

УДК 658.512

doi:10.15217/issn1684-8853.2015.2.37

ЗАМКНУТАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИЗАЦИЕЙ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЕЙ

Р. И. Сольнищев^а, доктор техн. наук, профессор

Г. И. Коршунов^а, доктор техн. наук, профессор

О. В. Баранова^а, магистрант

^аСанкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, РФ

Введение: среди направлений решения проблемы нейтрализации отработавших газов автомобиля наибольшее распространение получили методы и средства каталитической нейтрализации. Исследования показали, что подогрев катализатора для решения задач нейтрализации оказывается необходимым. Однако системы управления температурой катализатора по критерию минимизации вредных отработавших газов в известных работах не рассматривались. Целью исследования является разработка нового способа нейтрализации, основанного на построении замкнутой системы управления (регулирования, стабилизации) температурного режима. **Результаты:** анализ факторов, влияющих на эффективность катализатора, показал, что его нагревание повышает каталитические свойства. Разработана структура автоматической глобальной и локальной замкнутых систем управления процессом нейтрализации, которые обеспечивают нагрев катализатора только в моменты повышения концентрации вредных отработавших газов. Системы управления с оператором водителем также позволяют отслеживать процесс нейтрализации. Анализ функциональных зависимостей концентрации отработавших газов от температуры катализатора для обеспечения соответствия стандартам показал, что использование замкнутой системы регулирования температурного режима позволяет достигнуть требуемых норм. **Практическая значимость:** предлагаемый способ позволяет принципиально снизить количество отработавших газов в выбросах автомобилей, а приведенные в статье результаты исследований служат основой для отработки аппаратно-программных средств конструкторско-технологических решений и последующего серийного внедрения управляемых каталитических нейтрализаторов в автомобильную промышленность.

Ключевые слова — каталитический нейтрализатор, регулирование температуры катализатора, замкнутая система автоматического управления, транспортные средства, отработавшие газы автомобиля.

Введение

Процесс горения при работе двигателя автомобиля не совершенен — выделяется определенное количество токсичных ингредиентов выхлопных газов, в том числе: окись углерода (СО) — ядовитый газ без цвета и запаха; углеводороды (СН), известные как летучие органические соединения, один из главных компонентов смога; оксиды азота (NO и NO₂), часто объединяемые под обозначением NO_x, которые являются компонентом смога, а также кислотных дождей [1].

Для снижения уровня вредных выбросов выхлопных газов распространение получили каталитические преобразователи [2, 3]. Однако недостатками каталитического преобразователя являются:

- существенная зависимость от температуры;
- высокая чувствительность к качеству топлива (выходит из строя при содержании соединений свинца, при изменении октанового числа);
- спекание керамики из-за неисправности системы зажигания, что приводит к закупорке системы выхлопа отработавших газов и, следовательно, потере мощности вплоть до полной остановки двигателя.

