

4.3.1. ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 621.431

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_4_93

EDN: BAAUWW

**Повышение экологической безопасности
поршневых двигателей внутреннего сгорания****Андрей Викторович Ворохобин^{1✉}, Наталья Митрофановна Дерканосова²,
Светлана Зиновьевна Манойлина³**^{1,2,3} Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,
Воронеж, Россия¹ dogruzka@rambler.ru[✉]

Аннотация. Снижение вредных выбросов отработавших газов двигателей внутреннего сгорания (ДВС) является важной экологической задачей, которая на сегодняшний день полностью не решена. Многочисленные исследования по воздействию отработавших газов ДВС на здоровье человека доказывают их негативный характер. Особое внимание в последние годы приковывают результаты по влиянию отработавших газов на работу мозга и психику человека. Целью представленных исследований является поиск путей повышения экологической безопасности поршневых двигателей внутреннего сгорания за счет выявления основных причин перерасхода топлива и разработка рекомендаций по его уменьшению. Экспериментально определены основные причины перерасхода топлива транспортного средства при движении в стандартных условиях. Проанализирована зависимость объемов удельных выбросов компонентов отработавших газов наземных транспортно-технологических средств (CO, C_xH_y, NO_x, CO₂, твердых частиц) от расхода топлива и режимов работы двигателя. Установлено, что концентрация углекислого газа (CO) дизельных двигателей при повышении среднего эффективного давления увеличивается в два раза по объему на режиме полной подачи топлива и составляет 0,2% (для сравнения на режиме холостого хода – 0,1%). Недостаток кислорода в локальных зонах камеры сгорания и невысокая температура среды увеличивают концентрацию углеводородов (C_xH_y). При давлении 0,4–0,6 МПа в камере сгорания отмечается наименьшее количество выбросов углеводородов в атмосферу. Высокая загрузка топлива в зонах горения с наибольшей диффузионной инфильтрацией приводит к местному отсутствию кислорода в этих зонах, что способствует резкому увеличению концентрации C_xH_y. Соответственно дизель выбрасывает максимальный объем углеводородов при сжигании топлива на малой мощности двигателя и режиме холостого хода (до 0,8 г/м³). Даны рекомендации по уменьшению расхода топлива ДВС, что будет являться экологически приемлемым путем повышения эффективности экологизации автомобильного транспорта.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, отработавшие газы, экологическая безопасность, расход топлива, режим работы

Для цитирования: Ворохобин А.В., Дерканосова Н.М., Манойлина С.З. Повышение экологической безопасности поршневых двигателей внутреннего сгорания // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 4(79). С. 93–101. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_4_93-101.

4.3.1. TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT
FOR AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

**Enhancing environmental safety and compliance
of reciprocating internal combustion engines****Andrey V. Vorokhobin^{1✉}, Natalia M. Derkanosova², Svetlana Z. Manoylina³**^{1, 2, 3} Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia¹ dogruzka@rambler.ru[✉]

Abstract. Reducing harmful emissions of exhaust gases from internal combustion engines is an important environmental task that has not been completely solved at present. Numerous studies on the impact of exhaust gases from internal combustion engines on human health prove their negative nature. In recent years, special attention has been captured to the results on the effect of exhaust gases on human brain and mentality. The purpose of the research is to improve the environmental safety of reciprocating internal combustion engines by

identifying the main causes of excessive fuel consumption and developing recommendations to reduce it. The main causes of excessive fuel consumption of a vehicle when driving under standard conditions have been experimentally determined. The dependence of specific emissions of exhaust gas components of land transportation and technological means (CO, C_xH_y, NO_x, CO₂, solid particles) on fuel consumption and engine operating modes is analyzed. It is found that the concentration of carbon dioxide (CO) of diesel engines with the average effective pressure rising increases twice in volume at full throttle mode and is equal to 0,2% (for comparison at an idle mode it is about 0,1%). Lack of oxygen in the local areas of the combustion chamber and low ambient temperature increases the concentration of hydrocarbons (C_xH_y). At a pressure of 0.4 ...0.6 MPa, the least amount of hydrocarbon emissions into the atmosphere is observed in the combustion chamber. High fuel loading in the combustion zones with the greatest diffusion infiltration leads to a local lack of oxygen in these zones, which contributes to a sharp increase in the concentration of C_xH_y. Accordingly, diesel emits the maximum volume of hydrocarbons when burning fuel at low engine power and idle mode, i.e. up to 0,8 g/m³. The authors offer specific recommendations for reducing fuel consumption by internal combustion engines, which will be an environmentally acceptable way to increase the efficiency of the Russian road transport greening.

