

УДК 621.43

**ВЛИЯНИЕ МЕТИЛОВОГО ЭФИРА РАПСОВОГО МАСЛА  
НА ДЫМНОСТЬ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНЫХ  
ДВИГАТЕЛЕЙ (ЧАСТЬ 2)**

Юрлов А.С., кандидат технических наук, доцент

E-mail: amadeus\_92@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Вятский государственный агротехнологический университет»,  
г. Киров, Россия

Аннотация. Биодизельное топливо следует рассматривать как часть решения проблемы снижения выбросов сажи в двигателях внутреннего сгорания. Рассмотрено влияние применения метилового эфира рапсового масла на различных частотах вращения и нагрузках на дымность отработавших газов дизельных двигателей при различных пропорциях биодизеля. Были проведены различные исследования двигателей разных размеров, условий эксплуатации и пропорций биодизеля. Экспериментальные результаты показали, что использование биодизеля потенциально может снизить количество основных загрязняющих веществ, типичных для дизелей.

Ключевые слова: биодизель, метиловый эфир рапсового масла, дизельный двигатель, твердые частицы, сажа, дымность, отработавшие газы, скоростные, нагрузочные режимы.

**THE EFFECT OF RAPESEED OIL METHYL ETHER ON THE SMOKINESS  
OF THE DIESEL ENGINE EXHAUST GASES (PART 2)**

Yurlov A.S., candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: amadeus\_92@mail.ru

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
«Vyatka State Agrotechnological University», Kirov, Russia

Annotation. Biodiesel should be considered as one part of solving the problem of reducing soot emissions in internal combustion engines. The influence of using rapeseed oil methyl ether at different rotational speeds and loads on the smokiness of the diesel engines exhaust gases at different proportions of biodiesel is considered. Various studies of engines of different sizes, operating conditions and proportions of biodiesel have been carried out. The achieved experimental results have shown that the biodiesel use can potentially reduce the amount of major pollutants typical for diesels.

Keywords: biodiesel, rapeseed oil methyl ether, diesel engine, solid particles, soot, smokiness, exhaust gases, high-speed, load modes.



В настоящее время биодизель пользуется популярностью в мировом транспортном секторе из-за доступности и простоты современных технологий производства и его совместимости с существующей инфраструктурой применения обычного дизельного топлива [1-6]. Следовательно, биодизельное топливо следует рассматривать как часть решения проблемы снижения выбросов в двигателях внутреннего сгорания, в первую очередь дизельных двигателей. Были проведены различные исследования двигателей разных размеров, условий эксплуатации и пропорций применяемого биодизеля [7-24].

Так, в работе [2525] испытания проводились на четырехтактном, четырехцилиндровом с водяным охлаждением, непосредственным впрыском, атмосферном дизеле Д-243.

Дизель испытывался на чистом метиловом эфире рапсового масла (RME) и его 5, 10, 20 и 35% смесях с дизельным топливом (DF). Как видно из анализа кривых на рисунке 1, при работе от легких до умеренных нагрузок дымность отработавших газов (ОГ) составляет всего 3-10%, однако при переходе к большим нагрузкам она быстро увеличивается.