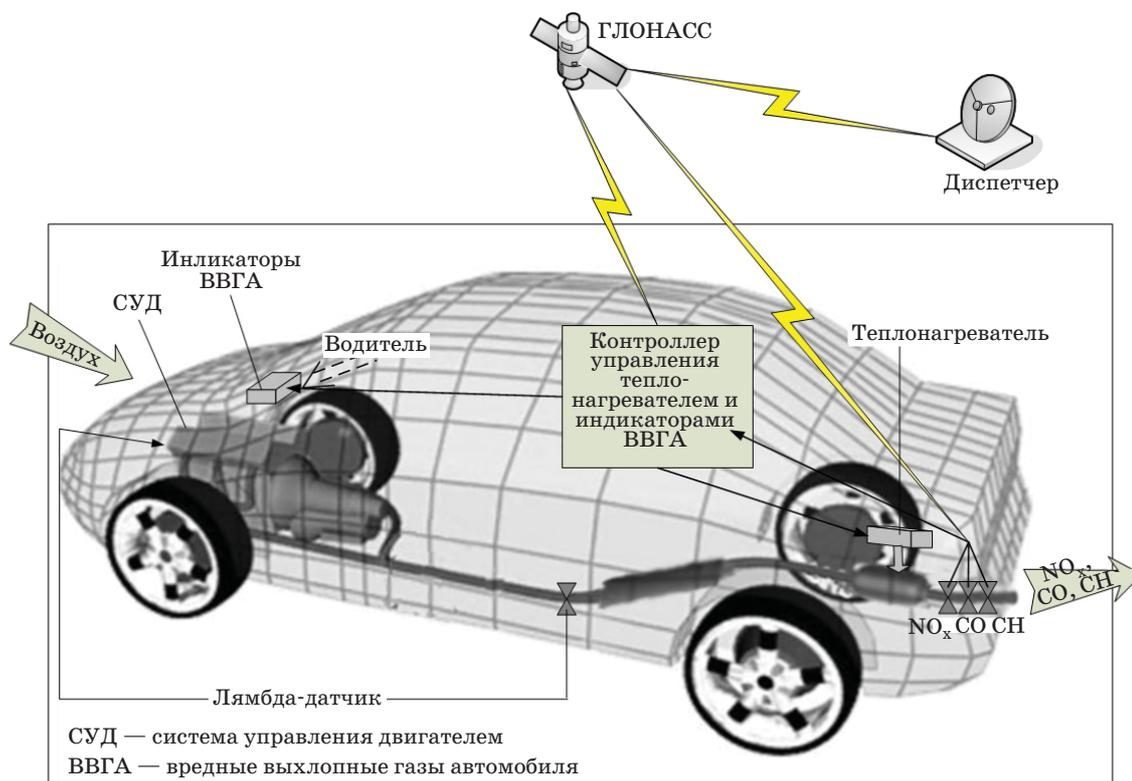
Работа катализаторов без управления процессом катализа на основе измеренных количеств СО,

NO_x, СН не обеспечивает их рационального использования по эффективности и ресурсу.

Рассматриваемая в статье замкнутая система управления нейтрализацией выхлопных газов автомобиля [4] позволяет увеличить скорость протекания химической реакции нейтрализации вредных веществ и тем самым значительно снижает уровень отработавших газов автомобиля (ОГА). Представим эту систему подробнее.

Замкнутая система управления нейтрализацией отработавших газов автомобиля

Замкнутая система управления нейтрализацией отработавших газов автомобиля (ЗСУНОГА) (рис. 1) по защищенному патентом способу [4] входит в общее направление системы управления «Природа-Техногеника» [5] и отличается от известных тем, что измерители вредных ОГА в составе подвижной замкнутой системы управления встраиваются в выхлопную систему автомобиля, сигналы измерений ОГА передаются на средства визуализации водителя, приемники ГЛОНАСС для регистрации и через автоматическую обратную связь преобразуются в управляющие сигналы блоков компенсации ОГА, которые в свою очередь изменяют установку



■ Рис. 1. Функциональная схема ЗСУНОГА

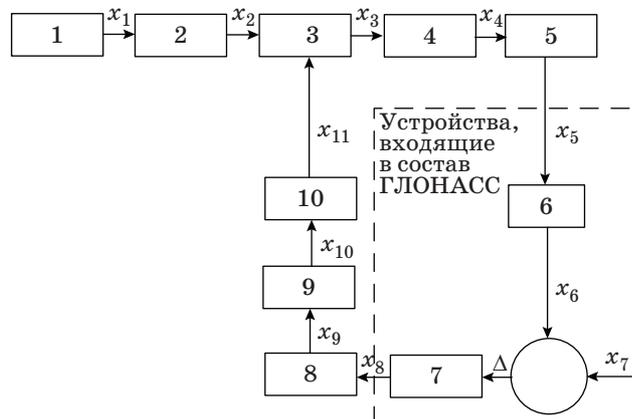
в блоках компенсации в сторону минимизации этих выбросов только в необходимое время с привязкой к координатам движущегося или стоящего автомобиля. Источник энергии, потребляемой электронагревателем, на рисунке не представлен.

Техническим результатом, достигаемым при реализации ЗСУНОГА (рис. 2), является повышение эффективности очистки отработавших газов и надежности (ресурса) катализатора за счет того, что в систему дополнительно введены датчики концентрации (количества) окислов углерода, азота, углеводородов; блоки индикации вредных выбросов для водителя и диспетчера технадзора; блок беспроводной связи с блоком управления нагревателем катализатора и передатчиком ГЛОНАСС.