Keywords: internal combustion engine, exhaust gases, environmental safety and compliance, fuel consumption, operating mode

For citation: Vorokhobin A.V., Derkanosova N.M., Manoylina S.Z. Enhancing environmental safety and compliance of reciprocating internal combustion engines. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023;16(4):93-101. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_4_93-101.

Острота и значимость проблемы экологической безопасности автомобильного транспорта растет с каждым годом. С точки зрения наносимого экологического ущерба автотранспорт сохраняет лидерство по всем видам негативного воздействия: загрязнение воздуха – 95%, акустическое шумовое воздействие – 49,5%, воздействие на климат – 68% [1, 6].

В современном двигателестроении существуют две основные тенденции: сократить вредные выбросы и снизить расход топлива. Но если недавно «вредными выбросами» считались оксид углерода (CO), оксиды азота и углеводороды (CH), то сейчас в разряд основных перешел углекислый газ (CO₂), создающий парниковый эффект. Если учесть, что любое углеводородное топливо распадается на воду и углекислый газ, то уменьшить выбросы можно одним путем – снижением расхода топлива.

Один автомобиль при пробеге 15 тыс. км ежегодно поглощает из атмосферы в среднем более 4 т кислорода, выбрасывая при этом с отработанными газами примерно 800 кг угарного газа, 40 кг оксида азота и 230 литров несгоревших углеводородов. В России от автомобильного транспорта поступает за год в атмосферу огромное количество канцерогенных веществ: 27 тыс. т бензола, 17,5 тыс. т формальдегида, 5 тыс. т свинца и 1,5 т бенз(а)пирена. Общее количество вредных веществ, ежегодно выбрасываемое автомобилями, превышает 20 млн т [5].

Одной из важных задач, стоящих перед конструкторами и производителями транспортных средств, является уменьшение расхода топлива. Пониженный расход топлива экономит не только бюджет автовладельца, но и способствует сокращению выбросов вредных веществ в атмосферу.

Количество отработавших газов двигателя внутреннего сгорания автомобилей в основном определяется массовым расходом топлива. Расход по расстоянию нормируется и обычно указывается производителями (одна из потребительских характеристик). В отношении суммарного объема выходящих из глушителя выхлопных газов приблизительно можно ориентироваться на такую цифру – один килограмм сжигаемого бензина приводит к образованию примерно 16 кг смеси различных газов [7].

Многочисленные исследования по воздействию автомобильных отработавших газов на здоровье человека подчеркивают его негативный характер [3, 10, 12, 13]. Особое внимание в последние годы приковывают результаты по влиянию отработавших

газов на работу головного мозга и психику человека. Длительное воздействие выхлопных газов на человека вызывает раздражение слизистых оболочек глаз и дыхательных путей, приводит к снижению активности нейронных связей в области мозга, ответственных за мышление, внимание, самоанализ, память и интеллект. Опубликованы данные, подтверждающие, что:

а) загрязненный воздух ухудшает когнитивные способности мозга, что оборачивается снижением интеллектуальных способностей;

б) токсичный воздух является причиной «чрезвычайно высокой смертности» среди людей с психическими расстройствами, а также увеличения психических заболеваний у детей;

в) люди, проживающие вблизи оживленных дорог, имеют повышенный риск развития деменции [3, 13].

Цель исследования – поиск путей повышения экологической безопасности поршневых двигателей внутреннего сгорания за счет выявления основных причин перерасхода топлива и разработка рекомендаций по его уменьшению.

В настоящее время из всех видов транспортных средств автомобильный транспорт характеризуется наибольшим потреблением топлива на единицу работы. Главная специфика расходования топливно-энергетических ресурсов по сравнению с другими проявляется в том, что их потребление прежде всего определяется не только конструкцией автомобиля, но и условиями его эксплуатации.

В процессе использования автомобильного транспорта выбросы отработавших газов скачкообразно меняются. Для наибольшей объективности анализа количественного и качественного состава вредных веществ, выносимых с отработавшими газами при эксплуатации транспортного средства необходимо применять дифференцированный подход, учитывать большое количество эксплуатационных факторов.

Суммарный объем отработавших газов транспортного средства в основном определяется массовым расходом топлива, норму которого устанавливает его производитель (табл. 1).

