

Секция 6 Альтернативные источники энергии на транспорте

УДК 536.8

DOI: 10.58168/MSTT2025_209-214

ВВОД НАСЫЩЕННОГО ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА В ТОПЛИВО-ВОЗДУШНУЮ СМЕСЬ ДВС КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ

А. С. Толстова¹, С. А. Толстов², С. Л. Панченко³, С. В. Внукова⁴

^{1, 2, 3, 4} Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия

¹alexkonnik2016@gmail.com

²serezha.tolstoff@yandex.ru

³psl84@mail.ru

⁴vnukovasv@vglta.vrn.ru

Аннотация. При работе ДВС в окружающую среду выбрасываются токсичные газы, загрязняя атмосферу и негативно воздействуя на организм человека. Таким образом, вопрос снижения токсичности выхлопных газов от ДВС является актуальной задачей. В работе предложен вариант снижения токсичности путем добавления насыщенного влажного воздуха в топливовоздушную смесь.

Ключевые слова: двигатель (ДВС), автомобильный транспорт, топливо, экологические стандарты, впрыск воды, токсичные газы, экология.

INTRODUCING SATURATED HUMID AIR INTO THE FUEL-AIR MIXTURE OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE TO REDUCE THE TOXICITY OF EXHAUST GASES

A. S. Tolstova¹, S. A. Tolstov², S. L. Panchenko³, S. V. Vnukova⁴

^{1, 2, 3, 4} Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia

¹alexkonnik2016@gmail.com

²serezha.tolstoff@yandex.ru

³psl84@mail.ru

⁴vnukovasv@vglta.vrn.ru

Abstract. When an internal combustion engine operates, toxic gases are emitted into the environment, polluting the atmosphere and negatively impacting the human body. Therefore, reducing the toxicity of internal combustion engine exhaust gases is a pressing issue. This paper proposes a method for reducing toxicity by adding saturated, moist air to the fuel-air mixture.

Keywords: heat engine (ICE), automobile transport, fuel, environmental standards, water injection, toxic gases, ecology.

Проблема загрязнения окружающего воздуха токсичными газами не является чем-то новым, но актуальным направлением исследования. На протяжении многих десятилетий индустриализация городов и рост населения в них привели к выбросу огромного количества вредных веществ в атмосферу.

Как известно, основными источниками загрязнения являются заводы, тепловые электростанции, транспорт с тепловыми двигателями. Коснемся более подробно загрязнения окружающего воздуха от двигателей внутреннего сгорания. По информации из разных источников [1, 2], на вредные выбросы от таких двигателей приходится до 50% от всех источников загрязнения. Именно из-за их огромного количества, которое непрерывно растет, и повсеместного использования обострилась экологическая обстановка в мире. Прогноз Всемирного банка показывает, что к 2050 году численность мирового автопарка достигнет 2000 миллионов [3].

В качестве топлива тепловых двигателей выступают различные бензины и дизельные топлива. При реакции окисления кислородом воздуха в атмосферу выбрасываются различные соединения, в том числе и токсичные: оксид углерода (CO), оксиды азота (NO_x), различные углеводороды (C_nH_m) (рисунок 1). Таким образом, тепловые двигатели, работающие на углеводородном топливе, являются одними из основных источников вредных выбросов в окружающую среду [4]. Эти выбросы оказывают разрушительное воздействие на здоровье человека и состояние окружающей среды, поэтому загрязнение воздуха является экологической проблемой, касающейся каждого.