Катализатор с теплонагревателем конструктивно перемещается к выхлопной трубе, что позволяет наиболее просто решить задачу стабилизации температурного режима для эффективного процесса катализа.

Локальная система отличается от системы с включением блоков ГЛОНАСС заменой блоков модуля ГЛОНАСС на соответствующие соединения внутри автомобиля.

Замкнутая система управления нейтрализацией отработавших газов автомобиля основана на системе управления работой катализатора.



■ Рис. 2. Замкнутая система управления нейтрализацией отработавших газов автомобилей

На рис. 2¹ представлены: 1 — двигатель; x_1 — $\text{CO} + \text{O}_2$; 2 — выхлопная труба; x_2 — CO ; 3 — катализатор; x_3 — CO^* (остаток CO) + CO_2 ; 4 — датчик CO ; x_4 — измеренная величина CO^* (CO^{**}); 5 — передатчик сигнала CO^{**} автомобиля;

¹ Рассматривается только нейтрализация CO ввиду ограниченности объема статьи, подробности см.: Нейтрализация выхлопных газов автомобиля: отчет о НИР / ГУАП; Научный руководитель Р. И. Сольницев. № ГР 114071570019. — СПб., 2014. — 200 с.

x_5 — сигнал с передатчика автомобиля; b — приемник системы ГЛОНАСС; x_6 — сигнал с приемника ГЛОНАСС; x_7 — предельно-допустимая концентрация (ПДК) по СО; Δ — ошибка регулирования (стабилизации); 7 — передатчик системы ГЛОНАСС; x_8 — сигнал с передатчика ГЛОНАСС; 8 — приемник сигнала x_8 автомобиля; x_9 — сигнал с приемника автомобиля; 9 — контроллер; x_{10} — сигнал управления с контроллера; 10 — нагреватель; x_{11} — тепловое воздействие на катализатор. В качестве способа управления предлагается использовать электрическое нагревание катализатора до его рабочих температур. Электрический нагрев катализатора дает возможность обойтись без энергии, затрачиваемой двигателем на нагрев катализатора горячими газами.

Анализ приведенных в работах [6–8] результатов экспериментальных исследований разомкнутых систем нейтрализации ОГА с катализатором фирмы Emites по методике NEDC [9] позволил получить зависимости температуры нагревателя катализатора от времени $T^\circ = 0,0002t^3 - 0,0499t^2 + 4,7519t + 26,567$ (рис. 3, а) и снижения концентрации СО от температуры катализатора $CO^*(T^\circ) = 2,2251e^{-0,008T^\circ}$ (рис. 3, б).

Из графиков следует, что выход на рабочие режимы катализатора происходит за 100–120 с, что приводит к снижению содержания СО более чем на 50 % [8].

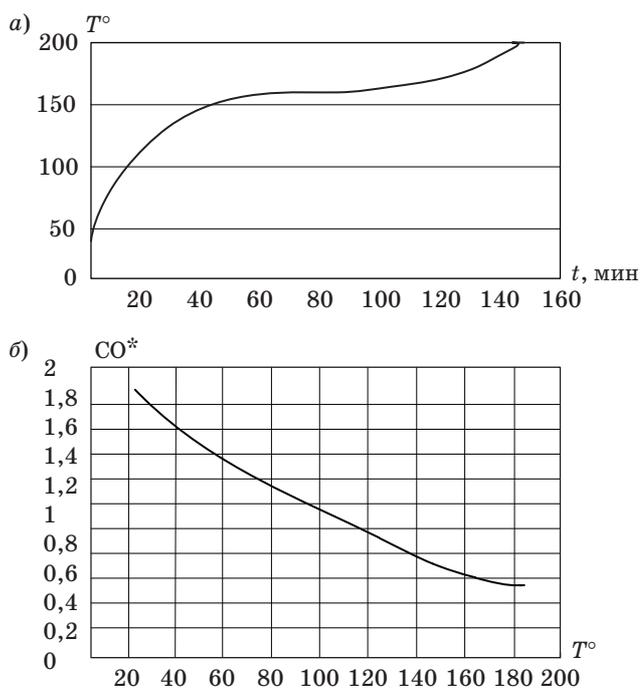
Предлагается три типа замкнутой системы нейтрализации ОГА.

