

Научная статья
УДК 621.43

Оценка изменения структурного шума от рабочего процесса дизеля 4ЧН11/12,5 при его конвертации на метиловый эфир рапсового масла

Андрей Леонидович Яковенко¹, Дык Киен Нгуен², Сергей Дмитриевич Скорodelов³, Булат Ильнурович Хазиев⁴, Александр Владимирович Катаржин⁵

^{1,2,3,4,5}Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия

¹iakovenko_home@mail.ru

^{2,5}dvs@madi.ru

³aksi0001@mail.ru

⁴mr.xaziev111@mail.ru

Аннотация. Одним из эффектов применения альтернативных топлив является снижение шума двигателя внутреннего сгорания. В статье рассмотрено влияние метилового эфира рапсового масла (МЭРМ) на структурный шум от рабочего процесса, экономические и экологические показатели дизеля 4ЧН11/12,5. Представлены результаты исследований шума дизеля при работе на дизельном топливе, чистом МЭРМ (B100 RME) и смесевом топливе из 80% МЭРМ и 20% ДТ (B80 RME), а также из 20% МЭРМ и 80% ДТ (B20 RME). Результаты исследования показали, что шум снижается с ростом концентрации МЭРМ в смеси с дизельным топливом, а наибольший эффект (16,3 дБ) достигается при работе дизеля на топливе B100 RME, но при этом ухудшаются экономические и экологические показатели двигателя. По комплексу показателей двигателя наиболее целесообразно применение топлива B80 RME.

Ключевые слова: структурный шум, метиловый эфир рапсового масла, рабочий процесс, альтернативные топлива, шум дизеля.

Для цитирования: Яковенко А.Л., Нгуен Д.К., Скорodelов С.Д., Хазиев Б.И., Катаржин А.В. Оценка изменения структурного шума от рабочего процесса дизеля 4ЧН11/12,5 при его конвертации на метиловый эфир рапсового масла // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2026. № 1 (47).

Original article

Assessment of the change in structure-borne noise from the 4-cylinder diesel working process during its conversion to methyl ester of rapeseed oil

Andrey L. Iakovenko¹, Duc Kien Nguyen², Sergey D. Skorodelov³, Bulat I. Khaziev⁴, Aleksandr V. Katarzhin⁵

^{1,2,3,4}Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

¹phanvanthachthuha@gmail.com

²a.u.dunin@yandex.ru

³hoangthuhavathach@gmail.com

⁴vacnike911@gmail.com

Abstract. The use of alternative fuels is one of the ways to reduce the noise of an internal combustion engine. The article examines the effect of rapeseed oil methyl ester (MERM) on the structure-borne noise from the working process, economic and environmental performance of 4-cylinder diesel. The results of studies of diesel noise when running on diesel fuel, pure MERM (B100 RME) and mixed fuels from 80% MERM and 20% DT (B80 RME), as well as from 20% MERM and 80% DT (B20 RME) are presented. The results of the study showed that noise decreases with increasing concentration of MERM in a mixture with diesel fuel, and the greatest effect (16.3 dB) is achieved when diesel is running on B100 fuel, but at the same time the economic and environmental performance of the engine deteriorates. According to the complex of engine parameters, it is most advisable to use fuel in the B80 RME range.

Keywords: structure-borne noise, dimethyl ether, working process, alternative fuels, diesel noise.

For citation: Iakovenko A.L., Nguyen D.K., Skorodelov S.D., Khaziev B.I., Katarzhin A.V. Assessment of the change in structure-borne noise from the 4-cylinder diesel working process during its conversion to methyl ester of rapeseed oil. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2026. No. 1 (47).

Введение

Анализ работ по исследованиям шума двигателя внутреннего сгорания показывает, что для дизелей одним из главных источников шума является рабочий процесс вследствие повышенной скорости нарастания давления в цилиндре при сгорании топлива [1].