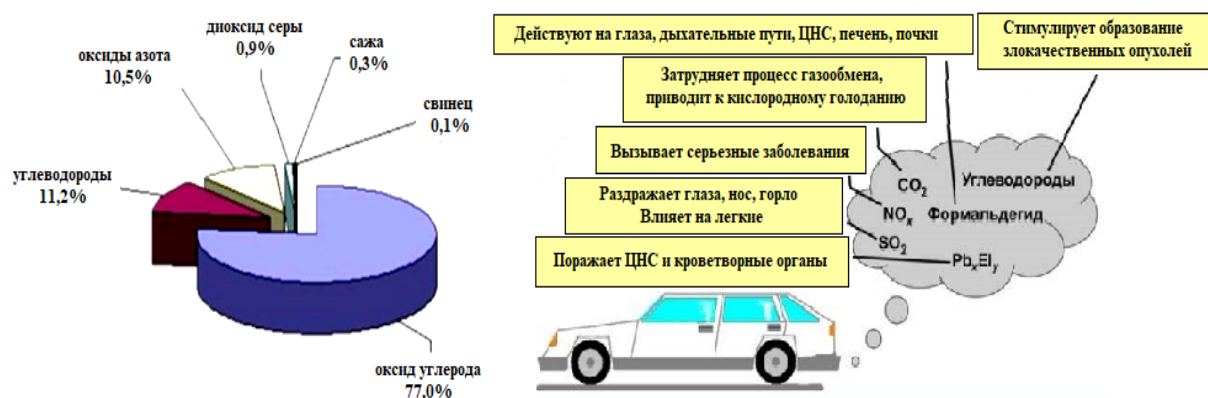


Рисунок 1 – Выбросы токсичных газов и твердых частиц от ДВС в атмосферу и воздействие выхлопных газов на организм человека

Figure 1 – Emissions of toxic gases and particulate matter from internal combustion engines into the atmosphere and the effects of exhaust fumes on the human body

Серьезная экологическая обстановка в мире заставляет искать решения по снижению токсичности выхлопных газов в атмосферу. Наглядным доказательством служат переходы на экологические стандарты, определяющие допустимый уровень вредных выбросов в выхлопных газах автомобилей. Экологический стандарт Евро-1 был введен в 1992 году и поспособствовал сокращению количества вредоносных выбросов. Через три года для усиленного контроля за безопасной работой транспортных средств с дизельным двигателем был учрежден Евро-2. В 2000 году был принят Евро-3, в результате чего до 40% снизился показатель допустимых вредных веществ. Евро-4 – установлен в 2005 году и требовал получения сертификата, подтверждающего, что двигатель ТС соответствует новым нормативам. Это еще позволило сократить объем вредных выбросов. Евро-5 введен в 2008 году. Стандарт Евро-6 появился на рынках Европы в 2015 году, что еще больше усилило требования для автомобилей, особенно на дизельном топливе [5].

В связи с серьезной обеспокоенностью в мире состоянием окружающей среды повышенные требования к двигателям становились все строже, поэтому, сменяли друг

друга и экологические топливные стандарты. Их появление повлияло как на автомобилестроение, так и на производство топлива. Были введены стандарты Евро для автомобилей с основными характеристиками топливных классов. Введение Евро-5 на топливо в РФ стало одним из ключевых событий в программе по улучшению экологической ситуации в стране. Стандарт был принят в РФ в 2013 году с целью установления более жестких требований к качеству топлива, снижения содержания серы и прочих вредных веществ.

Самый первый стандарт Евро-1 появился ещё в 1992 году — именно он фактически запустил процесс массового перехода от карбюраторов к системам впрыска топлива. С некоторой периодичностью эти требования менялись в сторону ужесточения, а выпуск на рынок неэкологичных автомобилей запрещался. Усложнялись системы впрыска, появились нейтрализаторы выхлопных газов и сложные системы рециркуляции. Сейчас в Европе действуют крайне жесткие требования Евро-6. В качестве примера можно сказать, что в России нельзя продавать на внутреннем рынке машины ниже класса Евро-5, с 2017 года в ПДД существуют знаки экологических классов (дорожные знаки 5.35-5.38 Приложения 1 ПДД) (рисунок 2) [6]. Ограничения уже действуют в Москве для грузовиков: с 2018 года большегрузам класса Евро-3 нельзя въезжать в пределы ТТК, а класса Евро-2 — в пределы МКАД.

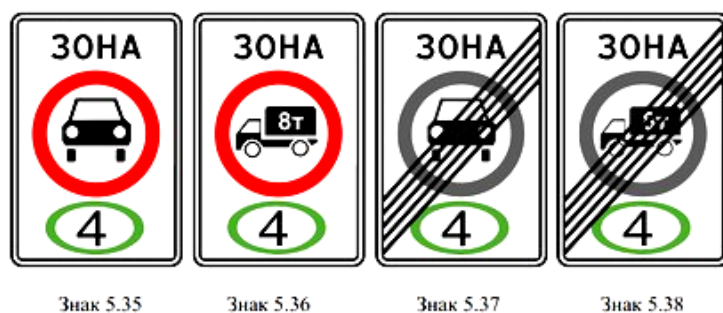


Рисунок 2 – Дорожные знаки, обозначающие зоны с ограничением экологических классов ТС

Figure 2 – Road signs indicating areas with restrictions on vehicle environmental classes

В качестве другого доказательства работы страны по улучшению экологической обстановки – перевод автотранспорта на альтернативные виды топлива (в первую очередь на газ) и электропривод. О серьезности вопроса говорит и то, что для решения этой задачи приняты Государственные программы перевода автотранспорта на газ и привилегии при приобретении машин на электроприводе. Однако быстро перевести мировой парк транспортных средств на другой вид энергии невозможно, в связи с его огромным количеством. Поэтому во всем мире ведутся работы по снижению вредных выбросов в атмосферу путем усовершенствования и модернизации существующих тепловых двигателей.

