Оригинальное исследование
DOI: https://doi.org/10.17816/0321-4443-631489 EDN: GNYPWD

Возможность уменьшения техногенной нагрузки дизельного двигателя на окружающую среду путём изменения степени сжатия

А.А. Мельберт, Е.А. Машенская, А.Ю. Калин, И.С. Литвиненко

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Сельскохозяйственное производство является источником загрязнения окружающей среды, поэтому решение проблемы снижения вредных выбросов с отработавшими газами дизелей, применяемыми в АПК, является важной и актуальной. Вопреки всем прогнозам применение экологически чистых двигателей, способных составить конкуренцию поршневым двигателям, ограничено в сельскохозяйственном производстве.

Исследование направлено на решении одной из ключевых задач современности — снижение техногенной нагрузки от вредных выбросов дизельных двигателей на окружающую среду путём изменения степени сжатия.

Цель работы — поиск способов уменьшения техногенной нагрузки на окружающую среду от вредных выбросов дизелей мобильных машин путём изменения степени сжатия.

Материалы и методы. Экспериментальные данные были получены при стендовых испытаниях дизеля 4ЧН 15/18 по ГОСТ 14846-2020. Методы испытаний соответствовали ГОСТ 10448-2014. По программе испытаний отбирались отработавшие газы дизеля, проводился анализ их состава и дисперсности твердых частиц при степенях сжатия ε = 13,5...14,5...15,5 по нагрузочной характеристике при 1900 мин$^{-1}$.

Результаты. Обнаружено, что увеличение степени сжатия с 13,5 до 15,5 привело к снижению выбросов с отработавшими газами твердых частиц (ТЧ), углеводородов (C_xH_y) и оксида углерода (CO), однако по всей нагрузочной характеристике от P_e=0 до P_e=1,24 МПа при 1900 мин$^{-1}$ выбросы оксидов азота (NO_x) увеличились. При снижении ε до 13,5 техногенная нагрузка на окружающую среду уменьшилась в 1,15 раза.

Заключение. Степень сжатия может быть принята за регулируемый параметр при решении задач снижения выбросов оксидов азота с отработавшими газами и незначительно влияет на изменение выбросов ТЧ и CO. При уменьшении степени сжатия с 14,5 до 13,5 техногенная нагрузка на окружающую среду снижается в 1,15 раз. Для получения лучших результатов рекомендовано применение комплексных методов, например, одновременное изменение степени сжатия и каталитической нейтрализации.

Ключевые слова: техногенная нагрузка; степень сжатия; дизельный двигатель; окружающая среда; отработавшие газы.

Как цитировать:
Мельберт А.А., Машенская Е.А., Калин А.Ю., Литвиненко И.С. Возможность уменьшения техногенной нагрузки дизельного двигателя на окружающую среду путём изменения степени сжатия // Тракторы и сельхозмашины. 2025. Т. 92, № 1. С. 5–9. DOI: 10.17816/0321-4443-631489 EDN: GNYPWD

Рукопись получена: 01.05.2024 **Рукопись одобрена:** 20.01.2025 **Опубликована online:** 29.01.2025

Все права защищены
© Эко-Вектор, 2025

Original Study Article

DOI: https://doi.org/10.17816/0321-4443-631489 EDN: GNYPWD

Possibility of reduction of the environmental impact of a diesel engine by means of changing the compression ratio

Alla A. Melbert, Ekaterina A. Mashenskaya, Alexander Yu. Kalin, Ilya S. Litvinenko

Altay State Technical University named after I.I. Polzunov, Barnaul, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Agricultural production is a source of environmental pollution, therefore, solving the problem of reducing harmful emissions from diesel exhaust gases used in agriculture is important and relevant. Contrary to all forecasts, the use of environmentally friendly engines capable of competing with piston engines is limited in agricultural production. The study is aimed at solving one of the key problems of the present time — reducing the environmental impact from harmful emissions of diesel engines by means of changing the compression ratio.

AIM: Search for ways to reduce the environmental impact of diesel engines by means of changing the compression ratio.

METHODS: The experimental data were obtained during bench tests of the 4ChN 15/18 diesel engine according to the GOST 14846-2020. The test methods were in accordance with the GOST 10448-2014. According to the test program, diesel exhaust gases were selected, their composition and dispersion of solid particles were analyzed at compression ratios ε = 13.5...14.5 ...15.5 and the load curve at 1900 rpm.

