

МОНИТОРИНГ И НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Я. ГХЕЛЛАБ, Ю. С. АНДРЕЕВ, М. В. КОЛЕСНИКОВ, И. В. МОХОВ

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: ghellabyahia@yahoo.com*

Представлен способ нейтрализации выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания в местах настройки, обкатки и регулировки. Приведены результаты экспериментальных исследований, доказывающие эффективность предложенного способа нейтрализации диоксида углерода в выхлопных газах, позволяющего сократить его концентрацию до допустимых значений в замкнутых пространствах. Разработано алгоритмическое и аппаратное обеспечение, обеспечивающее мониторинг величины выбросов основных загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух с выхлопными газами автомобильного транспорта в местах настройки, обкатки и регулировки, что позволило повысить безопасность работы обслуживающего персонала станций технического обслуживания.

Ключевые слова: мониторинг, нейтрализация выхлопных газов, двигатель внутреннего сгорания, жидкостная нейтрализация, диоксид углерода

Введение. Об ухудшении качества окружающей среды вследствие загрязнения свидетельствуют потеря растительности, биологического разнообразия, чрезмерное количество вредных химикатов в окружающей атмосфере и пищевых продуктах, а также растущие риски экологических катастроф и угроз для систем жизнеобеспечения. На качество воздуха, здоровье человека и на глобальное потепление климата негативно влияют нежелательные продукты, выделяемые двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

В качестве примера на рис. 1 приведен график прироста углекислого газа, как одного из основных составляющих выхлопных газов ДВС, в атмосфере начиная с 1984 г. (*а* — глобально усредненная молярная доля CO_2 , *б* — темпы ее роста с 1984 по 2019 гг. [1]).

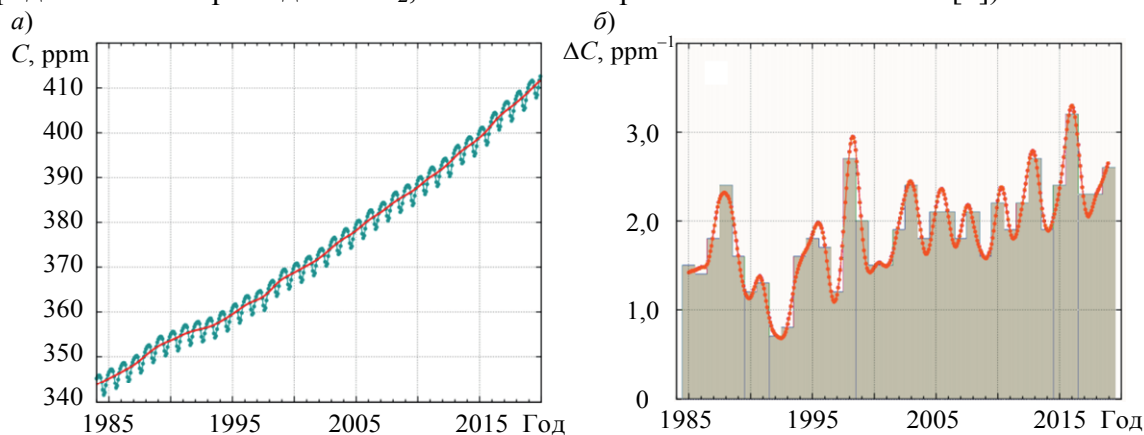


Рис. 1

Всемирная организация здравоохранения заявляет, что ежегодно умирают 2,4 млн человек от причин, непосредственно связанных с загрязнением окружающего воздуха, причем 1,5 млн этих смертей связаны с загрязнением воздуха внутри помещений. При настройке, обкатке и регулировке двигателей внутреннего сгорания активно выделяется углекислый газ, концентрация которого растет в замкнутом пространстве. В связи с этим возникает необходимость не только нейтрализации вредных веществ выхлопных газов, но и мониторинга состава окружающего воздуха, обеспечивающего своевременную реакцию работников станций технического обслуживания на увеличение допустимых значений концентрации вредных веществ.