1. Система нейтрализации отработавших газов автомобиля (СУНОГА) с оператором (водителем). В этом варианте при штатном составе выхлопного агрегата (рис. 4) нагревание катализатора производится сразу при включении двигателя от источника-генератора с преобразователем. Датчики передают измеренные данные на контроллер, который с помощью программы определяет допустимый порог концентрации (количества) ОГА. В случае превышения ПДК контроллер подает тревожный сигнал на индикатор,

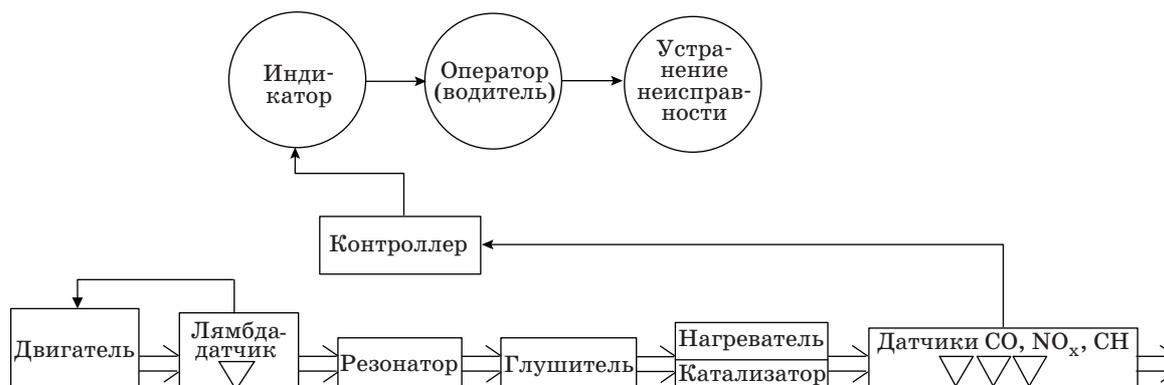
размещенный на приборной панели автомобиля. Водитель, получивший сигнал, принимает решение по устранению неисправности.

2. Локальная замкнутая система управления нейтрализацией отработавших газов автомобиля (ЛЗСУНОГА). Измеренные концентрации ОГА также передаются на контроллер, который управляет нагревателем, расположенным в катализаторе, доводя его до оптимальной рабочей температуры в режиме автоматического регулирования. При этом обеспечивается минимизация ОГА в соответствии с ПДК ОГА в режиме автоматической стабилизации (рис. 5).

Датчики СО, NO_x, СН соединяются с контроллером, который считывает информацию о концен-



■ Рис. 3. Зависимость температуры нагревания катализатора T_n° от времени (а) и снижения концентрации СО от температуры (б)

