УДК 629.331

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-6-180-184

© И. С. Граевский, аспирант

© I. S. Graewskij, post-graduate student

© И. О. Черняев, канд. техн. наук, доцент

© I. O. Chernyaev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

E-mail: igor.graewsky@mail.ru, chernyaev@rambler.ru

E-mail: igor.graewsky@mail.ru, chernyaev@rambler.ru

МЕХАНИЗМ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ СОБЛЮДЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВАМ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

THE MECHANISM OF CONTINUOUS MONITORING OF COMPLIANCE WITH ENVIRONMENTAL REQUIREMENTS FOR VEHICLES IN OPERATION

Рассматривается возможность непрерывного контроля технического состояния автотранспортных средств, а именно состава отработавших газов. Предложен механизм, позволяющий без установки дополнительных датчиков получать информацию о составе отработавших газов по результатам анализа параметров работы двигателя, доступных по стандартному протоколу OBDII. Для анализа результатов описано применение искусственных нейронных сетей. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие выдвинутые гипотезы.

Ключевые слова: экологическая безопасность, диагностика автомобиля, OBDII, искусственная нейронная сеть.

The article discusses the possibility of continuous monitoring of the technical condition of vehicles, namely, the composition of the exhaust gases. It is proposed to use a mechanism which allows, without installing additional sensors, to obtain information on the composition of the exhaust gases according to the results of the analysis of engine operating parameters available under the standard OBDII protocol. The use of artificial neural networks is described to analyze the results. The results of experimental studies confirming the hypotheses are given.

Keywords: environmental safety, vehicle diagnostics, OBDII, artificial neural network.

Введение

Решение задач обеспечения экологической безопасности является приоритетным направлением для современного мира. Одним из основных источников загрязнения является автомобильный транспорт. По результатам различных исследований доля выбросов от автомобильного транспорта в общем объеме загрязнений окружающей среды в различных странах составляет от 50 до 70 % (до 90 % в крупных городах) [1].

При сочетании неблагоприятных метеорологических, транспортных и градостроительных условий в крупных городах могут формироваться локальные экстремальные загрязнения воздуха, сохраняющиеся продолжительное время. По данным исследований, выполненных для Санкт-Петербурга в течение трех последних лет, концентрация таких опасных компонентов, как

твердые частицы PM_{10} и $PM_{2,5}$, вблизи крупных магистралей может превышать предельно допустимую концентрацию в 2–4 раза. Твердые частицы PM_{10} и $PM_{2,5}$ представляют серьезную угрозу здоровью населения, поскольку способны адсорбировать на своей поверхности токсичные и канцерогенные вещества и благодаря макроразмерам проникать в кровеносную систему человека, повышая риск бронхо-легочных, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний [2].

Методы улучшения экологических показателей автомобильного транспорта являются преимущественно конструкционными и предполагают совершенствование систем управления двигателями, нейтрализации отработавших газов, переход на новые типы топлив и электроэнергию. Существующие эксплуатационные мето-

ды обеспечения экологичности подразумевают периодические проверки состава отработавших газов и проведение обслуживания транспортного средства с целью приведения экологических параметров в соответствие нормативной документации. Следует отметить, что в данном случае ввиду периодичности проверок, которая может исчисляться календарными месяцами, транспортное средство может эксплуатироваться с нарушением требований к экологичности отработавших газов. В связи с этим для крупных российских городов, в которых в силу различных обстоятельств, в том числе экономических, велика доля коммерческого транспорта, использующего дизельные двигатели экологического класса не выше III, указанная система контроля экологических требований в эксплуатации может быть признана неэффективной.

Таким образом, существует потребность разработки механизмов непрерывного контроля соблюдения экологических требований, предъявляемых к транспортным средствам в эксплуатации.

1. Требования к механизму непрерывного контроля соблюдения экологических требований

Так как основную часть экологических требований к транспортным средствам в эксплуатации составляют требования к параметрам отработавших газов¹, очевидным решением при реализации непрерывного контроля является применение дополнительных датчиков, осуществляющих контроль этих параметров непосредственно. Такие разработки ведутся в настоящее время — обсуждается переход от системы бортовой диагностики поколения OBDII к поколению OBDIII (или системам «бортового измерения» — OBM), использующим указанные датчики и имеющим возможность передавать информацию о нарушении экологических требований заинтересованным потребителям вплоть до контролирующих органов².