Методы снижения шума от рабочего процесса предполагают уменьшение жесткости сгорания путем изменения характеристики подачи топлива в цилиндр, угла опережения впрыскивания или применением многофазного впрыска. Еще одним способом воздействия на шум является перевод дизеля на питание альтернативными топливами [2].

На данный момент вопросы снижения шума двигателя за счет использования альтернативных топлив недостаточно проработаны, отсутствует системный подход. Поэтому необходима целенаправленная проработка данного вопроса.

В качестве одного из видов альтернативных топлив в мировой практике используются различные растительные масла, например, рапсовое, подсолнечное, арахисовое, хлопковое, соевое, кокосовое, пальмовое [3–8].

В Европе наиболее перспективными считают топлива, полученные из рапсового масла, так как рапс относительно зимостоек и неприхотлив при выращивании [9]. При этом используется не рапсовое масло в чистом виде, а его продукт - метиловый эфир, который применяется как автономное топливо или добавка к дизельному топливу.

Метиловый эфир рапсового масла (МЭРМ) производится в промышленных масштабах в восьми странах ЕС (Италия, Бельгия, Австрия, Швеция, Польша и др.). Ежегодно на разработку и исследование биотоплива выделяется до 1 млрд евро.

Метиловый эфир рапсового масла имеет высокое цетановое число (54-58 единиц), температуру вспышки выше 100 °С и повышенные плотность (на 8-10%) и вязкость (в 2 раза) по сравнению с обычным дизельным топливом. Экологическими преимуществами МЭРМ являются меньшие выбросы монооксида углерода (до 10%) и сажи (до 50%), практически полное биоразложение (99% за 28 дней), низкое содержание серы [10].

Моделирование рабочего процесса и шума при работе дизеля на альтернативных топливах

Исследование влияния применения МЭРМ на шум от рабочего процесса было выполнено для дизеля 4ЧН11/12,5 по внешней скоростной характеристике. В качестве топлив рассматривались дизельное топливо, МЭРМ (B100 RME) и смесевые топлива из 80% МЭРМ и 20% ДТ (B80 RME), а также из 20% МЭРМ и 80% ДТ (B20 RME).

Для моделирования структурного шума была использована методика, сформированная на кафедре «Теплотехника и автотракторные двигатели» МАДИ [1].

На первом этапе были определены и сведены в табл. 1 физико-химические свойства топлив.

На следующем этапе с использованием ПК «Дизель-ПК» было выполнено моделирование рабочего процесса дизеля 4ЧН11/12,5 по внешней

скоростной характеристике при его работе на исследуемых топливах. Условием моделирования являлось сохранение мощности базового дизеля.

Таблица 1

Физико-химические свойства исследуемых топлив

Физико-химические свойства		Ед. изм.	ДТ	B20 RME	B80 RME	B100 RME
1	Содержание С, Н, О	-	0,87	0,849	0,789	0,77
			0,126	0,125	0,122	0,121
			0,004	0,026	0,089	0,109
2	Общее содержание серы	-	0,002	0,002	0,002	0,0015
3	Теплота сгорания низшая	МДж/кг	42,5	41,86	40,04	39,45
4	Условная энергия активации предпламенных реакций для самовоспламенения	кДж/моль	22	20	14	12
5	Цетановое число	-	48	49,28	53,12	54,4
6	Плотность при 20 °С	кг/м ³	830	838,8	865,2	874
7	Коэффициент поверхностного натяжения при 20 °С	Н/м	0,028	0,029	0,031	0,0315
8	Динамическая вязкость	Па·с	0,00315	0,004	0,006	0,007
9	Удельная теплота парообразования	кДж/кг	250	265,6	310,6	325
10	Теплоемкость при температуре форсунки	Дж/(кг·К)	1853	1853	1853	1853
11	Молекулярная масса	г/моль	190	205,3	267,4	296
12	Температура в критической точке	К	710	729,2	784,3	802
13	Давление насыщенных паров при низкой Т	бар	0,0477	0,038	0,010	0,001
14	Давление насыщенных паров в критической точке	бар	1,616	1,668	1,825	1,877

В результате был получен комплекс мощностных, экономических и экологических показателей дизеля (рис. 1) для исследуемых топлив и массив индикаторных диаграмм на режимах внешней скоростной характеристики.