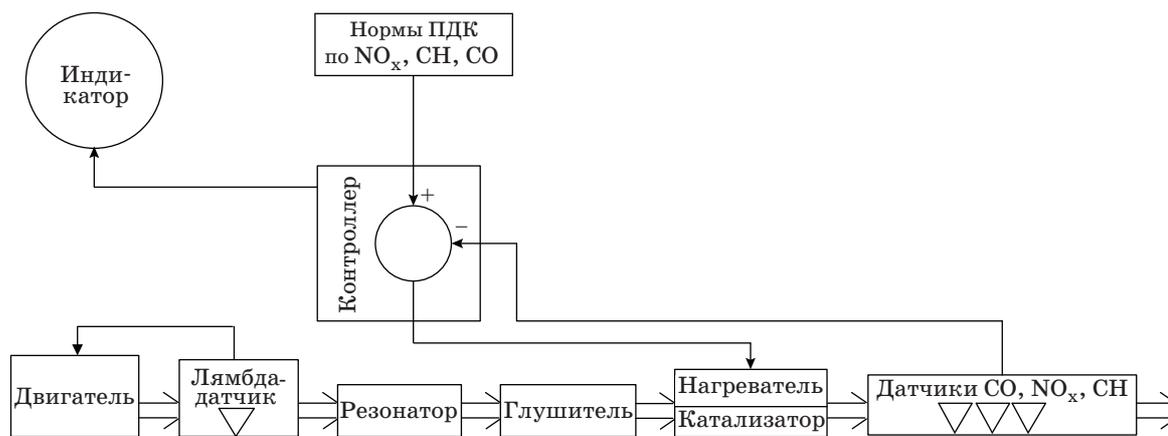


■ Рис. 4. Система нейтрализации выхлопных газов автомобиля с оператором

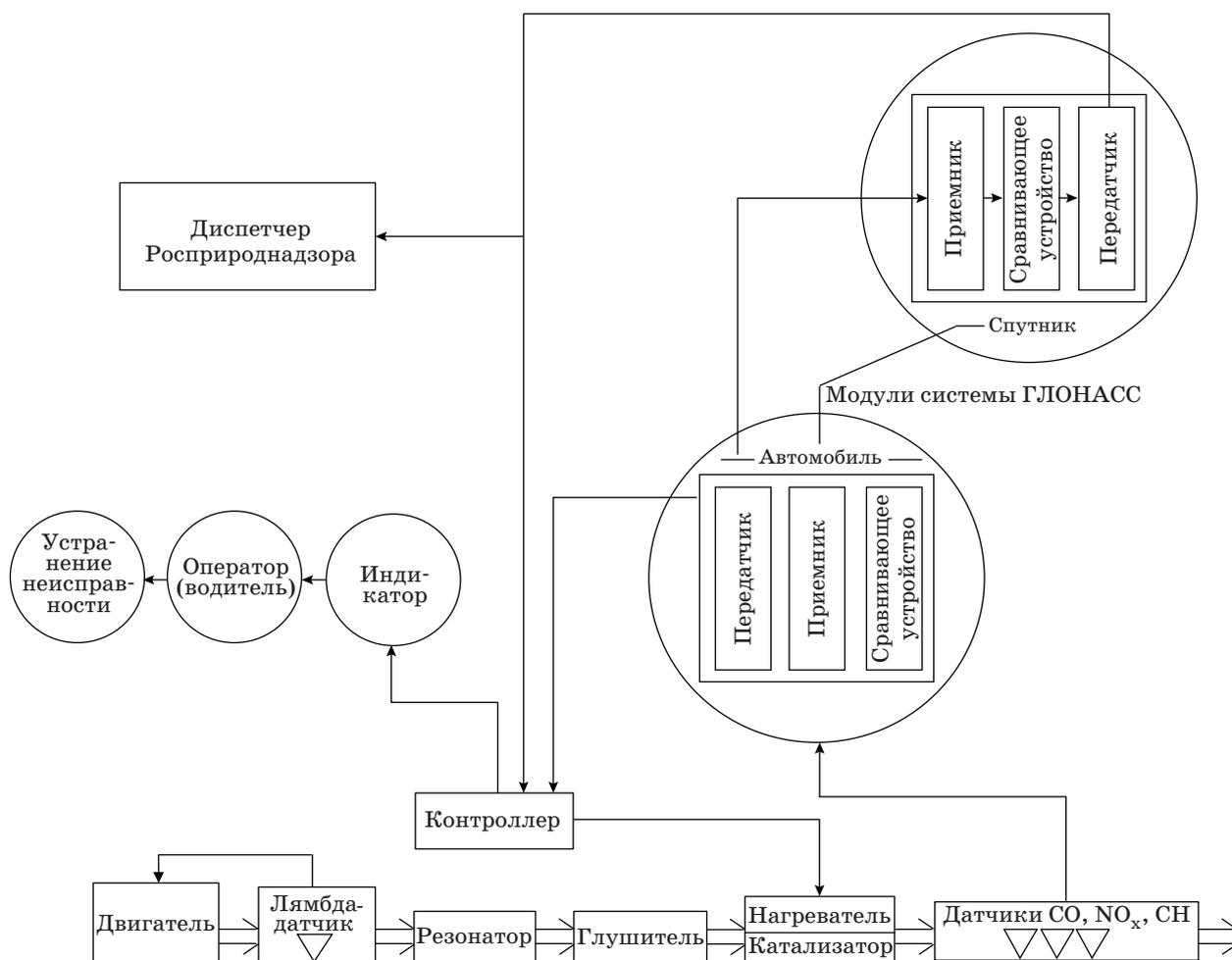
трации (количестве) ОГА, подает сигнал на индикатор, который сообщает о превышении ОГА, управляет теплонагревателем катализатора в составе замкнутой автоматической системы регулирования. Сравнение измеренных величин ОГА