RESULTS: It was found that an increase in the compression ratio from 13.5 to 15.5 led to a decrease in emissions of solid particles (SP), hydrocarbons (C_xH_y) and carbon monoxide (CO) with exhaust gases, however, emissions of nitrogen oxides (NO_x) increased through the entire load curve from P_e = 0 MPa to P_e = 1.24 MPa at 1900 rpm,. With a decrease of ε to 13.5, the environmental impact decreased by 1.15 times.

CONCLUSION: The compression ratio can be considered as an adjustable parameter when solving problems of reducing emissions of nitrogen oxides from exhaust gases and has little effect on changes in SP and CO emissions. When the compression ratio is reduced from 14.5 to 13.5, the environmental impact is reduced by 1.15 times. To obtain the best results, it is recommended to use complex methods, for example, simultaneous changes of the compression ratio and catalytic neutralization.

Keywords: environmental impact; compression ratio; diesel engine; environment; exhaust gases.

To cite this article:
Melbert AA, Mashenskaya EA, Kalin AYu, Litvinenko IS. Possibility of reduction of the environmental impact of a diesel engine by means of changing the compression ratio. *Tractors and Agricultural Machinery.* 2025;92(1):5–9. DOI: 10.17816/0321-4443-631489 EDN: GNYPWD

Received: 01.05.2024 **Accepted:** 20.01.2025 **Published online:** 29.01.2025

moscow polytech
All rights reserved
© Eco-Vector, 2025
ECO•VECTOR

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодный рост количества мобильных машин и энергетических установок с дизельными двигателями во много раз опережает темпы улучшения их экологических качеств [1]. Вопреки всем прогнозам, в настоящее время применение экологически чистых двигателей, способных составить конкуренцию поршневым двигателям, ограничено в сельскохозяйственном производстве. В то же самое время, сельскохозяйственное производство само по себе является источником загрязнения воздуха, в связи с чем решение проблемы снижения вредных выбросов с отработавшими газами ДВС, применяющихся в АПК, является одним из эффективных методов снижения техногенной нагрузки на окружающую среду [2, 3].

Мировые стандарты на вредные выбросы с отработавшими газами ДВС постоянно становятся жёстче. Это свидетельствует о всё более усложняющемся их выполнении. Поэтому разработка и применение новых технических средств в решении вопроса уменьшения техногенной нагрузки является перспективным и актуальным направлением [1–12].

Возможности снижения токсичности отработавших газов дизеля путем изменения степени сжатия использованы большинством фирм и отмечены рядом исследователей [1, 4–12].

Цель работы — поиск способов уменьшения техногенной нагрузки на окружающую среду от вредных выбросов дизелей мобильных машин путём изменения степени сжатия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящей работе конкретно описаны экспериментальные данные, полученные при стендовых испытаниях дизеля 4ЧН 15/18(БМ-4). Стенды были оборудованы по ГОСТ 14846-2020. Дизели были собраны согласно общим техническим условиям по ГОСТ 10150-2014. Методы испытаний соответствовали ГОСТ 10448-2014.

Условия испытаний: номинальная (эффективная) мощность N_e=250 кВт, частота оборотов коленчатого вала n=1900 мин$^{-1}$, удельный эффективный расход топлива g_e=224 г/кВт·ч, угар масла Δm=0,29%. температура окружающей среды T_0=290...292 К, атмосферное давление P_0=0,100...0,101 МПа, относительная влажность воздуха φ_0=80...83%. В эксперименте использовали дизельное топливо по ГОСТ 305-2013, марка Л-0,2-40, и моторное масло по ГОСТ 6360-2020, марка МТ-16П.

Исследование выбросов вредных веществ (CO, C_xH_y, NO_x) проводили на газоанализаторе АВГ-4-0-5-01 по ГОСТ 31967-2012. Измерение дымности (с пересчётом на выбросы твёрдых частиц — ТЧ) по ГОСТ 24028-2013, на дымомере BOSCH [2, 3, 13].

Все измерения произведены на установившихся режимах (по ВСХ — по мощности, оборотам и по часовому расходу топлива).

По программе испытаний отбирались отработавшие газы дизеля, проводился анализ их состава и дисперсности твёрдых частиц при степенях сжатия ε=13,5...14,5...15,5 по нагрузочной характеристике при 1900 мин$^{-1}$. Все испытания при различных значениях ε были проведены предприятием-изготовителем дизелей.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате испытания было обнаружено, что увеличение степени сжатия ε с 13,5 до 15,5 приводит к снижению выбросов с отработавшими газами твердых частиц (ТЧ), углеводородов (C_xH_y) и оксида углерода (CO) (рис. 1). В то же время по всей нагрузочной характеристике от P_e=0 до P_e=1,24 МПа при 1900 мин$^{-1}$ возрастают выбросы оксидов азота (NO_x) (рис. 1, *a*). Этот результат можно объяснить тем, что при увеличении степени сжатия и неизменной цикловой подаче температура в цилиндре становится выше, положение Tmax сдвигается к ВМТ, в то время как вероятность окисления азота возрастает.