Таблица 1. Нормы расхода топлива для транспортных средств, установленные производителями

Расход	Бензиновый двигатель, объемом 1,5 л*	Двигатель с впрыском топлива, объемом 1,5 л*	Дизельный двигатель, объемом 1,5 л**
Движение в «городском» режиме, л/100 км	9,1	8,6	5,7
Равномерное движение с постоянной скоростью 60 км/ч, л/100 км	4,5	3,5	3,8

Примечание: * – плотность бензина при +20 °С колеблется от 0,69 до 0,81 г/см³; ** – плотность дизельного топлива при +20 °С по ГОСТ 305-82 не менее 0,86 г/см³.

На расход топлива любого автомобиля с ДВС влияет множество причин, начиная от манеры езды и заканчивая плотностью и влажностью воздуха. На рисунке 1 представлены среднестатистические показатели, иллюстрирующие количественный вклад различных факторов, обуславливающих расход топлива двигателями внутреннего сгорания при движении транспортных средств в стандартных условиях.

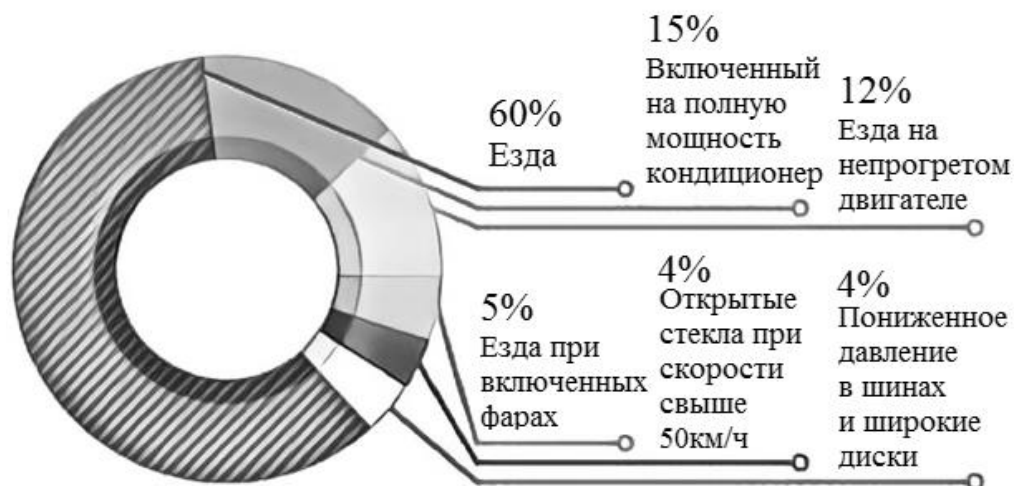


Рис. 1. Факторы, влияющие на расход топлива транспортного средства при движении в стандартных условиях

Как следует из представленных данных, основная доля топлива расходуется во время езды на автомобиле – 60%; 15% потребляет работающий на полную мощность кондиционер, на 12 и 4% повысится расход топлива при движении на непрогретом двигателе и при пониженном давлении в шинах, еще 5 и 4% добавят включенные фары и открытые стекла при скорости свыше 50 км/ч.

Зависимость объемов удельных выбросов компонентов отработавших газов легковых наземных автотранспортных средств (CO , C_xH_y , NO_x , CO_2 , твердых частиц) от расхода топлива и режимов работы двигателя получена опытным путем на моторном стенде при постоянном начальном объеме. Эта зависимость представлена на рисунке 2.