В качестве примера доказательства работы ученых мы видим повышение качества топлива путем использования современных технологий; использование присадок; фильтров; утилизация или нейтрализация вредных выбросов путем применения катализаторов. Внедрение рассмотренных методов с одной стороны позволяет снизить выбросы вредных газов в атмосферу. Реальная же картина состояния вопроса из-за все возрастающего количества автотранспорта говорит о чрезвычайной необходимости принятия дополнительных мер. И главное – эти меры необходимо применить к действующему автопарку с ДВС, особенно с низким показателем по нормам Евро. В качестве такой меры можно предложить доукомплектование существующих двигателей

системой водяного впрыска в топливно-воздушную смесь. Данный способ известен давно, но в основном он применялся с целью снижения детонации и форсирования двигателей. Однако до конвейерного производства данная технология не дошла.

Исследователи и энтузиасты, занимавшиеся в этой области, утверждают, что впрыск воды в ДВС нейтрализует до 60% вредных выбросов в атмосферу, снижает до 25% расход топлива для бензиновых и дизельных двигателей и повышает до 15% мощность двигателей.

Приведенные результаты требуют глубокого аналитического исследования, что представляет собой сложную задачу по совместному решению ряда нестационарных уравнений. Это касается определения основных энергетических характеристик двигателя: работы, КПД, мощности. Так, например, термический КПД, определяемый по уравнению:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{l_u}{q_1}, \quad (1)$$

где q_1 , q_2 – подведенная и отведенная теплота соответственно, Дж/кг; l_u – работа цикла, Дж/кг, зависит от количества подводимой и отводимой в цикле теплоты. В свою очередь количество подводимой в цикле теплоты зависит от теплоемкости вводимой в камеру сгорания смеси и температур начала (температура вводимой смеси) и конца (температура продуктов сгорания) процесса сгорания топлива:

$$q_1 = c_{всм}(T_3 - T_2), \quad (2)$$

где $c_{всм}$ – удельная теплоемкость смеси, Дж/(кг·К); T_2 , T_3 – температура смеси и продуктов сгорания соответственно, К.

Понятно, что с добавлением воды данные величины будут меняться. С одной стороны, количество подводимой теплоты должно уменьшаться, т.к. часть ее израсходуется на испарение воды и приведет к уменьшению температуры T_3 . С другой стороны, добавление воды увеличит плотность смеси, а значит массы свежего заряда, что поспособствует увеличению степени сжатия и среднего давления, определяемого в соответствии с выражением:

$$p_t = p_0 \frac{\varepsilon^k \eta_t}{(k-1)(\varepsilon-1)} (\lambda - 1), \quad (3)$$

где p_0 – давление в начале процесса сгорания, Па; ε – степень сжатия; k – показатель адиабаты; λ – степень повышения давления.

Данный эффект повышает КПД. Кроме того, хотя количество воды, подаваемой в виде пара в смесь невелико, водород и кислород, образовавшиеся при разложении воды повысят количество подводимой теплоты. Водород обладает наивысшей теплотой сгорания из всех применяемых углеводородных топлив (теплота сгорания водорода в воздухе 120...140 МДж/кг, в то время как у бензина 42...44 МДж/кг), а кислород, как чистый окислитель, поспособствует более полному сгоранию топлива.

В работах, посвященных водяному впрыску ранее, уже приводились экспериментальные данные, подтверждающие положительный эффект. В настоящее время вернулись к этой теме. Серьезно занялись такой работой в Томском политехническом университете, ученые которого совместно с коллегами из Федерального исследовательского центра проблем химической физики и медицинской химии (ФИЦ ПХФ и МХ) РАН провели эксперименты и с высокой точностью предсказали кинетические характеристики воспламенения и сгорания топлива с

добавлением воды. Результаты показали, что топливо с небольшой добавкой воды сгорает быстрее по сравнению с однородным углеводородным топливом. В ходе экспериментов ученые установили, что добавление воды к жидкому углеводородному топливу не только ускоряет процесс его сгорания, но и способствует снижению эмиссии оксидов серы и азота в атмосферу. Т.е. вода может выступать в роли триггера быстрого и интенсивного сгорания углеводородного топлива. Помимо этого, работы по водяному впрыску ведут ученые МАИ, ЮУрГАУ, а также вопросом использования воды в ДВС занимаются в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. Таким образом, это еще раз подтверждает, что исследования данного направления по модернизации ДВС с целью снижения токсичности выхлопных газов являются актуальными. А в связи с ухудшением экологической обстановки эти исследования должны быть более детальными. С этой целью разработана экспериментальная установка на базе четырехтактного бензинового двигателя (рисунок 3) [7].