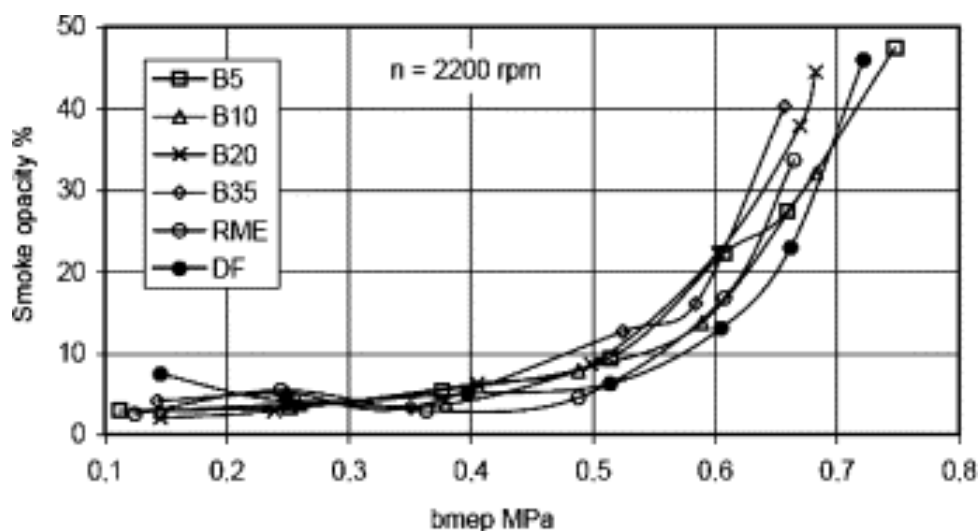


Рисунок 1 – Влияние применения метилового эфира рапсового масла (RME) на дымность ОГ дизеля Д-243 в зависимости от нагрузки:



95% DF и 5% RME (B5), 90% DF и 10% RME (B10), 80% DF и 20% RME (B20), 65% DF и 35% RME (B35), RME – 100%, DF – 100%

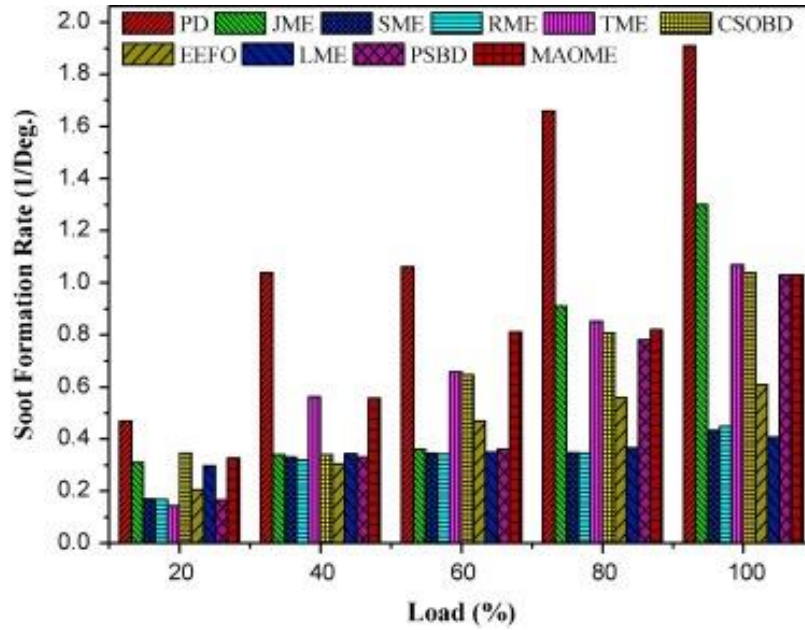
При одинаковом составе воздушно-топливной смеси  $\lambda = 1,6$  двигатель развивал  $b_{\text{мер}} = 0,713$  МПа для дизельного топлива и  $b_{\text{мер}} = 0,656$  МПа для RME с соответствующими уровнями дымности ОГ 46 и 31,4%. Другие виды биотоплива, представленные в порядке возрастания концентрации кислорода в топливе, предполагают, что дымность ОГ составляет 39,8, 36,0, 35,2 и 38,4% соответственно.

На рисунке 2, а [26] показано изменение скорости образования сажи в зависимости от нагрузки для различных исследуемых топлив. Было отмечено, что скорость образования сажи (1/градус) при полной нагрузке составляла 1,91 для дизельного топлива (PD), 1,3 для метилового эфира ятрофы (JME), 0,434 для соевого метилового эфира (SME), 0,449 для метилового эфира рапса (RME), 1,07 для жирного метилового эфира (TME), 1,04 для масла семян хлопка (CSOBD), 0,609 для этиловый эфира рыбьего жира (EEFO), 0,407 для метилового эфира льняного семени (LME), 1,03 для пальмового стеарина (PSBD) и 1,03 для метиловых эфиров масла микроводорослей (MOABD).

