. Kuchkina A. Yu., Sushchik N. N. Istochniki syr'ya, metody i perspektivy polucheniya biodizel'no-go topliva // Zhurnal SFU. Biologiya. 2014. № 1. (In Russian)
4. Cherkaev G. V., Chihonadskih E. A. Analiz kriteriev polucheniya biotopliva iz vodoroslej // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra. 2021. № S1. (In Russian)
5. Halil' I. A., Shevchenko D. V. Bioenergetika avtotransporta // Vestnik RUDN. Seriya: Inzhenernye issledovaniya. 2011. № 4.
6. U. S. Environmental Protection Agency (2002). A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions (EPA 420-P-02-001). Washington,

DC: Assessment and Standard Division, Office of Transportation and Air Quality, USEPA.

7. Issledovanie celesoobraznosti ispol'zovaniya biodizel'nyh topliv v kachestve smesevogo komponenta tovarnyh dizel'nyh topliv / N.E. Belozerceva [i dr.] // Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya. 2022. № 1 (40). (In Russian)

8. Vybor naibolee predpochitel'nogo syr'ya dlya sinteza biodizel'nogo topliva s pozicii ego vyhoda i fiziko-himicheskikh svojstv / N.E. Belozerceva [i dr.] // Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya. 2020. № 1 (32). (In Russian)

9. Primenenie biodizel'nogo topliva v usloviyah holodnogo klimata / A.L. Penkin [i dr.] // Gruzovik. 2024. № 1. (In Russian)

10. Kozlov A. V., Terenchenko A. S. Ocenka effektivnosti primeneniya biodizel'nogo motornogo topliva v polnom zhiznennom cikle // Transport na al'ternativnom toplive. 2008. № 2 (2). (In Russian)

Received: 14.06.2024

Accepted: 05.08.2024

Author's information:

Aleksei L. PENKIN — PhD in Engineering, Associate Professor; apenkin1@gmail.com

Vadim S. SMIRNOV — Master's student; v.s.smirnof@yandex.ru

Aleksandr A. VOROB'EV — D. Sci. in Engineering, Associate Professor; nttk@pgups.ru