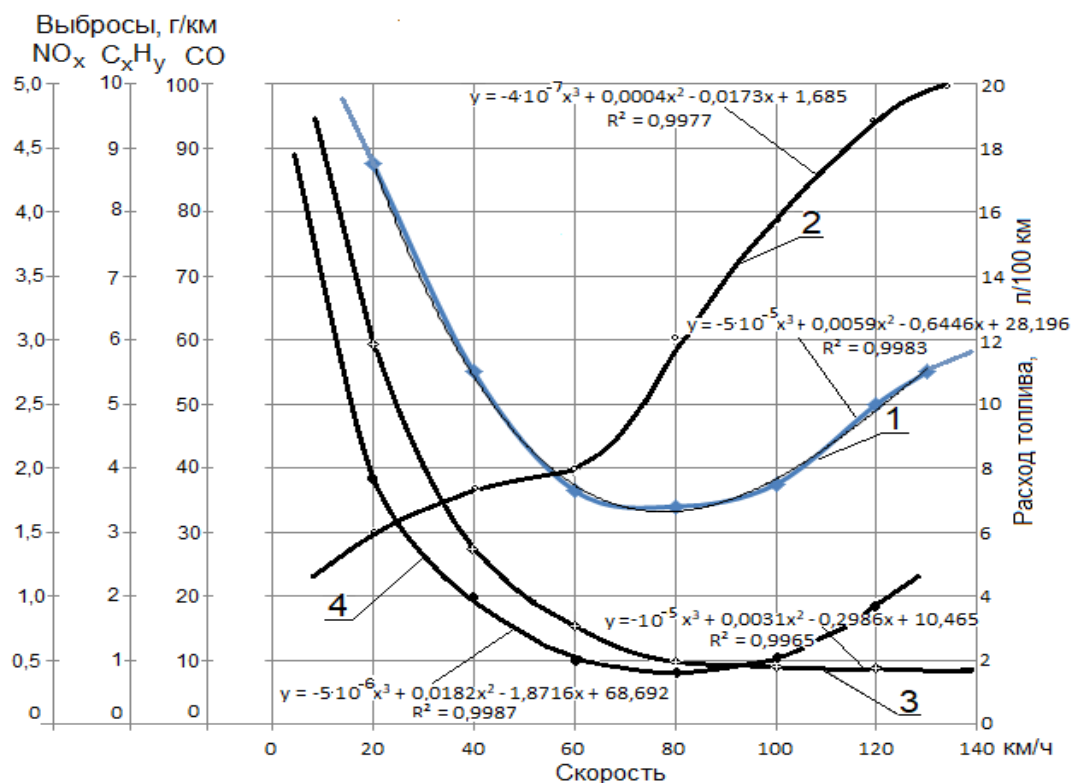


Рис. 2. Зависимость объемов удельных выбросов компонентов отработавших газов легковых транспортных средств от расхода топлива и режимов работы при постоянном начальном объеме: 1 – расход топлива; 2 – выбросы NO_x ; 3 – выбросы C_xH_y ; 4 – выбросы CO

Повышение нагрузки на дизель уравнивается увеличением цикловой подачи топлива, вызывает возрастание максимального давления и температуры цикла и, как следствие, приводит к повышению концентрации оксидов азота (NO_x) в выхлопных газах и увеличению продолжительности процесса испарения топлива, что приводит к повышению концентрации продуктов неполного сгорания топлива. Экспериментально подтверждается возрастающая зависимость продуктов неполного сгорания углекислого газа (CO), углеводородов (C_xH_y) и сажи по мере увеличения нагрузки. При этом коэффициент избытка воздуха понижается от 6–8 ед. на холостом ходу до 1,4–1,6 ед. на режиме номинальной мощности [11].

Проанализируем характер изменения содержания основных вредных составляющих отработавших газов при различных режимах движения транспортного средства. Так, концентрация углекислого газа (CO) дизельных двигателей при повышении среднего эффективного давления увеличивается в 2 раза по объему на режиме полной подачи топлива и составляет 0,2%, на режиме холостого хода – 0,1%. Недостаток кислорода в локальных зонах камеры сгорания и невысокая температура среды увеличивает концентрацию углеводородов (C_xH_y). При давлении 0,4–0,6 МПа в камере сгорания отмечается наименьшее количество выбросов углеводородов в атмосферу. Высокая загрузка топлива в зонах горения с наибольшей диффузионной инфильтрацией приводит к местному отсутствию кислорода в этих зонах, что вызывает резкое увеличение концентрации C_xH_y . Соответственно дизель выбрасывает максимальный объем углеводородов при сжигании топлива на малой мощности двигателя и режиме холостого хода – до 0,8 г/м³ [4, 8].

Режим повышенной нагрузки при перерасходе топлива приводит к резкому увеличению выбросов сажи. При давлении 0,4–0,5 МПа в зоне пламени возрастает температура, снижается эффективность процесса смесеобразования, происходит задержка диффузионного процесса сгорания. Все это сопровождается скачками значений общего и локальных коэффициентов избытка воздуха и, как следствие, значительным увеличением дымности. Поэтому международными нормами установлены предельные значения цикловой подачи при настройке топливных насосов высокого давления для отдельных типов дизеля, обеспечивающих соблюдение нормативов по дымности. При различных режимах работы такая цикловая подача должна соответствовать этим пределам.