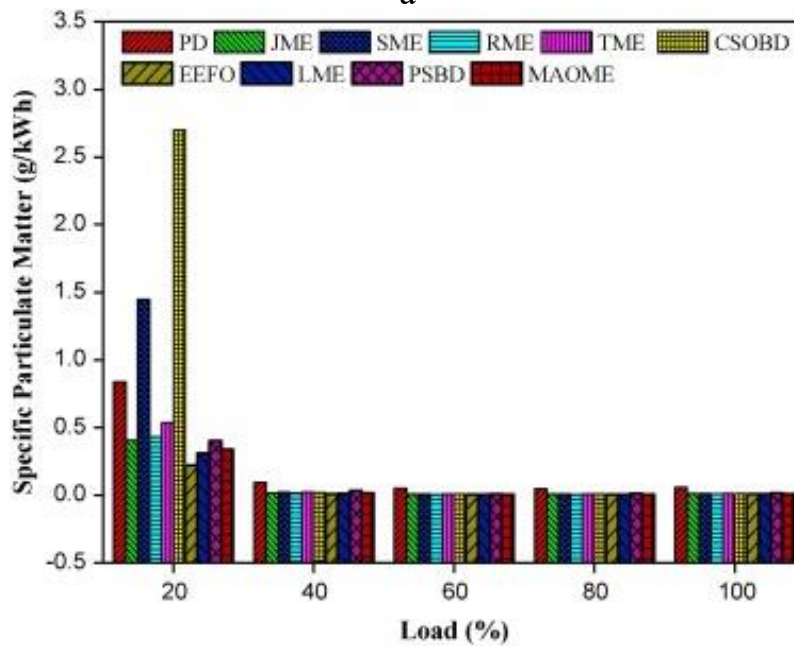
Образование сажи при использовании JME, SME, RME и LME было почти постоянным при нагрузке 40 и 60%. Образование сажи постепенно увеличивалось на 80% и при полной нагрузке для JME и PSBD. Для RME – метилового эфира рапса – скорость образования сажи в зависимости от нагрузки составляет 0,449 (1/градус), снижение – 0,84 (1/градус) или на 43,97% по сравнению с работой на ДТ.

Основной фактор удельного выброса твердых частиц связан с неправильным сгоранием топлива в камере сгорания и использованием тяжелого смазочного масла [26]. На рисунке 2, б [26] показано изменение удельных выбросов твердых частиц в зависимости от нагрузки с использованием различных видов топлива для испытаний.





а



б

Рисунок 2 – Влияние применения биотоплив на:

а) изменение скорости образования сажи;

б) изменение содержания твердых частиц в зависимости от нагрузки

Анализ показал, что выброс твердых частиц при полной нагрузке двигателя составляет для дизельного топлива (PD) 0,0572 г/кВт·ч, метилового



эфира ятрофы (JME) – 0,01217 г/кВт·ч, соевого метилового эфиар (SME) – 0,01139 г/кВт·ч, метилового эфира рапса (RME) – 0,00888 г/кВт·ч, жирного метилового эфира (TME) – 0,01284 г/кВт·ч, масла семян хлопка (CSOBD) – 0,01199 г/кВт·ч, этилового эфира рыбьего жира (EEFO) – 0,00688 г/кВт·ч, метилового эфира льняного семени (LME) – 0,00981 г/кВт·ч, PSBD – 0,0149 г/кВт·ч и метиловых эфиров масла микроводорослей (MOABD) – 0,00846 г/кВт·ч.

Для RME удельный выброс твердых частиц в зависимости от полной нагрузки составляет 0,00888 г/кВт·ч, снижение – 0,0484 г/кВт·ч, или на 84,47% по сравнению с работой на ДТ.

Большая часть авторов в своих работах также сообщали о заметном снижении выбросов ТЧ и дымности ОГ дизелей с увеличением содержания биодизеля и замещении дизельного топлива [27-31].

Данные о выбросах ТЧ, собранные в результате ряда лабораторных исследований, были использованы ЕРА [32] для корректировки уравнения, применение которого обеспечивает максимальное сокращение выбросов ТЧ почти на 50% для чистого биодизельного топлива (рисунок 3).

