

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 531.43

doi: 10.30987/2782-5957-2025-9-46-51

ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА УЗЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ТОКСИЧНОСТИ

Александр Олегович Горленко^{1✉}, Елена Витальевна Лукашова², Сергей Петрович Шец³, Анастасия Юрьевна Кленичева⁴

^{1,2,3,4}Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

¹ bugi12@bk.ru

² leno4kachepikova@gmail.com

³ shetssp@mail.ru

⁴ klenicheva.anastasia@yandex.ru

Аннотация

Исследование параметров токсичности двигателей внутреннего сгорания играет ключевую роль как в области экологической безопасности, так и в развитии современного автомобилестроения. В статье ставится цель провести оценку уровня выбросов вредных веществ, образующихся при работе двигателей внутреннего сгорания с изношенными узлами цилиндро-поршневой группы, а также выявить основные факторы, влияющие на их токсичность. Основной задачей исследования является определение наиболее значимых параметров токсичности и разработка практических рекомендаций по их снижению. Для достижения поставленных целей применялись методы экспериментального тестирования газовых выбросов на специализированных стендах, а также анализ состава отработавших газов с использованием современных газоанализаторов. В работе проведена комплексная оценка

токсичности двигателей внутреннего сгорания в условиях, приближенных к реальной эксплуатации, с учётом таких факторов, как климатические условия, дорожные характеристики и состав топлива. В результате исследования установлено, что ключевыми факторами, влияющими на токсичность выбросов, являются режим работы двигателя, температура окружающей среды и состав используемого топлива. Результаты подтверждают необходимость оптимизации режима работы двигателя, применения высококачественного топлива и внедрения эффективных систем нейтрализации отработавших газов.

Ключевые слова: токсичность, двигатели внутреннего сгорания, выбросы, износ, углеводороды, оксиды азота, экспериментальные исследования.

Ссылка для цитирования:

Горленко А.О. Влияние износа узлов двигателей внутреннего сгорания на параметры токсичности / А.О. Горленко, Е.В. Лукашова, С.П. Шец, А.Ю. Кленичева // Транспортное машиностроение. – 2025. - № 9. – С.46-51. doi: 10.30987/2782-5957-2025-9-46-51.

Original article

Open Access Article

INFLUENCE OF WEAR OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE ASSEMBLIES ON TOXICITY PARAMETERS

Aleksandr Olegovich Gorlenko^{1✉}, Elena Vitalyevna Lukashova², Sergey Petrovich Shets³, Anastasia Yuryevna Klenicheva⁴

^{1,2,3,4}Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

¹ bugi12@bk.ru

² leno4kachepikova@gmail.com

³ shetssp@mail.ru

⁴ klenicheva.anastasia@yandex.ru

Abstract

The study of toxicity parameters of internal combustion engines plays a key role both in the field of environmental safety and in the development of modern automotive industry. The paper objective is to assess the level of emissions of harmful substances generated during the operation of internal combustion engines with worn-out cylinder-piston assemblies, as well as to identify the main factors affecting their toxicity. The main task of the study is to determine the most significant parameters of toxicity and develop practical recommendations for their reduction. To achieve these goals, methods of experimental testing of gas emissions at specialized test desks were used, as well as analysis of exhaust gas composition using modern gas

analyzers. The paper contains a comprehensive assessment of the toxicity of internal combustion engines in conditions close to real operation, taking into account such factors as climatic conditions, road characteristics and fuel composition. As a result of the study, it is found that the key factors influencing the toxicity of emissions are the engine operating mode, ambient temperature and the composition of the fuel used. The results confirm the need to optimize engine operation, to use high-quality fuel, and to implement effective exhaust gas neutralization systems.

Keywords: toxicity, internal combustion engines, emissions, wear, hydrocarbons, nitrogen oxides, experimental studies.

Reference for citing:

Gorlenko AO, Lukashova EV, Shets SP, Klenicheva AYu. Influence of wear of internal combustion engine assemblies on toxicity parameters. *Transport Engineering*. 2025;9:46-51. doi: 10.30987/2782-5957-2025-9-46-51.