Изменение выбросов при увеличении степени сжатия объясняется тем, что полнота сгорания возрастает, период задержки воспламенения становится короче и время, отводимое на сгорание топлива, увеличивается в цикле. Выбросы твёрдых частиц (ТЧ) с отработавшими газами значительно сокращаются с 0,122 до 0,063 (при P_e=1,24 МПа и n=1900 мин$^{-1}$) или практически в два раза (см. рис. 1, *a*). Изменение выбросов C_xH_y представлено на рис. 1, *b*.

Рост ε приводит к более высокому прогреву заряда вблизи холодных стенок гильзы цилиндра, что повышает полноту сгорания.

В соответствии с поставленными задачами была изучена дисперсность ТЧ при изменении степени сжатия в цилиндрах (см. рис. 1, *c*).

Анализ данных табл. 1 показал, что при изменении степени сжатия с 13,5 до 15,5 оценочные показатели значительно изменяются: по оксидам азота — в 1,88 раза; по оксиду углерода — в 1,22 раза; по углеводородам — в 1,35 раза; по твёрдым частицам — в 1,15 раза.

Техногенная нагрузка на окружающую среду была рассчитана по методике, приведённой в [2, 3], и составила $H_{тн}$=78,31 ут/г при серийной комплектации при ε=13,5 и $H_{тн}$=90,4 ут/г при ε=14,5, что свидетельствовало об её снижении в 1,15 раза при уменьшении ε до 13,5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Степень сжатия может быть принята за регулируемый параметр при решении задач снижения выбросов оксидов азота с отработавшими газами;
2. Степень сжатия незначительно влияет на изменение выбросов ТЧ и CO.
3. При уменьшении степени сжатия с 14,5 до 13,5 техногенная нагрузка на окружающую среду снижается в 1,15 раз.
4. Снижения вредных выбросов с отработавшими газами дизелей до требуемых норм стандартов Stage и РФ можно достичь применением комплексных методов, например, одновременным изменением степени сжатия и установкой каталитического нейтрализатора или сажевого фильтра.