Однако внедрение данных систем является, скорее всего, среднесрочной или долгосрочной

перспективой, так как помимо конструктивных решений требуется корректировка и действующего законодательства. К тому же оно не коснется уже находящихся в эксплуатации транспортных средств. А применение дополнительных датчиков, способных работать в потоке отработавших газов при температуре несколько сотен градусов Цельсия [3], приведет к удорожанию транспортных средств в целом (уже сейчас для сохранения конкурентоспособности крупные мировые автоконцерны фальсифицируют результаты экологических тестов³ [4]).

Таким образом, можно сформулировать следующие позиции, которым должен удовлетворять механизм непрерывного контроля соблюдения экологических требований:

- предупреждение возможных нарушений, а не выявление их постфактум;
- минимизация конструктивных доработок систем двигателя (использование штатных встроенных средств диагностики);
- реализация непрерывного контроля (период между получением информации о значении параметров должен быть минимален — вплоть до долей секунды);
- получение информации непосредственно в эксплуатации при работе двигателя;
- применение на уже находящихся в эксплуатации транспортных средствах.

2. Реализация механизма непрерывного контроля соблюдения экологических требований

Результатом непрерывного контроля соблюдения экологических требований в контексте данной статьи является ответ в каждый момент времени на вопрос, превышены ли допустимые значения содержания вредных веществ в отработавших газах.

Алгоритм работы механизма непрерывного контроля соблюдения экологических требований представлен на рис. 1.

Ключевым этапом функционирования механизма является шаг «Формирование вектора состава отработавших газов X ». Для его выполнения необходимо установление взаимосвязи между вектором оценочных параметров G и вектором X . Это значит, что необходимо выполнить

³ Nissan признался в фальсификации данных о выбросах выхлопных газов своих автомобилей. URL: <http://tass.ru/ekonomika/5357815> (дата обращения: 11.07.2018).

¹ Технический регламент Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» TP TC 018/2011. URL: <http://www.tsouz.ru/db/techreglam/Documents/TR%20TS%20KolesnTrS.pdf> (дата обращения 11.07.2018).

² OBDII: Past, Present & Future. URL: http://www.autotap.com/techlibrary/obdii_past_present_future.asp (дата обращения: 11.07.2018).

Рис. 1. Алгоритм непрерывного контроля соблюдения экологических требований

своеобразное распознавание вектора G . В настоящее время рядом работ [5–7] описаны различные методы распознавания, среди которых можно выделить детерминированные и вероятностные.

Для решения данной задачи был применен инструмент построения искусственных ней-

ронных сетей, который хорошо зарекомендовал себя для решения подобных задач [6, 8, 9]. Для применения данного инструмента не требуется наличие знаний о физических и химических процессах, протекающих в цилиндрах двигателя при сгорании топлива. В процессе обучения нейросети на достаточно большой выборке данных можно с заданной точностью подобрать закономерности, позволяющие по входным данным (параметрам работы двигателя, которые считывает электронный блок управления двигателем во время его работы) получить данные о содержании вредных веществ в отработавших газах, а также спрогнозировать скорость изменения содержания этих веществ и момент проведения ремонтных работ [9].

3. Экспериментальные результаты

Для проверки возможности реализации предложенного механизма непрерывного контроля соблюдения экологических требований были проведены экспериментальные исследования.

Эксперимент проводился на автомобиле Hyundai Solaris с бензиновым двигателем G4LC. В процессе эксперимента проводилась запись параметров работы двигателя и одновременная фиксация состава отработавших газов.

Состав отработавших газов фиксировался с помощью 4-компонентного газоанализатора «Инфракар М-3.02». Осуществлялась фиксация объемных долей CO , CH , CO_2 , O_2 , а также коэффициента избытка воздуха λ .

Параметры работы двигателя записывались с блока управления с помощью OBDII-адаптера по стандартному протоколу ISO14230 с шагом 1,5 секунды.