Введение

Автомобильный транспорт занимает лидирующую позицию среди всех видов транспорта в России, как по объёму грузоперевозок, так и по пассажироперевозкам. По данным Федеральной службы государственной статистики, на автотранспорт приходится около 68% общего грузооборота и 72% пассажирооборота. Автомобильный транспорт является основным источником выбросов оксида углерода (CO), углеводородов (CH) и оксидов азота (NOx). В мировом масштабе ежегодные выбросы оксида углерода достигают 350 миллионов тонн, углеводородов – более 50 миллионов тонн, а диоксида серы – 150 миллионов тонн [1, 2]. Эти вещества способствуют накоплению углекислого газа (CO₂) в атмосфере и снижению концентрации кислорода, что приводит к изменению климата и ухудшению здоровья населения. Проблема токсичности выбросов двигателей внутреннего сгорания остаётся одной из самых актуальных в условиях стремительного роста автопарка. Одной из причин увеличения вредных выбросов двигателей внутреннего сгорания является износ поршневой группы, в частности поршневых колец, цилиндров и др [3, 4].

Решение проблемы токсичности выбросов ДВС требует комплексного подхода. Основные направления включают совершенствование технологий сгорания топлива, внедрение систем нейтрализации отработавших газов, развитие альтернативных видов топлива, увеличение износостойкости деталей узлов поршневой группы. Современные технологии, такие как катализаторы и фильтры твёрдых частиц, а также оптимизация процессов сгорания топлива, доказали свою эффективность в снижении выбросов вредных веществ. Однако большинство исследований ориентировано на лабораторные условия, что подчёркивает необходимость изучения параметров токсичности двигателей внутреннего сгорания в реальных городских условиях.

Целью настоящей статьи является анализ параметров выбросов вредных веществ двигателей внутреннего сгорания с учётом различных режимов работы, состава топлива, климатических факторов, изношенности узлов трения, а также разработка рекомендаций по снижению их токсичности в условиях городской среды.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовались изношенные бензиновые двигатели мощностью 50...100 кВт. На начальном этапе осуществлялась подго-

товка двигателей и установка газоанализаторов для измерения состава отработавших газов. Двигатели испытывались при следующих режимах работы: холостой ход,

частичная нагрузка, полная нагрузка. В процессе испытаний оценивалось влияние температуры окружающей среды (от минус 10 °С до плюс 30 °С) и состава топлива (различное содержание серы и октанового числа). Для измерений токсичности при-

менялись газоанализаторы *AVL DiGas 4000*, фиксирующие концентрации CO, CO₂, NO_x, CH и сажи. Обработка данных велась в специализированных программных пакетах.

Результаты и их обсуждение

В процессе эксперимента были собраны и проанализированы данные о токсичности выбросов двигателей внутреннего сгорания (ДВС) при различных условиях эксплуатации. Основное внимание уделялось влиянию режима работы двигателя, степени износа деталей двигателя, температуры окружающей среды и состава топлива на концентрацию вредных веществ в отработавших газах [1].

В результате испытаний установлено, что значительное влияние на концентрацию вредных выбросов оказывает режим работы двигателя. Наибольшие значения вредных выбросов были у таких веществ, как угарный газ (CO), углеводороды (CH), оксиды азота (NO_x). В табл. 1 приведены средние значения концентрации вредных веществ в зависимости от режима работы двигателя [4].

Таблица 1

Концентрация выбросов вредных веществ (мг/м³)
в зависимости от режима работы двигателя

Table 1

Concentration of emissions of harmful substances (mg/m³) depending on the operating mode of the engine

Режим работы двигателя	CO (мг/м ³)	CH (мг/м ³)	NO _x (мг/м ³)
Холостой ход	950	180	50
Частичная нагрузка	600	120	150
Полная нагрузка	300	80	250

При испытаниях на холостом ходу концентрация угарного газа (CO) достигала максимального значения – около 950 мг/м³, что связано с неэффективным сгоранием топлива при низкой нагрузке. Углеводороды (CH) также регистрировались на высоком уровне – около 180 мг/м³, так как часть топлива не успевает полностью сгореть. Выбросы NO_x при этом режиме минимальны и составляют 50 мг/м³. Это можно объяснить невысокой температурой в камере сгорания [5] или износом цилиндро-поршневой группы.

Испытания в режиме частичной нагрузки показали, что при увеличении нагрузки концентрация CO и CH снижалась до 600 мг/м³ и 120 мг/м³ соответственно, так как процессы сгорания становились более эффективными. Однако вы-

бросы NO_x возросли до 150 мг/м³, что может быть связано с увеличением температуры в камере сгорания.

На полной нагрузке выбросы CO и CH были минимальными (соответственно 300 мг/м³ и 80 мг/м³), что обусловлено максимальной эффективностью сгорания топлива. Однако выбросы NO_x достигли максимума – 250 мг/м³, так как высокая температура и протекание масла через изношенные уплотнения способствуют образованию оксидов азота.