После этого с использованием разработанного на кафедре «Теплотехника и автотракторные двигатели» ПК «ВА-ДВС МАДИ», сформированных на предыдущем этапе индикаторных диаграмм и массово-геометрических параметров конструкции был рассчитан структурный шум дизеля 4ЧН11/12,5 от рабочего процесса (рис. 2) и построена зависимость уровня звуковой мощности от частоты вращения коленчатого вала.

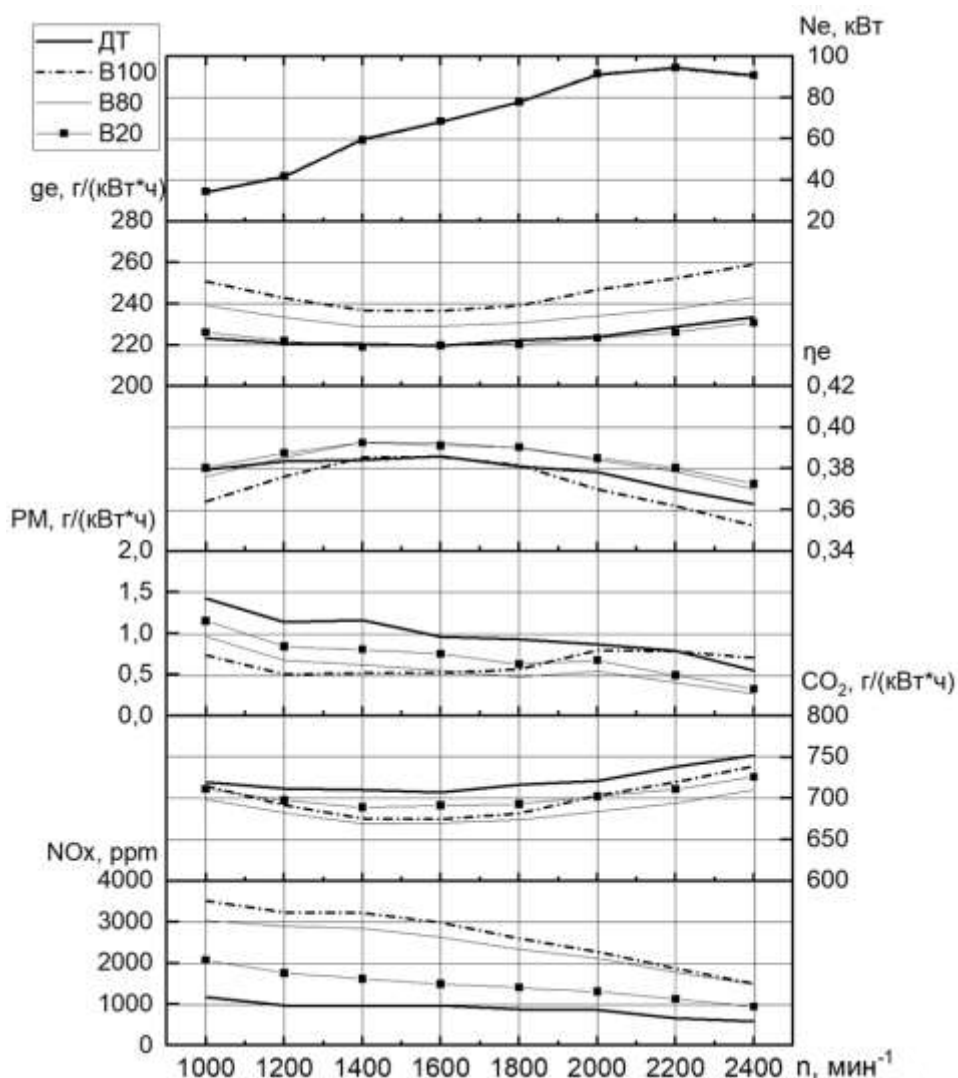


Рис. 1. Зависимости мощностных, экономических и экологических показателей дизеля 4ЧН11/12,5 от частоты вращения коленчатого вала на режимах внешней скоростной характеристики при использовании различных топлив