DOI: https://doi.org/10.17816/0321-4443-631489

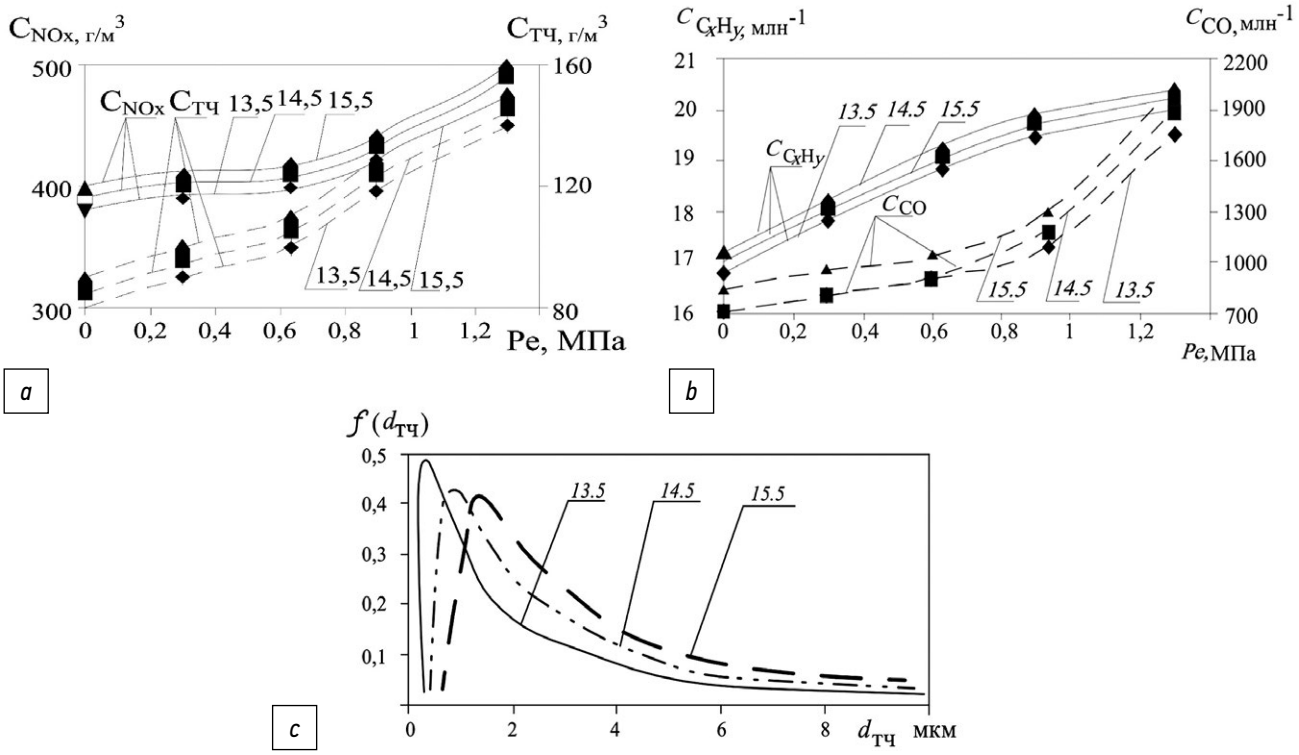

Рис. 1. Влияние степени сжатия на уровни вредных выбросов дизеля 4ЧН15/18 по нагрузочной характеристике при 1900 мин[1]: *a* — содержание оксидов азота (C_{NOx}) и твёрдых частиц ($C_{ТЧ}$) в отработавших газах при изменении степени сжатия ε с 13,5 до 15,5; *b* — содержание оксида углерода (C_{Co}) и углеводородов (C_{CxHy}) в отработавших газах при изменении степени сжатия ε с 13,5 до 15,5; *c* — дисперсность твёрдых частиц ($d_{ТЧ}$) при изменении степени сжатия ε с 13,5 до 15,5.

Fig. 1. Impact of the compression ratio on levels of harmful emissions of the 4ChN15/18 diesel engine at the load curve at 1900 rpm: *a* — the content of nitrogen oxides (C_{NOx}) and solid particles (C_{hm}) in the exhaust gases with a change in the compression ratio ε from 13.5 to 15.5; *b* — is the content of carbon monoxide (C_{Co}) and hydrocarbons (C_{CxHy}) in the exhaust gases when the compression ratio change from 13.5 to 15.5; *c* — is the dispersion of solid particles (d_{pm}) with a change in the compression ratio ε from 13.5 to 15.5.

Таблица 1. Влияние степени сжатия на величины оценочных показателей вредных выбросов дизеля 4ЧН 15/18

Table 1. Impact of the compression ratio on values of the indicators of harmful emissions of the 4ChN15/18 diesel engine

Оценочные показатели вредных выбросов	Значение оценочных показателей, г/(кВт·ч)								Кратность превышения допустимых оценочных показателей по стандартам: Stage 2/3a/3b/4/РФ при ε = 14,5
	Допустимые стандартами					Действительные при степени сжатия, ε			
	Stage 2	Stage 3a	Stage 3b	Stage 4	для РФ (с 2021 г.)	13,5	14,5	15,5	
$q_{ОЦ\ NO_x}$	6,00	4,0	2,00	0,40	6,00	9,75	11,30	18,35	1,88/2,83/5,65/28,3/1,88
$q_{ОЦ\ CO}$	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	11,60	10,50	9,50	3/3/3/3/3
$q_{ОЦ\ C_xH_y}$	1,00	1,00	0,19	0,19	0,40	1,82	1,70	1,34	1,7/1,7/8,95/ 8,95/4,25
$q_{ОЦ\ ТЧ}$	0,20	0,20	0,20	0,02	0,10	0,15	0,14	0,13	0,7/0,7/0,7/7/1,4

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. А.А. Мельберт — подготовка к испытаниям, обработка результатов исследования, написание текста рукописи; Е.А. Машенская — обзор литературы, проведение испытаний, обработка результатов исследования, редактирование текста рукописи; А.Ю. Калин — проведение испытаний, обработка результатов, И.С. Литвиненко — проведение испытаний, обработка результатов, редактирование текста рукописи, создание изображений. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Раскрытие интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источники финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions. A.A. Melbert — preparation to the tests, processing the study results; writing the text of the manuscript; E.A. Mashenskaya — literature review, conducting the test, processing the study results; editing the text of the manuscript; A.Yu. Kalin — conducting the tests, results processing; I.S. Litvinenko — conducting the test, results processing, editing the text of the manuscript, creating the figures. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Disclosure of interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding sources. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Novoselov AL, Melbert AA, Zhuikova AA. *Reduction of harmful diesel emissions.* Novosibirsk: Nauka; 2007. (In Russ.)