Средства уменьшения загрязнений окружающего воздуха от двигателей внутреннего сгорания. С помощью систем контроля и доочистки выбросов загрязняющие вещества из выхлопных газов могут удаляться после того, как они покидают двигатель, непосредственно перед попаданием в окружающую среду [2, 3]. Большинство исследований и разработок для систем контроля выбросов дизельных и бензиновых двигателей направлено на снижение выбросов NO_x , CO , CH . Существенно сократить выбросы выхлопных газов ДВС позволяют различные виды нейтрализации (каталитическая, пламенная, термическая, жидкостная и др.) [4—9].

При нейтрализации выхлопных газов в закрытых помещениях используются мобильные фильтры. Обычно фильтры состоят из пластикового термостойкого корпуса с фильтрационным патроном внутри. На рис. 2 приведен пример установленного мобильного фильтра выхлопных газов [10].



Рис. 2

Для нейтрализации выхлопных газов в замкнутых пространствах также используется вытяжная вентиляция, которая предполагает присоединение шланга к выхлопной трубе и подключение его к вентилятору, который отводит выхлопные газы за пределы рабочего места (как правило, в окружающую среду). Вытяжная вентиляция обеспечивает удаление частиц дизельного топлива, а также газообразных выбросов, таких как оксиды азота и серы [11]. Недостаток этой системы заключается в том, что она не осуществляет нейтрализацию выхлопных газов, а служит только системой отвода их из рабочей зоны.

Следует отметить, что большинство технических средств для нейтрализации выхлопных газов ДВС требуют установки дополнительного оборудования на автомобиле, что влечет капитальные и эксплуатационные затраты.

Система нейтрализации выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания. Авторами разработана методика нейтрализации выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания. Суть способа жидкостной нейтрализации заключается в пропуске отработавших газов через слой воды, расположенной в специальном резервуаре в местах

обслуживания автомобильного транспорта (боксах), при этом обеспечиваются: водорастворение компонентов отработавших газов (альдегиды, окислы серы), нейтрализация высших окислов азота, улавливание жидкостью сажевых и других дисперсных частиц. Схема комплексной системы нейтрализации выхлопных газов ДВС представлена на рис. 3 (1 — автомобиль, 2 — выхлопная труба, 3 — шланг или труба для отвода выхлопных газов, 4 — резервуар, 5 — вода, 6 — крепление шланга (при транспортировке), 7 — люк, 8 — детектор диоксида углерода, 9 — автомобильный четырехкомпонентный газоанализатор „Инфракар М-1.02“).

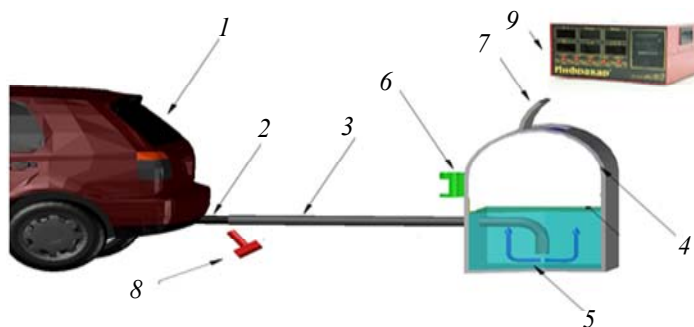


Рис. 3

Для подтверждения работоспособности предлагаемого способа разработаны программа и методика экспериментальных исследований с учетом требований ГОСТ*. Согласно программе и методике экспериментальных исследований, на первом этапе исследованы выхлопные газы ДВС автомобилей KIA Ceed, OPEL Mokka и KIA Sportage (в таблице приведены данные для KIA Ceed; λ — коэффициент избытка воздуха). На втором этапе оценивается влияние жидкостной нейтрализации выхлопных газов на концентрацию CO_2 в атмосфере. Содержание CO_2 после нейтрализации выхлопных газов над поверхностью резервуара определялось трижды при разных объемах жидкости (25, 35 и 45 л). На третьем этапе проведен химический анализ состава жидкости до и после насыщения выхлопными газами в течение восьми часов, с целью определения мероприятий по ее очистке или утилизации. При этом были проведены: отбор проб воды, при соблюдении требований стандартов, а также определен состав воды до и после насыщения выхлопными газами. Полученные результаты показали изменение показателя pH с 4,7 до 4,2, это объясняется химическими реакциями взаимодействия диоксида углерода с водой $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$. Анализ результатов измерения показателей воды показал, что вода безвредна по своему химическому составу, что позволяет ее утилизировать в общую канализационную систему без дополнительных переработки и очистки.