Когда расход топлива возрастает, в камере сгорания увеличивается температурная напряженность в случае присутствия достаточного количества кислорода [2]. При этом прослеживается следующая тенденция: по мере повышения нагрузки содержание оксидов азота (NO_x), являющихся одной из самых вредных составляющих отработавших газов, в отходящих газах дизельных двигателей увеличивается. Экспериментально определено, что максимальное количество оксидов азота образуется при давлении 0,5–0,6 МПа (рис. 2, полиномиальная зависимость).

Рассмотрим основные причины повышенного расхода топлива и рекомендации по его снижению.

1. Главная причина – применение топлива низкого качества, не соответствующего стандартам. При этом двигатель работает с отклонениями, не по стардартному режиму. Блок управления двигателем дает команду обогатить смесь, подав большее количество топлива. Поэтому рекомендуется заправляться на заправках проверенных сетевых компаний.

2. Электронный блок управления (ЭБУ) настраивает работу исполнительных устройств под определенный режим движения: количество впрыскиваний во времени и длительность впрыскивания в форсуноке, угол зажигания, угол впрыска, открытие дроссельной заслонки, давление топлива и других механизмов. Вышедший из строя датчик показывает неверные значения, ЭБУ устанавливает для двигателя некорректную программу с ошибочными значениями. Это приводит к неправильному сгоранию топливо-

воздушной смеси и, как следствие, ведет к повышенному расходу топлива. В некоторых модификациях транспортных средств при неисправности датчика на панели приборов загорается надпись: «Проверьте двигатель».

3. Отклонение значения давления в топливной раме, независимо от того, повышенное оно или пониженное, приводит к перерасходу топлива. Перед началом движения необходимо проверить давление в топливной раме специальным манометром. Незначительная засоренность топливного фильтра тонкой очистки, расположенного в бензобаке, сеточки на вибронасосе, механическая усталость топливного насоса приводят к понижению давления. Среднее эффективное давление при включенном двигателе при нормальной работе для различных транспортных средств составляет от 2,6 до 4 кПа.

4. Скачки напряжения в сети автомобиля оказывают влияние на параметры работы форсунок. Блок управления процессом впрыскивания учитывает напряжение бортовой системы, необходимо проверить стабильность выходного напряжения с генератора переменного тока.

5. Неисправность датчика массового расхода воздуха. При засорении каналов подачи воздуха к этому датчику изменяются значения реального и действительного расхода воздуха, поступающего в камеру сгорания, это приводит к отклонению стехиометрического соотношения горючей смеси и возникновению полуаварийного режима работы транспортного средства. Перед началом движения необходимо проверить исправность датчика массового расхода воздуха.

6. Повышение расхода топлива происходит при повреждении датчика кислорода, при этом сигнальная лампочка не загорается. Этот датчик отвечает за оптимальную регулировку топливной подачи, определяет количество остаточного кислорода, необходимого при сжигании топлива. Если наблюдается переизбыток кислорода (смесь бедная), то датчик дает команду на увеличение количества смеси. Неправильность показаний датчика кислорода при пробеге автомобиля больше 100 км диктует необходимость его замены.

7. Неисправность датчика температуры охлаждающей жидкости приводит к тому, что ЭБУ показывает необоснованно завышенные значения топливоподачи, ошибочно считая, что двигатель является непрогретым. При этом для движения на «холодном» двигателе необходима более обогащенная смесь и, как следствие, больше бензина, чем при движении на прогретом двигателе.

8. При работе на засоренных или неисправных топливных форсунках значительно увеличивается расход топлива, при этом существенно понижается динамика разгона. Как следствие плохого разгона появляются пропуски воспламенения, из-за чего в катализаторе воспламеняется несгоревшее топливо. В качестве рекомендаций хотелось бы отметить: для профилактики необходимо прочищать форсунки через 40–50 тыс. км пробега. При засоренном катализаторе расход топлива повышается в несколько раз.

9. Нехватка воздуха для полного сгорания топлива является конструктивным показателем поршневого ДВС. Применение системы турбонаддува решает эту проблему. Если воздушный фильтр засорен частичками пыли, грязи, сажи, то количество воздуха, поступающего в камеру сгорания недостаточно, смесь становится богатой. Двигатель сильно перегружается, кислородный датчик реагирует на изменение состава топлива, и требуется большее количество топлива. Если воздушный фильтр сильно засорен, то двигатель работает на заниженных оборотах. Рекомендуется производить очистку воздушного фильтра при каждой смене моторного масла.