2. Melbert AA, Nguyen TH. Results of modeling the anthropogenic load on the environment from harmful emissions from diesel engines of mobile machines used in agricultural work. *Bulletin of the ASAU.* 2022;9:101–106. (In Russ.) doi: 1053083/1996-4277-2022-215-9-101-106

3. Nguyen TrH. Methods and means of ensuring environmental safety in the mechanization of industrial processes in agriculture [dissertation] Barnaul; 2023. (In Russ.) Accessed: 01.05.2024. Available from: https://vak.minobrnauki.gov.ru/advert/100072669

4. Zhegalin OI, Lupachev PD. *Reducing the toxicity of automobile engines.* Moscow: Transport; 1985. (In Russ.)

5. Etminan M, Myhre G, Highwood EJ, Shine KP. Radiative forcing of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide: A significant revision of the methane radiative forcing. *Geophysical Research Letters.* 2016;43(24)(12):12614–12623. doi: 10.1002/2016GL071930

6. Golovatenko AG. Improving the environmental friendliness and efficiency of automotive engines. *Tractors and agricultural machinery.* 2004;9:16–17. (In Russ.)

7. Strelnikov VA, Istomin SV, Tsyptsyn VI. Reduction of toxic emissions of tractor diesels. *Tractors and agricultural machinery.* 2003;10:6–8. (In Russ.)

8. Efros VV, Gorbunov PV. Improvement of environmental indicators of off-road diesel engines. *Izv. vuzov. Mechanical engineering.* 2007;8:25–27. (In Russ.)

9. Razleitsev NF. *Modeling and optimization of the combustion process in diesels.* Kharkiv: Higher School; 1980. (In Russ.) EDN: YJCMCF

10. Ladommatos N, Abdelhalim S, Zhao H. The Effects of Exhaust Gas Recirculation on Diesel Combustion and Emissions. *International Journal of Engine Research.* 2000;1:107–126. doi: 10.1243/1468087001545290

11. Badamasi M, Nura M, Gali HM. Diesel Engine Modification Techniques to Minimize its Exhaust Emission (Theoretical Survey). *International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering.* 2016;5(1):1–7.

12. Khazin ML. Environmental standards of the countries of the world for mining machinery and equipment. *Subsoil use.* 2020;20(3):291–300. (In Russ.) doi: 10.15593/2712-8008/2020.3.9

13. Melbert AA, Nguyen TrH, Mashensky AV. The use of fuel supply equipment with increased injection pressure to reduce the anthropogenic load on the environment. *Tractors and agricultural machinery.* 2022;89(5):325–331. (In Russ.) doi: 10.17816/0321-4443-108145

ОБ АВТОРАХ

*** Мельберт Алла Александровна,**
д-р техн. наук,
профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности»;
адрес: Россия, 656038, Барнаул, пр-кт Ленина, д. 46;
ORCID: 0000-0002-3973-8315;
eLibrary SPIN: 5949-5831;
e-mail: aamelbert@mail.ru

Машенская Екатерина Александровна,
соискатель, кафедра «Безопасность жизнедеятельности»;
ORCID: 0000-0003-3122-0412;
eLibrary SPIN: 8323-5725;
e-mail: suzuki468@mail.ru

Калин Александр Юрьевич,
канд. с.-х. наук,
доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности»;
ORCID: 0009-0005-2028-798X;
eLibrary SPIN: 6446-5236;
e-mail: aleksandr.aleksandr.74@bk.ru

Литвиненко Илья Сергеевич,
преподаватель кафедры «Безопасность жизнедеятельности»;
ORCID: 0009-0001-1213-4503;
eLibrary SPIN: 3516-0704;
e-mail: litvinenko.i.s@mail.ru

AUTHORS' INFO

*** Alla A. Melbert,**
Dr. Sci. (Engineering),
Professor of the Life Safety Department;
address: 46 Lenina ave, Barnaul, Russia, 656038;
ORCID: 0000-0002-3973-8315;
eLibrary SPIN: 5949-5831;
e-mail: aamelbert@mail.ru

Ekaterina A. Mashenskaya,
Applicant, Life Safety Department;
ORCID: 0000-0003-3122-0412;
eLibrary SPIN: 8323-5725
e-mail: suzuki468@mail.ru

Aleksander Yu. Kalin,
Cand. Sci. (Agriculture),
Associate Professor of the Life Safety Department;
ORCID: 0009-0005-2028-798X;
eLibrary SPIN: 6446-5236;
e-mail: aleksandr.aleksandr.74@bk.ru

Ilya S. Litvinenko,
Lecturer of the of the Life Safety Department;
ORCID: 0009-0001-1213-4503;
eLibrary SPIN: 3516-0704;
e-mail: litvinenko.i.s@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author