t, мин	Этап измерения	Объем жидкости, л	Среднее значение				
			CO, %	CH ₄ , %	CO ₂ , %	O ₂ , %	λ
4	I	0	0,04	118	14,02	0,48	1,023
8	II	0	0,04	111	14,20	0,49	1,024
12	III	25	0,03	66	8,92	11,49	1,022
16	IV	35	0,02	45	3,44	15,18	0
20	V	45	0,01	20	0,20	19,83	0

На рис. 4 приведен график среднего значения CO_2 на каждом этапе эксперимента. После стабилизации показаний состава, фиксируемого газоанализатором, выхлопные газы направлялись в резервуар, заполненный дистиллированной водой. На графике хорошо видно, что при увеличении количества воды содержание CO_2 сокращается, в результате зафиксировано

* ГОСТ Р 54942–2012. Выбросы вредных (загрязняющих) веществ с отработавшими газами. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния; ГОСТ 31861–2012. Общие требования к отбору проб воды.

снижение концентрации диоксида углерода до допустимых (0,5 %), согласно общим санитарно-гигиеническим требованиям к воздуху рабочей зоны*.

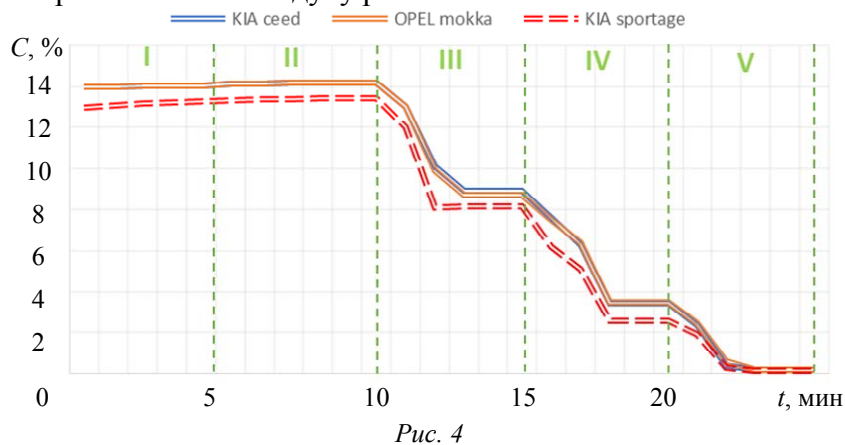


Рис. 4

Система мониторинга выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания в замкнутых пространствах. Для обеспечения безопасности работников станций технического обслуживания в работе предложена система мониторинга выхлопных газов. Система состоит из двух ключевых компонентов: сенсора CO₂ и модуля принятия решений (рис. 5).