10. Для показания времени впрыска топливно-воздушной смеси применяются датчики массового расхода воздуха или в некоторых конструкциях транспортных средств – датчики абсолютного давления. Повышенный расход топлива возникает по причине подсоса воздуха после этих датчиков по причине нарушения герметичности прокладок коллектора, при этом количество воздуха возрастает, смесь обедняется. Устранить эту проблему можно с помощью комплексного диагностического обслуживания.

11. Система выпуска должна обеспечивать бесперебойный выброс отработавших газов. Забитый катализатор, закоксовывание выходных каналов головки блока цилиндров или клапанов увеличивают сопротивление выбросу отходящих газов. Это, безусловно, сказывается на общем характере работы двигателя и величине расхода топлива. Двигателю необходимо затратить большую мощность на вытеснение газов, а значит, для сохранения рабочей мощности требуется сжигать большее количество топлива. Для устранения перерасхода масла и ненормального дымления из выхлопной трубы необходимо очистить выходные каналы от отложений (нагара, шлама, лаков). Такая очистка, раскоксовывание, приводит к нормализации: компрессии, расхода топлива, мощности двигателя, устранению ненормальных вибраций и детонации. С помощью эндоскопа необходимо провести осмотр выходных каналов головки блока цилиндров. Затем провести измерение давления сжатия, определить состояние компрессионных и маслоъемных колец, осмотреть элементы системы вентиляции картерных газов, проверить наличие масла и отложений в системе. Затем в достаточном количестве необходимо нанести на детали химически активную по отношению к отложениям жидкость и выдерживать ее достаточное для полного очищения количество времени (2–3 часа).

12. При пробеге транспортного средства более 100 тыс. км происходит износ поршневой группы, приводящий к нарушению компрессии в цилиндрах. Все процессы изначально рассчитываются на штатную стандартную компрессию, при низкой компрессии показатели отдачи мотора ухудшаются и для достижения требуемой отдачи двигателю необходимо сжигать большее количество топлива, при этом количество не полностью сгоревшего топлива резко возрастает.

13. Не все причины перерасхода топлива связаны с техническими особенностями транспортного средства. Для работы дополнительного навесного оборудования (аудиосистема, кондиционер, элементы системы освещения) необходима электроэнергия от генератора, связанного с двигателем клиноременной передачей. Повышенные затраты энергии ДВС на вращение генератора приводят к увеличению расхода топлива.

14. Материал покрышек шин косвенно изменяет расход топлива. Например, низкое давление в шинах приводит к повышению сопротивления качения, при этом часть топлива расходуется на преодоление сопротивления и не преобразуется в полезную работу по передвижению транспортного средства, при этом необходимо дополнительное количество топлива. Сегодня на многих гибридных автомобилях и электрокарах с целью снижения показателей расхода топлива размещают узкие крышки с высокой жесткостью.

15. Стиль вождения напрямую определяет расход топлива. Агрессивная езда, активные разгоны и торможения оказывают влияние на расход топлива. При активном торможении работа, затраченная на разгон, превращается в бесполезную тепловую энергию торможения, потраченное топливо затрачивается впустую, поэтому чтобы эффективно использовать топливо, следует больше двигаться накатом, без остановок.

16. Аэродинамический фактор, мощные тормозящие вихри влияют на расход топлива. Большая часть полезной мощности двигателя тратится на сопротивление воздушных масс. Сила аэродинамического сопротивления возрастает от скорости по квадратной зависимости, пропорционально увеличивается и расход топлива [9]. На современном малолитражном автомобиле с объемом двигателя 1300–1500 см³ при снижении скорости с 130 до 120 км/ч расход топлива уменьшается на 15%. Не только скорость влияет на «аэродинамический» расход топлива.

Увеличивают расход топлива: мощные фары на крыше, например, внедорожника, дефлектор капота в виде пластмассовой полоски, металлическая жесткая дуга, укрепленная перед бампером, шины большой ширины, антикрыло, открытые окна, люк, глушители, располагающиеся под днищем автомобиля, оторванные пластиковые кожухи на днище.

Западные автопроизводители уменьшают клиренс не только для лучшей устойчивости, но и для лучшей аэродинамики.