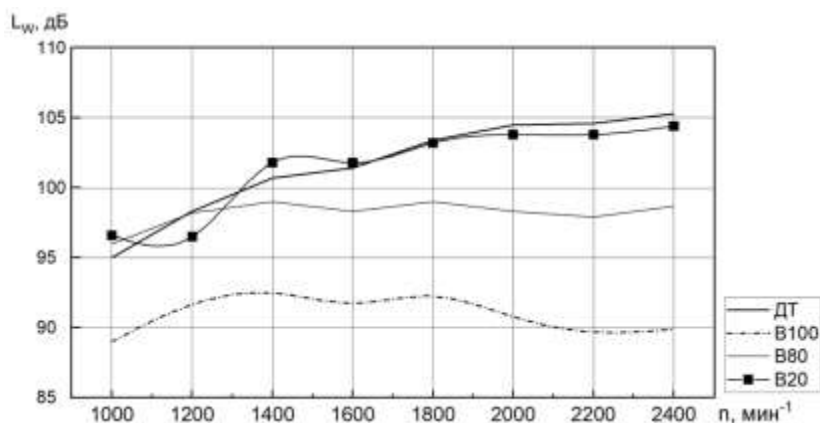


Рис. 2. Зависимости структурного шума от рабочего процесса дизеля 4ЧН11/12,5 от частоты вращения коленчатого вала на режимах внешней скоростной характеристики при использовании различных топлив