Krahl et al. [33] подтвердили эту общую тенденцию исследований биодизельного топлива из рапсового масла. Однако они заметили, что сокращение выбросов ТЧ было ниже (или не было значительного сокращения) в двигателях большой мощности, чем в двигателях малой мощности (сокращение на 20-40%), а максимальное сокращение (около 40%) было достигнуто в случае двигателей с непрямым впрыском.

Во многих исследованиях сообщалось о сокращении выбросов в том же порядке либо по измерениям выбросов ТЧ [28], либо по измерениям дымности ОГ дизелей [34, 35]. Другие авторы обнаружили даже более высокие сокращения выбросов ТЧ при использовании биодизеля. Среди исследований, собранных в работе [36], приводятся данные, что сокращение до 70% может



быть обнаружено при использовании чистого биодизельного топлива и до 45% при использовании смесей 60% биодизеля. Также сообщалось о значительном сокращении выбросов ТЧ на 75% [37] и 91% [38]. Сокращение выбросов ТЧ было показано в целом, как более эффективное при более низких концентрациях биодизеля в смесях, что согласуется с формулой [32].

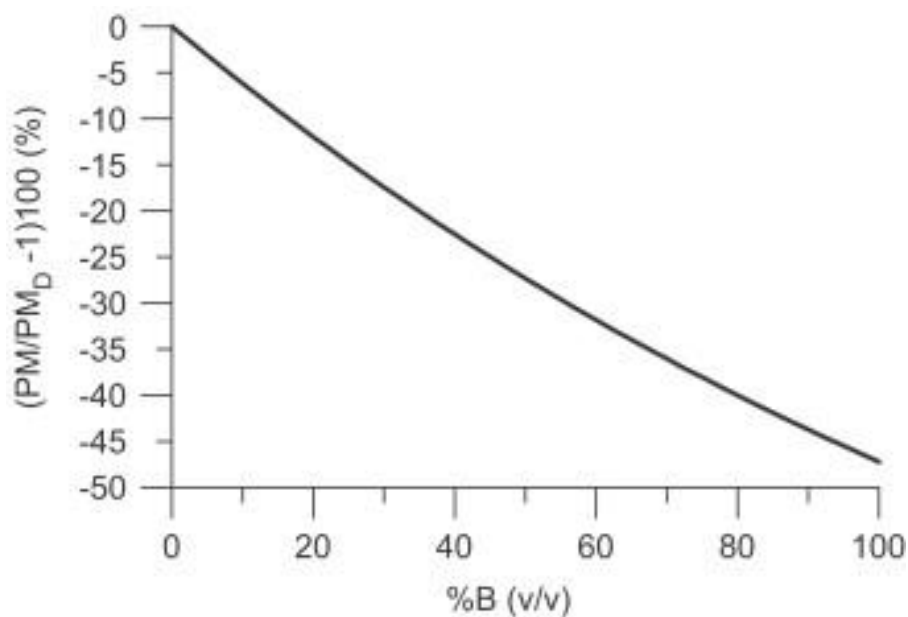


Рисунок 3 – Среднее сокращение выбросов ТЧ по мере увеличения содержания биодизельного топлива (тенденция, полученная из [32] для двигателей большой мощности без системы рециркуляции отработавших газов или системы нейтрализации выхлопных газов)

Другие авторы изучали влияние биодизеля на выбросы ТЧ вместе с другими параметрами, такими как условия нагрузки, качество дизельного топлива, используемого для смешивания, тип двигателя или даже рабочая температура. Leung et al. [39] в своих исследованиях протестировали свой одноцилиндровый двигатель с дизельным топливом и чистым биодизелем из рапсового масла при различных условиях нагрузки и обнаружили большее снижение для биодизеля в режимах работы с высокими нагрузками. Авторы объяснили эту тенденцию тем, что частицы в основном образуются во время



диффузионного горения, а при высокой нагрузке большая часть процесса сгорания является диффузионным, а это означает, что содержание кислорода в биодизеле может оказаться более эффективным для снижения ТЧ.