с установленными по нормам ПДК происходит на контроллере.

3. Глобальная замкнутая система управления нейтрализацией отработавших газов автомобиля (ГЗСУНОГА) повторяет структуру ЛЗСУНОГА



■ Рис. 5. Локальная система управления нейтрализацией отработавших газов автомобиля



■ Рис. 6. Глобальная замкнутая система управления нейтрализацией отработавших газов автомобиля

с дополнением модулей ГЛОНАСС [10]. Сигналы с датчиков ОГА поступают на приемники ГЛОНАСС. Там происходит их регистрация и по автоматической обратной связи — преобразование в управляющие сигналы блоков компенсации ОГА, которые в свою очередь изменяют уставку в исполнительных элементах в сторону минимизации ОГА (рис. 6).

К датчикам CO, NO_x, СН подключен блок, который входит в модуль ГЛОНАСС. Он считывает информацию, передает ее в приемник ГЛОНАСС, и далее осуществляется передача информации диспетчеру Росприроднадзора и контроллеру, управляющему катализатором с теплонагревателем. Контроллер считывает информацию о концентрации (количестве) ОГА, подает сигнал на индикатор, управляет теплонагревателем в составе замкнутой системы регулирования с включением модулей ГЛОНАСС.

Сравнение измеренной концентрации (количества) ОГА с установленными по нормам ПДК происходит в модуле ГЛОНАСС.

Предложенные в статье решения основаны на предыдущих материалах по созданию систем управления «Природа-Техногеника» [11], направлены на удовлетворение требований между-

народных и российских стандартов и соответствуют нормативам [10–15]:

— стабилизация температуры катализатора в зоне его эффективной работы обеспечивает локальное управление нагреванием без излишнего расхода ресурсов двигателя при форсированном запуске;

— достигается снижение расхода топлива в соответствии с пределами ОГА, устанавливаемыми стандартами;

— перемещение катализатора к задней части выхлопной системы в сочетании с термической массой удаляемых компонентов согласуется с требованиями стандарта [12];

— предложенные структуры систем обеспечивают проведение исследований и испытаний системы управления нейтрализацией отработавших газов автомобилей в соответствии с требованиями международных стандартов.

Заключение

Рассмотренные в статье задачи повышения эффективности нейтрализации ОГА и решение этих задач предложенными средствами ЗСУНОГА показывают перспективность и широкие возможности по внедрению ЗСУНОГА в автомобильную промышленность.