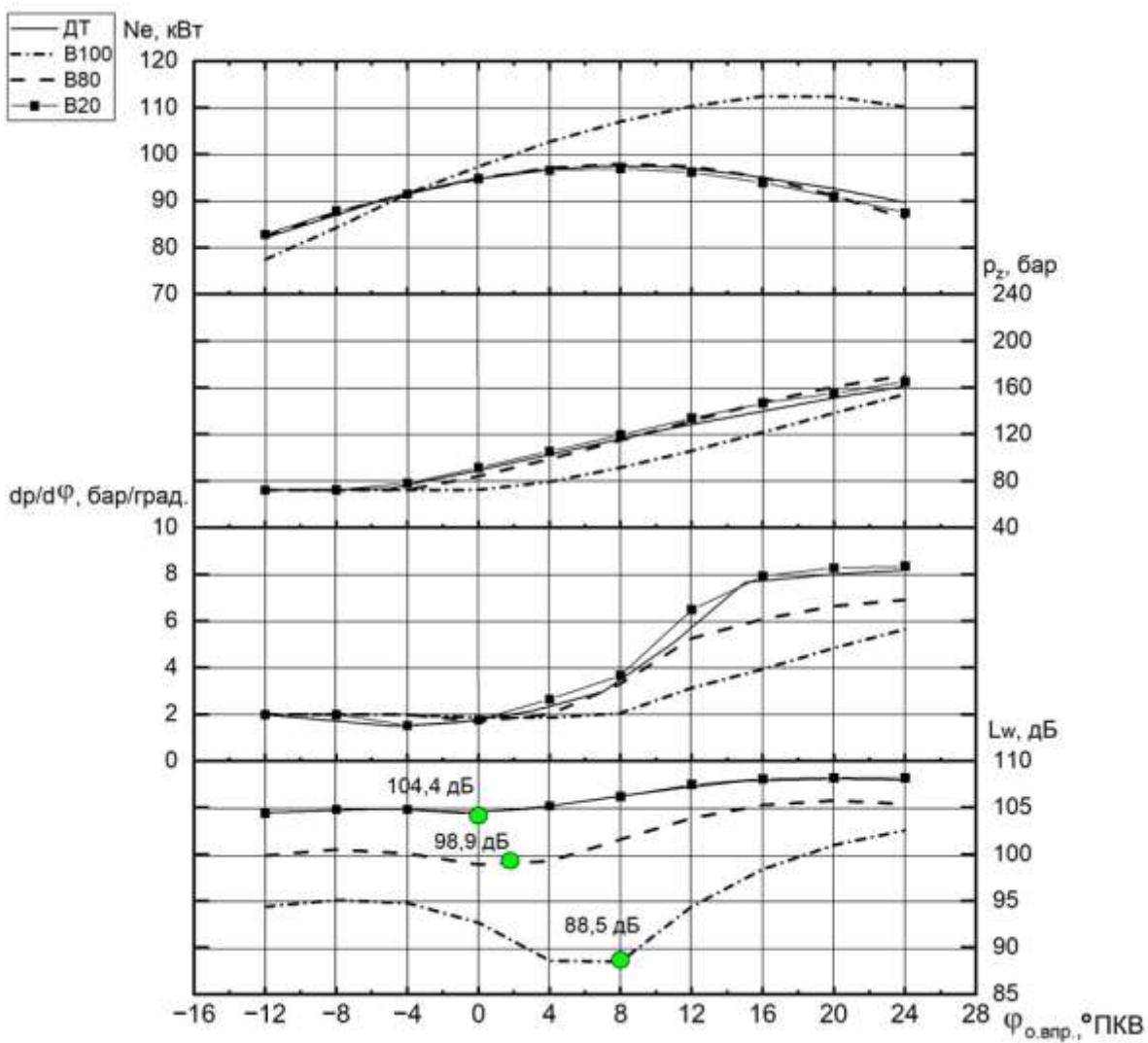


Рис. 3. Регулировочная характеристика дизеля 4ЧН 11,0/12,5 по углу опережения впрыскивания при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$

На следующем этапе работы выполнялся поиск оптимального с точки зрения шума значения угла опережения впрыскивания топлива. Были сформированы регулировочные характеристики дизеля 4ЧН11/12,5 по углу опережения впрыскивания для режимов ВСХ (рис. 3).

Анализ результатов исследования

По результатам исследования влияния применения МЭРМ на структурный шум от рабочего процесса дизеля 4ЧН11/12,5 было получено, что при сохранении мощности базового дизеля при работе на топливе В100 RME снижение шума достигает 10...16,3 дБ, а на топливе В80 RME – 1,6...6,4 дБ. Наименьший эффект дало топливо В20 RME.

Это объясняется уменьшением периода задержки воспламенения и увеличением продолжительности сгорания метилового эфира рапсового масла по сравнению с дизельным топливом. На всех режимах работы при использовании МЭРМ наблюдается повышение удельного эффективного расхода топлива, что вызвано большей плотностью и повышенной вязкостью смеси ДТ и МЭРМ по сравнению с ДТ.

При работе дизеля на МЭРМ (В100 RME) отмечено общее ухудшение экологических параметров, а для смеси В80 RME уменьшаются выбросы твердых частиц при возрастании NO_x по сравнению с дизельным топливом.

Анализ регулировочных характеристик дизеля 4ЧН11/12,5 по углу опережения впрыскивания показал, что для топлива В100 RME наименьший шум достигается при значениях от 4 до 8 °ПКВ до ВМТ (88,5 дБ; базовый дизель на чистом ДТ – 104,8 дБ, эффект снижения – 16,3 дБ), при этом мощность двигателя повысилась с 91,7 кВт до 107 кВт. Улучшаются экологические показатели двигателя: при увеличении угла опережения впрыскивания топлива от 4 до 8 °ПКВ после ВМТ значения выбросов твердых частиц уменьшаются и постепенно приближаются к уровню, соответствующему работе на дизельном топливе.