Снижению расхода топлива способствует и грамотный аэродинамический обвес, предназначенный для отвода встречного потока воздуха из зон избыточного давления (подкапотное пространство, днище автомобиля), а также из зон, где проходящий воздушный поток образует завихрения. Низкий передний клювообразный элемент отсекает поток под днищем, спойлеры (как правило, устанавливаются на передних и задних бамперах, передней части крышки капота, задней части крыши и крышке багажника), не позволяя возникать мощным тормозящим вихрям, перенаправляют воздушные потоки для уменьшения аэродинамического сопротивления автомобиля и увеличения прижимной силы. При этом улучшаются аэродинамические свойства при движении на высоких скоростях и управляемость. Заметного эффекта можно добиться простой подгонкой кузовных панелей: щели и выступы кромок уменьшают расход топлива на скорости 100 км/ч до 0,5 л на 100 км.

Выводы

На увеличение расхода топлива влияет множество факторов как субъективных, так и объективных, поэтому для сокращения расхода топлива необходимо проводить периодическую диагностику узлов и агрегатов транспортного средства и соблюдать рекомендаций по его вождению.

Приведенные рекомендации по уменьшению расхода топлива являются приемлемым путем повышения экологизации автомобильного транспорта России.

Список источников

1. Божко А.В., Поливаев О.И. Снижение токсичности выхлопных газов дизельных двигателей за счет применения фильтра-нейтрализатора: монография. Москва: Русайнс, 2021. 140 с.
2. Ворохобин А.В., Манойлина С.З., Березкин А.С. Поддержание технического состояния дизеля как метод снижения токсичности отработавших газов // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: материалы международной научно-практической конференции (Воронеж, 20 февраля 2023 г.). Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2023. С. 277–283.
3. Вяткин М.Ф., Куимова М.В. О влиянии выхлопных газов на здоровье человека // Молодой ученый. 2015. № 10(90). Ч. 1. С. 87–88.
4. Горбунов В.В., Патрахальцев Н.Н. Токсичность двигателей внутреннего сгорания: учебное пособие. Москва: Изд-во Российского университета дружбы народов. 1998. 214 с.
5. Докучаева К.С. Влияние выхлопных газов на здоровье человека и пути решения проблемы // Образование и наука России и за рубежом. 2022. № 10. С. 148–150.
6. Колчин А.В. Обеспечение экологической безопасности тракторных и комбайновых дизелей // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2004. № 2. С. 2–5.
7. Коротков М.В., Бондаренко Е.В. Пробег и экологическая безопасность автомобиля // Автомобильная промышленность. 2003. № 5. С. 8–10.
8. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Академический проект, 2004. 398 с.
9. Омельченко Е.А. Использование вихревой трубы для повышения экологической безопасности поршневых двигателей внутреннего сгорания: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02. Челябинск, 2015. 168 с.
10. Ситдикова А.А., Святова Н.В., Царева И.В. Анализ влияния выбросов автотранспорта в крупном промышленном городе на состояние загрязнения атмосферного воздуха // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. С. 175–182.
11. Шапко С.В., Ордабаев Е.К., Сарбалаев Е.Ж. Стабильность экологических характеристик автомобиля с каталитическим нейтрализатором в условиях эксплуатации // Наука и техника Казахстана. 2015. № 3-4. С. 119–126.
12. Gawryluk J.R., Palombo D.J., Curran J. et al. Brief diesel exhaust exposure acutely impairs functional brain connectivity in humans: a randomized controlled crossover study // Environmental Health. 2023. Vol. 22. Article no. 7.
13. Zhang X., Chen X., Zhang X. The impact of exposure to air pollution on cognitive performance // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, PNAS. 2018. Vol. 115(37). Pp. 9193-9197. DOI: 10.1073/pnas.1809474111.