Анализ токсичности выбросов при различных температурах окружающей среды показал, что низкие температуры негативно влияют на эффективность сгорания топлива, что приводит к увеличению концентрации вредных веществ. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2
Влияние температуры окружающей среды на концентрацию вредных веществ (мг/м³)

Table 2

Influence of ambient temperature on the concentration of harmful substances (mg/m³)

Температура окружающей среды (°C)	СО (мг/м ³)	СН (мг/м ³)	NOx (мг/м ³)
-10	1100	220	40
0	950	180	50
+20	600	120	150
+30	500	100	200

При температуре -10°C концентрация СО достигала 1100 мг/м³, что на 20% выше, чем при температуре 0 °С, из-за ухудшения процессов испарения и сгорания топлива. Углеводороды (СН) также увеличивались до 220 мг/м³, что связано с неполным сгоранием топлива. Выбросы NOx при низких температурах оставались минимальными – 40 мг/м³, так как температура в камере сгорания была недостаточно высокой для активного образования оксидов азота [6].

При +20 °С выбросы СО и СН значительно снижались (до 600 мг/м³ и 120 мг/м³ соответственно) благодаря оптимальным условиям для сгорания топлива. Выбросы NOx увеличивались до 150 мг/м³, вероятно из-за роста температуры в камере сгорания.

При +30 °С концентрация СО и СН была минимальной (соответственно 500 мг/м³ и 100 мг/м³), однако выбросы NOx достигли максимума – 200 мг/м³, что может быть связано с избыточно высокой температурой сгорания [7].

Присадки к смазочным материалам и их триботехнические свойства [8–10] оказывают значительное влияние на экологичность выбросов двигателя внутреннего сгорания бывшего в эксплуатации.

Состав топлива также оказал значительное влияние на токсичность выбросов. Эксперименты были проведены с использованием топлива с различным содержанием серы и октановым числом. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние состава топлива на токсичность выбросов (мг/м³)

Table 3

Effect of fuel composition on emission toxicity (mg/m³)

Тип топлива	Содержание серы (%)	Октановое число	СО (мг/м ³)	СН (мг/м ³)	Сажа (мг/м ³)	NOx (мг/м ³)
Топливо с низким качеством	0.1	80	1200	250	35	120
Топливо с высоким качеством	0.03	95	600	100	15	200

При испытаниях с топливом с низким качеством, высокое содержание серы (0,1 %) приводило к увеличению выбросов сажи до 35 мг/м³, что на 25 % выше по сравнению с топливом высокого качества.

Низкое октановое число (80) способствовало росту углеводородов (до 250 мг/м³) и угарного газа (до 1200 мг/м³) из-за неравномерного сгорания топлива. При испытаниях с топливом с высоким качеством, со-

держание серы в пределах 0,03 % и октановое число 95 обеспечивали снижение выбросов CO и CH до 600 мг/м³ и 100 мг/м³ соответственно. Однако выбросы

Выводы

Полученные данные подтверждают, что токсичность выбросов двигателей внутреннего сгорания значительно варьируется в зависимости от режима работы двигателя, температуры окружающей среды, состава топлива и степени изношенности узлов трения.

Одним из факторов, оказывающих влияние на токсичность выбросов является

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ghosh, S. et al. Alternative Fuels and Emission Reduction. *Renewable Energy Journal*, 2022.
2. Шалыгин М.Г. Исследование износостойкости чугунов, применяемых на производстве поршневых колец двигателей внутреннего сгорания // *Строительные и дорожные машины*. 2018. - №9. - С. 51-53.
3. Шалыгин М.Г. Изнашивание субшероховатости поверхностей трения в водородсодержащей среде: монография. М: Инновационное машиностроение, 2018. 92 с.
4. Johnson, D. et al. Urban Air Pollution and Respiratory Health. *Environmental Research*, 2021, Vol. 192.
5. Smith, L., Brown, T. Vehicle Emissions and Public Health in Large Cities. *Journal of Environmental Science*, 2020, Vol. 45.
6. Кузнецов И.И. Современные методы снижения токсичности отработавших газов ДВС. *Автотранспортное предприятие*, 2023, №5.