Минимальный шум для топлива В80 RME достигается при значении угла опережения впрыскивания -2° ПКВ (98,9 дБ), а на чистом ДТ и В20 RME – 0° ПКВ (104,5 дБ).

Выводы

1. Анализ работ в области альтернативных топлив показал возможность снижения шума от рабочего процесса в результате уменьшения скорости нарастания давления в цилиндре при сгорании.

2. Представлена методика исследования влияния применения МЭРМ на шум от рабочего процесса дизеля 4ЧН11/12,5.

3. Результаты исследования показали, что шум от рабочего процесса дизеля 4ЧН11/12,5 снижается с ростом концентрации МЭРМ в смеси с дизельным топливом, а наибольший эффект (16,3 дБ) достигается при работе дизеля на топливе В100 RME, но при этом ухудшаются экономические и экологические показатели двигателя. По комплексу показателей двигателя наиболее целесообразно применение топлива В80 RME.

4. Регулировочные характеристики дизеля 4ЧН11/12,5 по углу опережения впрыскивания позволили определить оптимальный с точки зрения шума угол для каждого рассматриваемого топлива.

Список источников

1. Шатров, М. Г. Методика и некоторые результаты расчета структурного шума двигателя внутреннего сгорания для формирования компонентов единого информационного пространства "ДВС" / М. Г. Шатров, А. Л. Яковенко // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). – 2009. – № 1(16). – С. 10-18. – EDN KBEMZH.

2. Research of the influence of alternative fuels on diesel engine noise level / A. L. Iakovenko, A. Y. Dunin, P. V. Dushkin [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 2019 International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control, DS ART 2019, Cholpon-Ata, 01 ноября 2019 года. – BRISTOL: Institute of Physics Publishing, 2020. – Vol. 832. – P. 012004. – DOI 10.1088/1757-899X/832/1/012004. – EDN FVZHER.

3. Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях / Марков В. А. [и др.]. – Москва : Инженер, 2011. – 534 с. – (Банк знаний XXI века). – ISBN 978-5-7013-0120-5. – EDN QNYBFP.

4. Использование смесей дизельного топлива и метилового эфира подсолнечного масла в качестве топлива для транспортных дизелей / В. А. Марков, С. Н. Девянин, С. А. Нагорнов, С. С. Лобода // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – № 5(17). – С. 24. – EDN RHALCR.
5. Исследование топливоподачи дизеля, работающего на биотопливе / С. А. Нагорнов, В. А. Марков, Ю. В. Мещерякова [и др.] // Автомобильная промышленность. – 2023. – № 4. – С. 7-11. – EDN YXZYAM.
6. Исследование работы дизельного двигателя на смесевых и эмульгированных биотопливах с добавками рапсового масла / В. А. Марков, С. Н. Девянин, Б. Са, А. А. Нормуродов // Двигателестроение. – 2023. – № 1(291). – С. 70-90. – DOI 10.18698/jec.2023.1.70-90. – EDN OONAY.
7. Физико-химические и моторные свойства смесевых биотоплив с добавками растительных масел / В. А. Марков, С. Н. Девянин, О. Н. Слепцов [и др.] // Транспорт на альтернативном топливе. – 2023. – № 6(96). – С. 54-70. – EDN CGSZSJ.
8. Особенности использования смесевых биотоплив с добавками метилового эфира подсолнечного масла в автотракторном дизеле / В. А. Марков, С. Н. Девянин, С. А. Нагорнов [и др.] // Автомобильная промышленность. – 2022. – № 4. – С. 28-33. – EDN MUMMOE.
9. Кухаренок, Г. М. Альтернативные топлива для автотракторной техники / Г. М. Кухаренок, Е. Д. Петухович // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : Сборник научных трудов / Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – Горки : Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. – Вып. 6. – С. 225-229. – EDN FKVHLE.
10. Rapeseed Oil Methyl Esters (RME) as Fuel for Urban Transport / J. Merkisz, P. Fuć, P. Lijewski, M. Kozak // Alternative Fuels, Technical and Environmental Conditions. – 2016. – P. 23-39. – DOI 10.5772/62218.