References

1. Bozhko A.V., Polivaev O.I. Snizhenie toksichnosti vykhlopnykh gazov dizel'nykh dvigatelej za schet primeneniya fil'tra-nejtralizatora: monografiya [Reducing the toxicity of diesel engine exhaust gases through the use of a neutralizer filter: monograph]. Moscow: Rusciense; 2021. 140 p. (In Russ.).
2. Vorokhobin A.V., Manoylina S.Z., Berezkin A.S. Podderzhanie tekhnicheskogo sostoyaniya dizelya kak metod snizheniya toksichnosti otrabotavshikh gazov. Tendentsii razvitiya tekhnicheskikh sredstv i tekhnologij v APK: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (Voronezh, 20 fevralya 2023 g.) [Maintenance status of diesel as a method of reducing exhaust gas toxicity. Trends in the development of technical means and technologies in Agro-Industrial Complex: Proceedings of the International Research-to-Practice Conference (Voronezh, February 20, 2023)]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press; 2023. Pp. 277-283. (In Russ.).
3. Vyatkin M.F., Kuimova M.V. O vliyaniy vykhlopnykh gazov na zdorov'e cheloveka [On the effect of exhaust gases on human health]. *Molodoj uchyonyj = Young Scientist*. 2015;10(90):87-88. (In Russ.).
4. Gorbunov V.V., Patrakhaltsev N.N. Toksichnost' dvigatelej vnutrennego sgoraniya: uchebnoe posobie [Toxicity of internal combustion engines: study guide]. Moscow: Peoples' Friendship University of Russia Press; 1998. 214 p. (In Russ.).
5. Dokuchaeva K.S. Vliyanie vykhlopnykh gazov na zdorov'e cheloveka i puti resheniya problemy [The impact of exhaust gases on human health and ways to solve the problem]. *Obrazovanie i nauka Rossii i za rubezhom = Education and Science in Russia and Abroad*. 2022;10:148-150. (In Russ.).
6. Kolchin A.V. Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti traktornykh i kombajnovykh dizelej [Ensuring environmental safety of tractor and combine diesels]. *Traktory i sel'skokhozyajstvennyye mashiny = Tractors and Agricultural Machinery*. 2004;2:2-5. (In Russ.).
7. Korotkov M.V., Bondarenko E.V. Probeg i ekologicheskaya bezopasnost' avtomobilya [Mileage and environmental safety of cars]. *Avtomobil'naya promyshlennost' = Automobile Industries*. 2003;5:8-10. (In Russ.).
8. Kulchickiy A.R. Toksichnost' avtomobil'nykh i traktornykh dvigatelej: uchebnoe posobie. 2-e izd., ispr. i dop. [Toxicity of automobile and tractor engines: study guide. 2nd edition, revised and enlarged]. Moscow: Academic Project; 2004. 398 p. (In Russ.).
9. Omelchenko E.A. Ispol'zovanie vikhrevoj trubyy dlya povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti porshnevnykh dvigatelej vnutrennego sgoraniya [The use of a vortex tube to improve the environmental safety of reciprocating internal combustion engines]: dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk = Candidate Dissertation in Engineering Sciences: 05.04.02. Chelyabinsk; 2015. 168 p. (In Russ.).
10. Sitdikova A.A., Svyatova N.V., Tsareva I.V. Analiz vliyaniya vybrosov avtotransporta v krupnom promyshlennom gorode na sostoyanie zagryazneniya atmosfernogo vozdukha [Analysis of the impact of motor vehicle emissions in the large industrial city on the state of the environment and environmental pollution]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*. 2015;3:175-182. (In Russ.).
11. Shapko S.V., Ordabaev E.K., Sarbalayev E.Zh. Stabil'nost' ekologicheskikh kharakteristik avtomobilya s kataliticheskim nejtralizatorom v usloviyakh ekspluatatsii [The stability of the ecological characteristics of a vehicle equipped with a catalytic converter in operation]. *Nauka i tekhnika Kazakhstana = Science and Technology of Kazakhstan*. 2015;3-4:119-126. (In Russ.).
12. Gawryluk J.R., Palombo D.J., Curran J. et al. Brief diesel exhaust exposure acutely impairs functional brain connectivity in humans: a randomized controlled crossover study. *Environmental Health*. 2023;22:7.
13. Zhang X., Chen X., Zhang X. The impact of exposure to air pollution on cognitive performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, PNAS*. 2018;115(37):9193-9197. DOI: 10.1073/pnas.180947411.

Информация об авторах

A.V. Ворохобин – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», dogruzka@rambler.ru.

N.M. Дерканосова – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой товароведения и экспертизы товаров ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, kommerce05@list.ru.

S.Z. Манойлина – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», car205@agroeng.vsau.ru.

Information about the authors

A.V. Vorokhobin, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, dogruzka@rambler.ru.

N.M. Derkanosova, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Dept. of Merchandizing and Expert Examination of Goods, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, kommerce05@list.ru.

S.Z. Manoylina, Candidate of Agricultural Sciences, Docent, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, car205@agroeng.vsau.ru.

Статья поступила в редакцию 05.08.2023; одобрена после рецензирования 15.09.2023; принята к публикации 25.09.2023.

The article was submitted 05.08.2023; approved after reviewing 15.09.2023; accepted for publication 25.09.2023.

© Ворохобин А.В., Дерканосова Н.М., Манойлина С.З., 2023