Литература

1. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2012 году/ под ред. Д. А. Голубева, Н. Д. Сорокина. — СПб.: Сезам-Принт, 2013. — 173 с.
2. Автомобильный катализатор и его роль в выхлопной системе. <http://autorelease.ru/> (дата обращения: 13.02.2015).
3. Как работает каталитический нейтрализатор в выхлопной системе автомобиля. <http://avto-i-avto.ru/ustrojstvo-avto/ustrojstvo-i-kak-rabotaet-kataliticheskij-nejtralizator-v-vuxlopoj-sisteme-avtomobilya.html> (дата обращения: 13.02.2015).
4. Пат. 2012145342/06 РФ МПК-F01N 3/28. Каталитический нейтрализатор вредных выбросов автомобиля в атмосферу/ Р. И. Солнцева, Г. И. Коршунов. — № 2511776; заявл. 24.10.2012; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 10. — 3 с.
5. Солнцева Р. И., Коршунов Г. И. Системы управления «природа-техногеника». — СПб.: Политехника, 2013. — 206 с.
6. Official website of the Manufacturer of the Catalyst with a Heater Emitec. <http://www.emitec.com/en/> (дата обращения: 13.02.2015).
7. Manuel Presti, Lorenzo Pace. An Alternative Way to Reduce Fuel Consumption During Cold Start: the Electrically Heated Catalyst//SAE International. 2011. http://www.emitec.com/fileadmin/user_upload/Bibliothek/Vortraege/11ICE_0255_Final_Manuel_Presti.pdf (дата обращения: 13.02.2015).
8. Martin Weiss, et al. Analyzing on-Road Emissions of Light-Duty Vehicles with Portable Emission Measurement Systems (PEMS)// JRC Scientific and Technical Reports. 2011. http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/docs/2011_pems_jrc_62639_en.pdf (дата обращения: 13.02.2015).
9. Европейский цикл движения NEDC для типовых испытаний. <http://ustroistvo-avtomobilya.ru/sistemy-snizheniya-toksichnosti/evropejskij-tsikl-dvizheniya-nedc-dlya-tipovyh-ispytanij/> (дата обращения: 13.02.2015).
10. Официальный сайт компании «НАВИА». <http://naviaglonass.ru/> (дата обращения: 13.02.2015).
11. Официальный сайт Международного института инжиниринга в экологии и безопасности жизнедеятельности. <http://iehs.ru> (дата обращения: 13.02.2015).
12. ГОСТ Р 41.101-99. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей, оборудованных двигателем внутреннего сгорания, в отношении измерения объема выбросов двуокиси углерода и расхода топлива, а также транспортных средств категорий M1 и N1, оборудованных электроприводом, в отношении расхода электроэнергии и запаса хода. — М.: Изд-во стандартов, 2000. — 41 с.

13. **Вредные вещества в промышленности: справочник для химиков, инженеров и врачей.** Изд. 7-е, перераб. и доп. В 3 т. Т. III. Неорганические и элементарноорганические соединения. — Л.: Химия, 1977. — 608 с.
14. **Система выхлопа.** <http://carmanz.com/volkswagen/polo-2001/8412-polo200110-8.html> (дата обращения: 13.02.2015).

15. **Peter Mock, et al. Discrepancies between Type-Approval and “Real-World” Fuel Consumption and CO₂ Values//International Council on Clean Transportation.** http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EU_fuelconsumption2_workingpaper_2012.pdf (дата обращения: 13.02.2015).

UDC 658.512

doi:10.15217/issn1684-8853.2015.2.37

Closed System for Car Exhaust Emission Neutralization ControlSolnitsev R. I.^a, Dr. Sc., Tech., Professor, remira70@mail.ruKorshunov G. I.^a, Dr. Sc., Tech., Professor, kgi@pantes.ruBaranova O. V.^a, Post-Graduate Student, oa9ljp@list.ru^aSaint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67, B. Morskaia St., 190000, Saint-Petersburg, Russian Federation

Purpose: The most common methods of neutralizing harmful car emissions are based on catalytic neutralization. It has been shown that the catalyst should be heated up. However, the available papers have never discussed possible systems of control over the catalyst temperature according to the harmful emission minimization criterion. This paper discusses a new neutralization mode based on catalyst temperature control (regulation, stabilization). **Results:** Analyzing the factors which affect the catalysis effectiveness shows that the catalytic properties are better when the catalyst is heated up. A structure was developed for local and global automated closed systems which control the neutralization process by heating up the catalyst only in the moments when the concentration of the harmful exhaust gases is high. These control systems with an operator (driver) also allow us to trace the neutralization process. The exhaust gas concentration functionally depends on the catalyst temperature in such a way that using a closed system of temperature control will help to reach the required standards. **Practical relevance:** The proposed method can considerably decrease the harmful car exhaust emissions. The results of this research can be a foundation for developing hardware and software technological solutions for controlled catalytic converters and their subsequent introduction into the automotive industry.

Keywords —Catalyst Neutralizer, Catalyst Temperature Regulation, Closed System of Automatic Control, Road Vehicles, Car Exhaust Emissions.