References

1. Shatrov M.G., Yakovenko A.L. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'nodorozhnogo instituta (gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta)*, 2009, no. 1(16), pp. 10-18.
2. Iakovenko A.L., Dunin A.Y., Dushkin P.V., Savastenko E.A., Shatrov M.G. Research of the influence of alternative fuels on diesel engine noise level, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 2019 International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control*, Bristol, Institute of Physics Publishing, 2020, vol. 832, p. 012004, doi 10.1088/1757-899X/832/1/012004.
3. Markov V.A., Devyanin S.N., Semenov V.G., Shahov A.V., Bagrov V.V. *Ispol'zovanie rastitel'nyh masel i topliv na ih osnove v dizel'nyh dvigatelyah* (The use of vegetable oils and fuels based on them in diesel engines), Moscow, Inzhener, 2011, 534 p., ISBN 978-5-7013-0120-5.
4. Markov V.A., Devyanin S.N., Nagornov S.A., Loboda S.S. *Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovacii*, 2013, no. 5(17), p. 24.

5. Nagornov S.A., Markov V.A., Meshcheryakova YU.V., Neverova V.V., Meshcheryakov A.G. *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 2023, no. 4, pp. 7-11.
6. Markov V.A., Devyanin S.N., Sa B., Normurodov A. A. *Dvigatelsestroenie*, 2023, no. 1(291), pp. 70-90, doi 10.18698/jec.2023.1.70-90.
7. Markov V.A., Devyanin S.N., Slepcev O.N., Spiridonova L.V., Boldyrev A.E. *Transport na al'ternativnom toplive*, 2023, no. 6(96), pp. 54-70.
8. Markov V.A., Devyanin S.N., Nagornov S.A., Spiridonova L.V., Bykovskaya L.I. *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 2022, no. 4, pp. 28-33.
9. Kuharenok G.M., Petuhovich E.D. *Innovacionnye resheniya v tekhnologiyah i mekhanizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva*, Sbornik statei, Gorki, Belorusskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya, 2021, vol. 6, pp. 225-230.
10. Merkisz J, Fuć P, Lijewski P, Kozak M. Rapeseed Oil Methyl Esters (RME) as Fuel for Urban Transport, *Alternative Fuels, Technical and Environmental Conditions*, 2016, p. 23-39, doi 10.5772/62218.

Рецензент: Г.Г. Тер-Мкртчян, д-р техн. наук, доц., МАДИ

Информация об авторах

Яковенко Андрей Леонидович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплотехника и автотракторные двигатели», МАДИ.

Нгуен Дык Киен, аспирант кафедры «Теплотехника и автотракторные двигатели», МАДИ.

Скорodelов Сергей Дмитриевич, старший преподаватель кафедры «Теплотехника и автотракторные двигатели», МАДИ.

Хазиев Булат Ильнурович, магистрант кафедры «Теплотехника и автотракторные двигатели», МАДИ.

Катаржин Александр Владимирович, д-р техн. наук, врио заведующего кафедрой «Транспортные установки» МАДИ.

Information about the authors

Iakovenko Andrey L., Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor of the Department of "Heat Engineering and Automotive Engines", MADI.

Nguyen Duc Kien, Postgraduate student of the Department of "Heat Engineering and Automotive Engines", MADI.

Skorodelov Sergey D., Senior Lecturer of the Department of "Heat Engineering and Automotive Engines", MADI.

Khaziev Bulat I., undergraduate of the Department of "Heat Engineering and Automotive Engines", MADI.

Katarzhin Aleksandr V., Doctor of Sciences (Technical), Acting Head of the Department of "Transport Installations", MADI.

Статья поступила в редакцию 07.02.2026; одобрена после рецензирования 17.02.2026; принята к публикации 25.03.2026.

The article was submitted 07.02.2026; approved after reviewing 17.02.2026; accepted for publication 25.03.2026.