Имеются работы по применению МЭРМ для снижения токсичности и дымности ОГ дизелей и в ряде научных организаций Российской Федерации, число которых постоянно увеличивается [40-52].

Так, в МГТУ им. Н. Э. Баумана были проведены оптимизационные расчеты состава смесевых топлив на основе МЭРМ для дизельного двигателя типа Д-245.12С [40]. Было установлено, что среди исследуемых смесевых биотоплив наилучшими экологическими характеристиками обладает смесь, содержащая 60% нефтяного дизельного топлива и 40% метилового эфира рапсового масла. При таком замещении ДТ в данной работе удалось снизить содержание основных токсичных компонентов в ОГ дизеля:  $\text{NO}_x$ , СО, СН, а также сажи. Единственным недостатком стало увеличение расхода топлива на всех режимах работы. Однако такой рост расхода топлива обусловлен лишь меньшим значением низшей теплоты сгорания метилового эфира по сравнению с ДТ. Поэтому данный показатель не может в полной мере характеризовать процесс сгорания в цилиндре двигателя. Основным критерием эффективности рабочего процесса остается эффективный КПД, который для рабочего процесса на смесевых биотопливах достигает 34,2% [51].

В Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова на кафедре двигателей внутреннего сгорания проводились исследования дизеля с применением в качестве топлива рапсового масла и его метилового эфира [5050]. Объектом исследований был выбран одноцилиндровый двигатель УК-2. Во время испытаний рапсовое масло и метиловый эфир рапсового масла использовались как в чистом виде, так и в смеси с ДТ. В данной работе следует отметить, что применение рапсового масла и его эфира приводит к росту расхода топлива. Причем наибольшее



увеличение расхода наблюдается при работе на чистом рапсовом масле, которое достигает 30% на больших нагрузках. Авторы связывают такое увеличение расхода топлива со значительно большей вязкостью рапсового масла.

Авторы в работе [46] исследовали впрыскивание ДТ и рапсового масла, предварительно нагретого до 90°C. Исследовалось влияние отличительных физико-химических свойств рапсового масла на процесс топливоподачи и распыливания. В результате были сделаны выводы, что из-за повышенной вязкости рапсового масла наблюдаются некоторые увеличения давления впрыска, сам момент впрыска запаздывает по сравнению с впрыском ДТ на 1°-3° п.к.в., увеличивается цикловая подача. Отмечалось, что из-за повышенного поверхностного натяжения возрастает длина факела впрыскиваемого топлива, ухудшается мелкодисперсность и процесс смесеобразования, и капельки рапсового масла оседают на поверхностях деталей камеры сгорания полностью не сгорая. Тем самым при работе на рапсовом масле наблюдается повышенный износ ЦПГ. Попадая в камеру, рапсовое масло полимеризуется, ухудшая работу смазочной системы.

Следует также отметить, что применение растительных топлив согласно работе [45] позволит снизить содержание в ОГ двигателя основных токсичных компонентов: CO, NO<sub>x</sub>, CH и сажи, а также позволит полностью исключить необходимость применения нефтяного ДТ.

В любом случае сокращение выбросов ТЧ и дымности ОГ с помощью биодизеля предоставляет интересную возможность улучшить экологические показатели дизелей и заменить нефтяное топливо на альтернативное.

Выводы. Биодизельное топливо следует рассматривать как часть решения проблемы снижения выбросов сажи в двигателях внутреннего сгорания. Применение метилового эфира рапсового масла на различных частотах вращения и нагрузках влияет на дымность отработавших газов дизельных





двигателей при различных пропорциях биодизеля. Исследования показали, что в большинстве случаев дымность ОГ, образующаяся при сгорании ДТ, выше, чем дымность при работе на смесях, содержащих компоненты биотоплива.

При переходе на альтернативное топливо (рапсовое масло или МЭРМ) показатели экономичности дизельных двигателей несколько ухудшаются, что обусловлено физико-химическими свойствами топлив. Причем данные показатели снижаются на чистом рапсовом масле более существенно, чем на эфире в сравнении с ДТ, поэтому применение эфиров растительных масел предпочтительней, чем чистого рапсового масла. Кроме того, следует учитывать влияние альтернативных топлив не только на процесс сгорания в дизеле, но и на процесс топливоподачи и распыливания.