References

1. *Doklad ob ekologicheskoi situatsii v Sankt-Peterburge v 2012 godu* [A Report on the Environmental Situation in Saint-Petersburg in 2012]. Ed. by D. A. Golubev, N. D. Sorokin. Saint-Petersburg, Sesame-Print Publ., 2013. 173 p. (In Russian).
2. *Avtomobil'nyi katalizator i ego rol' v vykhlopnoi sisteme* [Automobile Catalyst and its Role in the Exhaust System]. Available at: <http://autorelease.ru/> (accessed 13 February 2015).
3. *Kak rabotaet kataliticheskii neitralizator v vykhlopnoi sisteme avtomobilya* [How Working a Catalytic Converter in the Exhaust System of a Vehicle]. Available at: <http://avto-avto.ru/ustrojstvo-avto/ustrojstvo-i-kak-rabotaet-kataliticheskij-neitralizator-v-vykhlopnoi-sisteme-avtomobilya.html> (accessed 13 February 2015).
4. Solnitsev R. I., Korshunov G. I. *Kataliticheskij neitralizator vrednykh vybrosov avtomobilja v atmosferu* [Catalytic converter emissions vehicle into the atmosphere]. Patent RF, no. 2012145342/06, 2012.
5. Solnitsev R. I., Korshunov G. I. *Sistemy upravleniia "priroda-tehnogenika"* [Control Systems "Nature-Tehnogenika"]. Saint-Petersburg, Politehnika Publ., 2013. 206 p. (In Russian).
6. *Official website of the Manufacturer of the Catalyst with a Heater Emitec.* Available at: <http://www.emitec.com/en/> (accessed 13 February 2015).
7. Manuel Presti, Lorenzo Pace. *An Alternative Way to Reduce Fuel Consumption During Cold Start: the Electrically Heated Catalyst.* *SAE International*, 2011. Available at: http://www.emitec.com/fileadmin/user_upload/Bibliothek/Vortraege/11ICE_0255_Final_Manuel_Presti.pdf (accessed 13 February 2015).
8. Martin Weiss, et al. *Analyzing on-Road Emissions of Light-Duty Vehicles with Portable Emission Measurement Systems (PEMS).* *JRC Scientific and Technical Reports*, 2011. Available at: http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/docs/2011_pems_jrc_62639_en.pdf (accessed 13 February 2015).
9. *Evropeiskii tsikl dvizheniia NEDC dlia tipovykh ispytanii* [European Driving Cycle NEDC Type Test]. Available at: <http://ustroistvo-avtomobilya.ru/sistemy-snizheniya-tok-sichnosti/evropejskij-tsikl-dvizheniya-nedc-dlya-tipovykh-ispytanij/> (accessed 13 February 2015).
10. *Ofitsial'nyi sait kompanii "NAVIA"* [Official website of Company "NAVIA"]. Available at: <http://naviglonass.ru/> (accessed 13 February 2015).
11. *Official website of the International Institute of Engineering in Ecology and Life Safety.* Available at: <http://iehs.ru> (accessed 13 February 2015).
12. State Standard 41.101-99. *Uniform Provisions Concerning the Approval of Passenger Cars Equipped with an Internal Combustion Engine with Regard to the Measurement of the Emission of Carbon Dioxide and Fuel Consumption and of Categories M1 and N1 Vehicles Equipped with an Electric Power Train with Regard to the Measurement of Electric Energy Consumption and Range.* Moscow, Standartov Publ., 2000. 41 p. (In Russian).
13. *Vrednye veshchestva v promyshlennosti. T. III. Neorganicheskie i elementorganicheskie soedineniia* [Harmful Substances in the Industry. Vol. III. Inorganic and Organoelement Compounds]. Leningrad, Khimiia Publ., 1977. 608 p. (In Russian).
14. *Sistema vykhlopa* [Exhaust System]. Available at: <http://carmanz.com/volkswagen/polo-2001/8412-polo200110-8.html> (accessed 13 February 2015).
15. Peter Mock, et al. *Discrepancies between Type-Approval and “Real-World” Fuel Consumption and CO₂ Values.* *International Council on Clean Transportation.* Available at: http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EU_fuelconsumption2_workingpaper_2012.pdf (accessed 13 February 2015).