REFERENCES

1. Ghosh S. Alternative fuels and emission reduction. *Renewable Energy Journal*. 2022.
2. Shalygin MG. Study of wear resistance of cast iron used in the manufacture of piston rings of internal combustion engines. *Stroitel'nye I Dorozhnye Mashiny*. 2018.;9:51-53.
3. Shalygin MG. Wear of subroughness of friction surfaces in a hydrogen-containing medium: monograph. Moscow: Innovative Mechanical Engineering; 2018.
4. Johnson D. Urban air pollution and respiratory health. *Environmental Research*. 2021;192.
5. Smith L, Brown T. Vehicle emissions and public health in large cities. *Journal of Environmental Science*. 2020;45.
6. Kuznetsov II. Modern methods of reducing the toxicity of exhaust gases of internal combustion engines. *Avtotransportnoe Predpriyatie*. 2023;5.

NOx увеличивались до 200 мг/м³ из-за более полного и эффективного сгорания топлива, что повышало температуру в камере сгорания.

естественный износ узлов цилиндропоршневой группы. Для снижения токсичности выбросов необходимо оптимизировать режимы работы двигателя, использовать топливо с низким содержанием серы и высоким октановым числом; внедрять современные системы нейтрализации отработавших газов.

7. Петров В.В., Сидоров К.К. Влияние выбросов ДВС на качество атмосферного воздуха. *Экология производства*, 2023, №2.
8. Трибологические свойства полужидкого смазочного материала с присадками поверхностно-активных веществ / М. Г. Шалыгин, И. А. Буяновский, В. Д. Самусенко, А. П. Ващишина // *Трение и износ*. 2023. Т. 44, № 5. С. 418-426.
9. Ващишин, С. П. Эксплуатационные свойства пластичных смазочных материалов и моторных масел / С. П. Ващишин, А. П. Ващишина // *Механика XXI века*. 2025. № 24. С. 271-275.
10. Исследование коленчатого вала дизельного двигателя ЯМЗ-238Д1, отказавшего в процессе эксплуатации / Е. В. Лукашова, А. П. Ващишина, М. Г. Шалыгин, Т. И. Осипов // *Транспортное машиностроение*. 2025. № 5(41). С. 32-38.

7. Petrov VV, Sidorov KK. The effect of internal combustion engine emissions on atmospheric air quality. *Journal of Industrial Ecology*. 2023;2.
8. Shalygin MG, Buyanovsky IA, Samusenko VD, Vashchishina AP. Tribological properties of semi-fluid lubricant with surfactant additives. *Friction and Wear*. 2023;44(5):418-426.
9. Vashchishin SP, Vashchishina AP. Operational properties of plastic lubricants and motor oils. *Mechanical Engineers to XXI Century*. 2025;24:271-275.
10. Lukashova EV, Vashchinina AP, Shalygin MG, Osipov TI. Study of the crankshaft of YaMZ-238D1 diesel engine that failed during operation. *Transport Engineering*. 2025;5:32-38.

Информация об авторах:

Горленко Александр Олегович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Производство и сервис в транспортном машиностроении» Брянского государственного технического университета, тел. 84832588212.

Лукашова Елена Витальевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Турбиностроение и трубопроводные транспортные системы» Брянского государственного технического университета, тел. 84832588212.

Gorlenko Aleksandr Olegovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Production and Service in Transport Engineering at Bryansk State Technical University, phone: 84832588212.

Lukashova Elena Vitalyevna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Turbine Engineering and Pipeline Transport Systems at Bryansk State Technical University, phone: 84832588212.

Щец Сергей Петрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Производство и сервис в транспортном машиностроении» Брянского государственного технического университета, тел. 84832588212.

Кленичева Анастасия Юрьевна – ассистент кафедры «Турбиностроение и трубопроводные транспортные системы» Брянского государственного технического университета, тел. 84832588212.

Shets Sergey Petrovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Production and Service in Transport Engineering at Bryansk State Technical University, phone: 84832588212.

Klenicheva Anastasia Yuryevna – Assistant of the Department of Turbine Engineering and Pipeline Transport Systems at Bryansk State Technical University, phone: 84832588212.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 14.07.2025; одобрена после рецензирования 15.07.2025; принята к публикации 28.08.2025. Рецензент – Тихомиров П.В., доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Транспортно-технологических машин и сервиса» Брянского государственного инженерно-технологического университета.

The article was submitted to the editorial office on 14.07.2025; approved after review on 15.07.2025; accepted for publication on 28.08.2025. The reviewer is Tikhomirov P.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Transport and Technological Machines and Services at Bryansk State University of Engineering and Technology.