Экспериментальные результаты показали, что применение растительных топлив позволяет снизить содержание в ОГ двигателя основных токсичных компонентов: CO, NO<sub>x</sub>, CH и сажи, а также позволит полностью исключить необходимость применения нефтяного ДТ.

#### Список источников

1. Лиханов В. А., Сайкин А. М. Снижение токсичности автотракторных дизелей. М. : Агропромиздат, 1991. 208 с. ISBN 5-10-000789-3. EDN XAQVSV.
2. Лиханов В. А., Сайкин А. М. Снижение токсичности автотракторных дизелей : монография. 2-е изд., испр. и доп. М.: Колос, 1994. 224 с.
3. Применение метанола и метилового эфира рапсового масла в дизеле / В. А. Лиханов, О. П. Лопатин, В. Н. Копчиков [и др.]. Киров : ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, 2023. 292 с. ISBN 978\_5\_6048477\_3\_2. EDN XCGZJA.
4. Лиханов В. А., Копчиков В. Н., Фоминых А. В. Применение метанола и метилового эфира рапсового масла для работы дизеля 2Ч 10,5/12,0. Киров : ВГАТУ, 2017. 226 с. ISBN 978-5-9909914-1-5. EDN YQVAEJ.



5. Лиханов В. А., Фоминых А. В. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле и метиловом эфире рапсового масла с двойной системой топливоподачи : монография / под общ. ред. В. А.Лиханова ; Вятская ГСХА. – Киров : ВГСХА, 2016. 138 с. –ISBN 978-5-9907854-9-6. EDN WTDLNB.
6. Лиханов В. А., Копчиков В. Н. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле и метиловом эфире рапсового масла с двойной системой топливоподачи путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах : монография. Киров : ВГСХА, 2016. 143 с. ISBN 978-5-9907854-8-9. EDN WSZSKB.
7. Лиханов В. А. Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения метанола. Киров : Вятская ГСХА, 2001. 212 с.
8. Гуцин С. Н., Лиханов В. А. Исследование рабочих процессов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле-топливной эмульсии: монография / под общ. ред. В. А. Лиханова. Киров : Вятская ГСХА, 2006. 120 с.
9. Лиханов В. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2007. № 3. С. 8-11.
10. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле / В. А. Лиханов [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2007. № 4. С. 10-13.
11. Лиханов В. А., Глухов А. А. Снижение дымности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: монография / под общ. ред. В. А. Лиханова. Киров : Вятская ГСХА, 2008. 139 с.



12. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: монография / В. А. Лиханов, А. Н. Чувашев, А. А. Анфилатов, А. А. Глухов // под общ. ред. В. А. Лиханова. Киров : Вятская ГСХА, 2009. 334 с.
13. Лиханов В. А., Торопов А.Е. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на метаноле-топливной эмульсии путем снижения дымности отработавших газов : монография // под общ. ред. В. А. Лиханова ; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, ФГОУ ВПО «Вят. гос. с.-х. акад.». -Киров : Вят. ГСХА, 2010. 141 с.
14. Лиханов В. А., Романов С. А., Торопов А. Е. Исследование рабочего процесса и улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на метаноле-топливной эмульсии : монография // под общ. ред. В. А. Лиханова ; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, ФГОУ ВПО «Вят. гос. с.-х. акад.». Киров : Вят. ГСХА, 2011. 237 с.
15. Лиханов В. А., Юрлов А. С. Улучшение экологических показателей быстроходного дизеля снижением дымности отработавших газов при работе на альтернативных топливах. Киров : Вятский ГАТУ, 2021. 180 с. ISBN 978-5-6045024-6-4. EDN TYGUPA.
16. Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование показателей рабочего процесса быстроходного малоразмерного дизеля при работе на этаноле и рапсовом масле // Двигателестроение. 2022. № 2 (288). С. 61-71. DOI 10.18698/jec.2022.2.61-71. –EDN КАЕРУО.
17. Лиханов В. А., Россохин А. В. Физико-химические свойства, морфология, структура и реакционная способность частиц сажи отработавших газов дизелей // Двигателестроение. 2022. № 3 (289). С. 64-69. DOI 10.18698/jec.2022.3.64-69. EDN XLTYRR.
18. Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование токсичности дизельного двигателя при работе на различных альтернативных топливах //



Двигателестроение. 2023. № 2 (292). С. 54-61. DOI 10.18698/jec.2023.2.54-61. EDN RYGLTT.