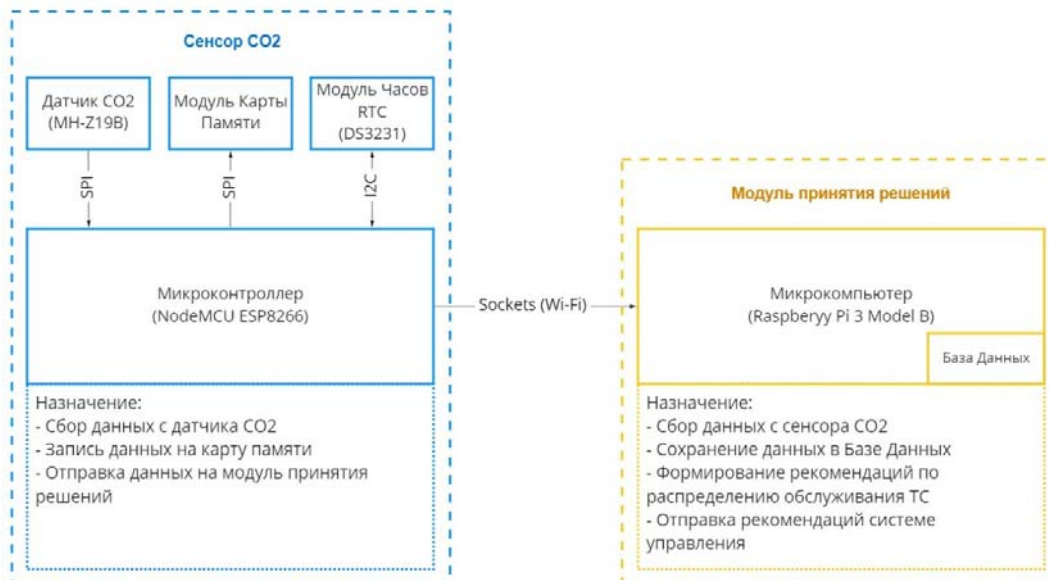


Рис. 5

В основе сенсора CO₂ лежит микроконтроллер NodeMCU v3 на базе ESP-12E. Микроконтроллер имеет возможность подключения к беспроводной сети Wi-Fi 2.4 ГГц и последующего взаимодействия с внешними устройствами или веб-сервисами. Измерение уровня CO₂ происходит при помощи инфракрасного оптического датчика CO₂ MH-Z19B. Датчик имеет диапазон измерений от 0 до 5000 ppm. Время первичной калибровки — до трех минут. Для сохранения полученных значений используется модуль карты памяти, подключенный к микроконтроллеру по интерфейсу SPI. Для регулярного опроса датчика CO₂ и отправки данных на сервер используется модуль часов реального времени (RTC) — DS1307, обеспечивающий бесперебойный подсчет времени благодаря независимому питанию от батареи CR2032 даже в случае отключения питания сенсора CO₂. Обмен данными с микроконтроллером осуществляется по интерфейсу I2C.

* ГН 2.2.5.2100-06 „Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны“.

Второй компонент разработанной системы представляет собой модуль принятия решений и выполняет роль основного обработчика полученных с сенсора CO₂ данных, его целями являются мониторинг и прогнозирование величины выбросов углекислого газа, а также формирование рекомендаций для оптимального распределения во времени сеансов обслуживания автомобилей, требующих продолжительной работы двигателя и выбросов выхлопных газов на станции технического обслуживания.

На рис. 6 представлен внешний вид аппаратной части предлагаемой системы мониторинга.



Рис. 6

Заключение. В работе предложен способ жидкостной нейтрализации выхлопных газов ДВС в местах их настройки, обкатки и регулировки. Разработана методика экспериментальных исследований, результаты которых показали сокращение концентрации CO₂ на 98,57 %. Предложена система мониторинга выхлопных газов, позволяющая повысить безопасность работы на станциях технического обслуживания автомобильного транспорта. Система обладает возможностью дополнения новыми датчиками, что позволит отслеживать изменения концентрации не только диоксида углерода, но и других вредных веществ и соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. WMO Greenhouse Gas Bulletin (GHG Bulletin). No. 16: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2019. 2020.
2. Prasad R., Bella V. R. A review on diesel soot emission, its effect and control // Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis. 2010. Vol. 5, N 2. P. 69.
3. Raatz T. et al. Emissions-control Technology for Diesel Engines. 1st edition. Robert Bosch GmbH, 2005. 133 p.
4. Zheng M., Banerjee S. Diesel oxidation catalyst and particulate filter modeling in active-flow configurations // Applied Thermal Engineering. 2009. Vol. 29, N 14—15. P. 3021—3035.
5. Wang T. J., Baek S. W., Lee J. H. Kinetic parameter estimation of a diesel oxidation catalyst under actual vehicle operating conditions // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2008. Vol. 47, N 8. P. 2528—2537.
6. Kolli T. et al. The activity of Pt/Al₂O₃ diesel oxidation catalyst after sulphur and calcium treatments // Catalysis Today. 2010. Vol. 154, N 3—4. P. 303—307.
7. Kim M. R., Kim D. H., Woo S. I. Effect of V₂O₅ on the catalytic activity of Pt-based diesel oxidation catalyst // Applied Catalysis B: Environmental. 2003. Vol. 15, N 4. P. 269—279.
8. Biswas S. et al. Chemical speciation of PM emissions from heavy-duty diesel vehicles equipped with diesel particulate filter (DPF) and selective catalytic reduction (SCR) retrofits // Atmospheric Environment. 2009. Vol. 43, N 11. P. 1917—1925.

9. Hamada H., Haneda M. A review of selective catalytic reduction of nitrogen oxides with hydrogen and carbon monoxide // *Applied Catalysis A: General*. 2012. Vol. 421. P. 1—13.
10. Satom—Киров, 2021 [Электронный ресурс]: <<https://kabelsnabservis.satom.ru/p/135144076-filtry-vyhlopnih-gazov/>> (19.04.2021).
11. Smith K. R. et al. Indoor air pollution in developing countries and acute lower respiratory infections in children // *Thorax*. 2000. Vol. 55, N 6. P. 518—532.