Рисунок 3 – Экспериментальная установка для исследования эффективности работы поршневого двигателя при использовании смеси топлива и водяного пара
Figure 3 – Experimental setup for studying the efficiency of a piston engine using a mixture of fuel and water vapor

Отличие разработанной установки от известных предложений подачи воды в топливо-воздушную смесь заключается в том, что в нашем случае подача воды производится в виде насыщенного влажного воздуха (тумана). Для его получения используется ультразвуковой излучатель, помещенный в емкость с дистиллированной водой. В этом случае происходит получение мельчайших частиц воды и ее лучшее смешивание с топливо-воздушной смесью. Это в конечном итоге приводит к более полному сгоранию топлива и снижению количества токсичных газов в выхлопе.

Во всех без исключения экспериментах зафиксировано снижение уровня токсичных газов: окиси углерода (CO) порядка 5%, двуокиси углерода (CO₂) порядка 5%, углеводородов (CH) порядка 10%. Полученные результаты вселяют уверенность в правильном выборе варианта решения задачи и необходимости дальнейшего более глубокого экспериментального исследования и математического описания процессов и результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кульчинский, А. Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей / А. Р. Кульчинский. – Владимир : Издательство Владимирского государственного университета, 2000. – 253 с. – ISBN 5-89368-156-8.
2. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды. – URL: <https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/90/> (дата обращения 18.10.2025)
3. Ждать ли нам автоапокалипсис? – URL: <https://www.autostat.ru/articles/32922/> (дата обращения: 18.10.2025)
4. Вред выхлопных газов: влияние на здоровье человека. – URL: <https://бризекс.рф/blog/vred-vyhlopnih-gazov-vliyanie-na-zdorove-cheloveka> (дата обращения: 18.10.2025)
5. Экологические стандарты Евро. – URL: <https://www.autoopt.ru/articles/products/3458895> (дата обращения: 19.10.2025)
6. Правила дорожного движения РФ. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2709/abf54a3a53893a59aab95ff7cfb06d2ce2b47435 (дата обращения: 18.10.2025)
7. Разработка схемы экспериментальной установки ДВС с модернизированной системой подачи топливо-водо-воздушной смеси с целью снижения вредных выбросов в выхлопных газах / С. А. Толстов, С. Л. Панченко, А. С. Толстова [и др.] // Физические основы наукоемких технологий в современном мире : Материалы Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, посвящённой 80-летию со дня рождения профессора В. В. Постникова, приуроченной к 95-летию ВГЛУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, 15 апреля 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2025. – С. 136-141.

REFERENCES

1. Kulchinsky, A. R. Exhaust emission of automotiv and tractor engines / A. R. Kulchinsky. – Vladimir : Vladimir State University Press, 2000. – 253 p. – ISBN 5-89368-156-8.
2. Environment condition and pollution view. – URL: <https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/90/> (accessed: 18.10.2025).
3. Should we expect an auto-apocalypse? – URL: <https://www.autostat.ru/articles/32922/> (accessed: 18.10.2025)
4. The Harmful Effects of Exhaust Gases on Human Health. – URL: <https://бризекс.рф/blog/vred-vyhlopnih-gazov-vliyanie-na-zdorove-cheloveka> (accessed: 18.10.2025)
5. Ecological EURO Standarts– URL: <https://www.autoopt.ru/articles/products/3458895> (accessed: 19.10.2025)
6. Russian Federation traffic rules. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2709/abf54a3a53893a59aab95ff7cfb06d2ce2b47435 (accessed: 18.10.2025)
7. Development of a scheme for an experimental installation of an internal combustion engine with a modernized fuel-water-air mixture supply system in order to reduce harmful emissions in exhaust gases / S. A. Tolstov, S. L. Panchenko, A. S. Tolstova [et al.] // Physical basis of science-intensive technologies in the modern world: Proceedings of the All-Russian Scientific and Methodological Conference with International Participation, dedicated to the 80th anniversary of the birth of Professor V. V. Postnikov, timed to the 95th anniversary of VSUFT named after G.F. Morozov, Voronezh, April 15, 2025. – Voronezh : Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov., 2025. – P. 136-141.