19. Лиханов В. А., Козлов А. Н. Моделирование сажевыделения в дизельном двигателе // Двигателестроение. 2023. № 3 (293). С. 51-60. <https://doi.org/10.18698/jec.2023.3.51-60>.
20. Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процесса сгорания в тракторном дизеле при работе на спирте и растительном масле // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90. № 3. С. 191-200. <https://doi.org/10.17816/0321-4443-320931>.
21. Лиханов В. А., Копчиков В. Н., Фоминых А. В. Применение метанола и метилового эфира рапсового масла для работы дизеля 2Ч 10,5/12,0. Киров : ВГСХА, 2017. 226 с. ISBN 978-5-9909914-1-5. EDN YQVAEJ.
22. Rolf D. Directions in internal combustion engine research // Combust Flame , 160 (2013), pp. 1-8.
23. Sharon H., Ram P., Fernando K., Murali S., Muthusamy R. Fueling a stationary direct injection diesel engine with diesel-used palm oil-butanol blends-An experimental study // Energy Conversion Manag, 73 (2013), pp. 95-105.
24. Varatharajan K. , Cheralathan M. Influence of fuel properties and composition on NOx emissions from biodiesel powered diesel engines: a review // Renew Sustain Energy Rev, 16 (2012), pp. 3702-3710.
25. Labeckas G., Slavinskas S. The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection Diesel engine performance and exhaust emissions // Energy Conversion and Management Volume 47, Issues 13–14, August 2006, pp. 1954-1967.
26. Rajak U., Nashine P., Subhaschandra Singh T., Nath Vermaa T. Numerical investigation of performance, combustion and emission characteristics of various biofuels // Energy Conversion and Management. Volume 156, 15



<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.11.017>Get rights and content.

27. Lapuerta M., Armas O., Rodríguez-Fernández J. Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions // *Progress in Energy and Combustion Science*. Volume 34, Issue 2, April 2008, pp. 198-223. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2007.07.001> Get rights and content.
28. Lapuerta M, Armas O, Ballesteros R. Diesel particulate emissions from biofuels derived from Spanish vegetable oils // *SAE paper 2002*, 2002-01-1657.
29. Monyem A, Van Gerpen JH. The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions // *Biomass Bioenergy* 2001;20:317–25.
30. W.G. Wang, D.W. Lyons, N.N. Clark, M. Gautam, P.M. Norton Emissions from nine heavy trucks fuelled by diesel and biodiesel blend without engine modification // *Environ Sci Technol*, 34 (6) (2000), pp. 933-939.
31. M. Cardone, M.V. Prati, V. Rocco, M. Seggiani, A. Senatore, S. Vitolo Brassica Carinata as an alternative oil crop for the production of biodiesel in Italy: engine performance and regulated and unregulated exhaust emissions // *Environ Sci Technol*, 36 (21) (2002), pp. 4656-4662.
32. Assessment and Standards Division (Office of Transportation and Air Quality of the US Environmental Protection Agency) // *A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions*, 2002; EPA 420-P-02-001.
33. Krahl J, Munack A, Bahadir M, Schumacher L, Elser N. Review: utilization of rapeseed oil, rapeseed oil methyl ester or diesel fuel: exhaust gas emissions and estimation of environmental effects // *SAE paper 1996*, 962096.
34. Hansen KF, Jensen MG. Chemical and biological characteristics of exhaust emissions from a DI diesel engine fuelled with rapeseed oil methyl ester (RME). *SAE paper 1997*, 971689.