Сведения об авторах

- Яхья Гхеллаб** — Университет ИТМО; факультет систем управления и робототехники; исследователь, преподаватель-исследователь; E-mail: ghellabyahia@yahoo.com
- Юрий Сергеевич Андреев** — канд. техн. наук; Университет ИТМО; факультет систем управления и робототехники; доцент; E-mail: ysandreev@itmo.ru
- Михаил Владимирович Колесников** — аспирант; Университет ИТМО; факультет систем управления и робототехники; E-mail: kmv@itmo.ru
- Илья Витальевич Мохов** — студент; Университет ИТМО; факультет систем управления и робототехники; E-mail: ilya@mokhov.vg

Поступила в редакцию
27.09.2021 г.

Ссылка для цитирования: Гхеллаб Я., Андреев Ю. С., Колесников М. В., Мохов И. В. Мониторинг и нейтрализация выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2021. Т. 64, № 12. С. 1003—1009.

MONITORING AND NEUTRALIZATION OF EXHAUST GASES OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Ya. Ghellab, Yu. S. Andreev, M. V. Kolesnikov, I. V. Mokhov

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia
E-mail: ghellabyahia@yahoo.com

A technique and method of neutralization of exhaust gases of internal combustion engines in the places of tuning, running-in, and adjustment are presented. Results of experimental studies proving the effectiveness of the method of neutralization of carbon dioxide (CO₂) in exhaust gases, which allows reducing its concentration to acceptable values in closed spaces, are presented. Algorithmic software and hardware are developed to provide monitoring of the emissions of the main pollutants entering the atmospheric air with exhaust gases of motor transport at the places of their tuning, running-in, and adjustment, which made it possible to increase the safety of the maintenance personnel of service stations.

Keywords: monitoring, neutralization of exhaust gases, internal combustion engine, liquid neutralization, carbon dioxide

REFERENCES

1. WMO Greenhouse Gas Bulletin (GHG Bulletin), No. 16: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2019. 2020.
2. Prasad R., Bella V.R. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 2010, no. 2(5), pp. 69.
3. Raatz T. et al. *Emissions-control Technology for Diesel Engines*, 1-st edition, Robert Bosch GmbH, 2005. 133 p.
4. Zheng M., Banerjee S. *Applied Thermal Engineering*, 2009, no. 14-15(29), pp. 3021–3035.
5. Wang T.J., Baek S.W., Lee J.H. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2008, no. 8(47), pp. 2528–2537.
6. Kolli T. et al. *Catalysis Today*, 2010, no. 3-4(154), pp. 303–307.
7. Kim M.R., Kim D.H., Woo S.I. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2003, no. 4(15), pp. 269–279.
8. Biswas S. et al. *Atmospheric Environment*, 2009, no. 11(43), pp. 1917–1925.
9. Hamada H., Haneda M. *Applied Catalysis A: General*, 2012, no. 421, pp. 1–13.
10. <https://kabelsnabservis.satom.ru/p/135144076-filtry-vyhlopnih-gazov/>.
11. Smith K.R. et al. *Thorax*, 2000, no. 6(55), pp. 518–532.

Data on authors

- Yahia Ghellab** — ITMO University, Faculty of Control Systems and Robotics; Researcher, Lecturer-Researcher; E-mail: ghellabyahia@yahoo.com
- Yury S. Andreev** — PhD; ITMO University, Faculty of Control Systems and Robotics; Associate Professor; E-mail: ysandreev@itmo.ru
- Mikhail V. Kolesnikov** — Post-Graduate Student; ITMO University, Faculty of Control Systems and Robotics; E-mail: kmv@itmo.ru
- Ilya V. Mokhov** — Student; ITMO University, Faculty of Control Systems and Robotics; E-mail: ilya@mokhov.vg

For citation: Ghellab Ya., Andreev Yu. S., Kolesnikov M. V., Mokhov I. V. Monitoring and neutralization of exhaust gases of internal combustion engines. *Journal of Instrument Engineering*. 2021. Vol. 64, N 12. P. 1003—1009 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-12-1003-1009