35. Hamasaki K, Kinoshita E, Tajima H, Takasaki K, Morita D. Combustion characteristics of diesel engines with waste vegetable oil methyl ester. In: The 5th international symposium on diagnostics and modeling of combustion in internal combustion engines, 2001 (COMODIA 2001).
36. Handbook of biodiesel: emissions reductions with biodiesel, 1999. Available on line: <http://www.cytoculture.com/Biodiesel%20Handbook.htm> .
37. Camden Council (Australia). Camdem Council Biodiesel Truck Trial 2005; Final report. Available on line: [www.camden.nsw.gov.au/files/camden\\_council\\_biodiesel\\_final\\_report\\_march2005a.pdf](http://www.camden.nsw.gov.au/files/camden_council_biodiesel_final_report_march2005a.pdf).
38. N.Y. Kado, P.A. Kuzmicky Bioassay analyses of particulate matter from a diesel bus engine using various biodiesel feedstock fuels // National Renewable Energy Laboratory (2003) NREL/SR-510-31463.
39. D.Y.C. Leung, Y. Luo, T.L. Chan Optimization of exhaust emissions of a diesel engine fuelled with biodiesel // Energy Fuels (2006), 10.1021/ef050383s.
40. Марков В. А., Шустер А. Ю., Девянин С. Н. Работа дизелей на смесях дизельного топлива и метилового эфира рапсового масла // Транспорт на альтернативном топливе. 2009. № 4 (10). С. 33-37.
41. Марков В. А., Зенин А. А., Девянин С. Н. Работа транспортного дизеля на смеси дизельного топлива и метилового эфира рапсового масла // Турбины и дизели. 2009. № 3. С. 14-19.
42. Оптимизация состава смесевых биотоплив на основе растительных масел для дизельных двигателей / В.А. Марков [и др.] // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 10. Инновационная деятельность. 2014. № 4 (13). С. 86-98.
43. Гусаков С. В., Марков В. А., Вальехо Мальдонадо П. Р. Исследование влияния физических свойств рапсового масла на протекание процессов смесеобразования в быстроходном дизеле // Грузовик. 2008. № 12. С. 31- 36.



44. Гусаков С. В. Перспективы применения в дизелях альтернативных топлив из возобновляемых источников : учеб. пособие. М. : РУДН, 2008. 288 с.
45. Девянин С. Н., Марков В. А., Семенов В. Г. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей. Харьков : Новое слово, 2007. -452 с.
46. Жосан А. А., Рыжов Ю. Н., Курочкин А. А. Впрыск и горение рапсового масла и дизельного топлива в современных дизелях // Вестник Орловского ГАУ. Орел : Орел ГАУ, 2012. № 1. Т. 34. С. 130-132.
47. Иващенко Н. А., Марков В. А., Ефанов А. А. Рапсовое масло и дизеля с разделенной камерой сгорания // Автомобильная промышленность. 2007. № 11. С. 10-13.
48. Лиханов В. А., Козлов А. Н., Арасланов М. И. Работа дизеля на этаноле и рапсовом масле : монография / М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, ФГБОУ ВО «Вят. гос. с.-х. акад.», Каф. тепловых двигателей, автомобилей и тракторов. Киров : Вятская ГСХА, 2018. 172 с. Библиогр.: с. 152-172. ISBN 978-5-6040852-5-7.
49. Лиханов В. А., Козлов А. Н. Моделирование сажевыделения в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на альтернативных топливах : монография / М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, ФГБОУ ВО "Вят. гос. с.-х. акад.", Каф. тепловых двигателей, автомобилей и тракторов. Киров : Вят. ГСХА, 2019. 157 с. Библиогр.: с. 137-157.
50. Применение топлива на основе рапсового масла в дизелях / Д. Д. Матиевский [и др.] // Ползуновский вестник. 2006. № 4. С. 118-127.
51. Марков В. А., Баширов Р. М., Габитов И. И. Токсичность отработавших газов дизелей. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 376 с.
52. Лиханов В. А., Козлов А. Н. Снижение дымности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на рапсовом масле и этаноле с двойной системой топливоподачи. Киров : ВГСХА, 2017. 134 с. EDN ZDPXGR.