В ходе эксперимента применялись различные режимы работы двигателя: минимальная частота вращения коленчатого вала, режимы работы на повышенных оборотах, а также симуляция неисправностей. Для воссоздания условий возможных неисправностей проводилось последовательное отключение различных элементов системы: форсунки, свечи зажигания, датчика абсолютного давления воздуха. Полученные данные записывались в виде массива данных, который впоследствии был сгруппирован и обработан в Microsoft Excel. В полученном массиве были выделены основные анализируемые стадии, группировка производилась по режиму

работы (оборотам) и состоянию двигателя внутреннего сгорания (далее — ДВС) (исправен, отключена форсунка и т. д.). Таким образом, были получены наборы значений основных показателей работы ДВС и соответствующие им показатели экологичности отработавших газов (далее — ОГ).

Всего записывались около 40 параметров работы ДВС, однако в процессе анализа данных для построения нейросети значимыми были признаны 22 параметра и соответствующие им пять параметров, характеризующих состав выхлопных газов. Для построения в соответствии с рекомендациями [6] была выбрана трехслойная искусственная нейронная сеть с двумя нейронами в скрытом слое — $22 \times 2 \times 5$. Для работы с ней использовалось программное обеспечение Deductor Academic, предназначенное для реализации различных методов Data Mining. Граф полученной нейросети представлен на рис. 2.

После построения и обучения нейросети она была использована для оценки состава отработавших газов по параметрам работы двигателя. В аналитический инструмент «что, если» были введены наборы параметров, не входившие в обучающие выборки и полученные после их формирования также на различных режимах работы двигателя в исправном состоянии и с внесенными неисправностями. Значения объемных долей компонентов выхлопа и коэффициент избытка воздуха, рассчитанные нейросетью, сравнивались с измеренными газоанализатором. Расхождение результатов составило не более 7 %.

Рис. 2. Граф полученной нейросети

Выводы

Экспериментальные данные подтверждают возможность реализации описанного механизма непрерывного контроля соблюдения экологических требований, предъявляемых к транспортным средствам в эксплуатации, а также возможность применения для анализа данных инструмента искусственных нейронных сетей.

Данные, полученные в результате эксперимента, позволяют говорить о наличии косвенной взаимосвязи между параметрами работы двигателя и составом отработавших газов. Состав отработавших газов определяется процессом сгорания топлива в цилиндре. С другой стороны, процесс формирования топливно-воздушной смеси и режимы ее сгорания определяются параметрами, считываемыми блоком управления, что объясняет полученные результаты.

Для дальнейшей разработки и внедрения указанного механизма необходимо его дополнительное обоснование с помощью моделей, связывающих параметры работы двигателя, хранящиеся в блоке управления, и состав отработавших газов и основывающихся на химических и физических законах. Разработка данных моделей является направлением для дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Замков Г. Е., Маслов С. А., Рубайло В. Л. Кислотные дожди и окружающая среда. М.: Химия, 1991. 144 с.
2. Невмержицкий Н. В. Методика оценки и прогнозирования экстремального загрязнения воздуха на автомагистралях мелкодисперсными взвешенными частицами PM10 и PM2.5: автореф. ... дис. канд. техн. наук. СПб., 2017. 22 с.
3. Шароглазов Б. А., Фарафонов М. Ф., Клементьев В. В. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов. Челябинск: ЮУрГУ, 2005. 403 с.
4. Ежов А. Вылетели в трубу: к чему приведет «дизельгейт» // За рулем. 2005. 29 сентября. URL: <https://www.zr.ru/content/articles/817339-vyleteli-v-trubu-k-chemu-privedet-dizelgejt/> (дата обращения: 11.07.2018).
5. Шалашов И. В. Байесовские методы принятия решений при управлении техническим обслуживанием по фактическому состоянию: дис. ... канд. техн. наук. Н. Новгород, 2011. 147 с.
6. Корчагин В. А. Организация подсистемы предремонтного диагностирования агрегатов автомоби-

лей при их централизованном ремонте по техническому состоянию: дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2014. 149 с.

7. Воробьев С. А. Методика оценки влияния условий эксплуатации на техническую готовность автотранспортных средств: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2013. 172 с.

8. Dong D. W., Hopfield J. J., Unnikrishnan K. P. *Neural Networks for Engine Fault Diagnostics*. Pasadena: Computation and Neural Systems California Institute of Technology, 1997. P. 635–644.

9. Katsuba Yu., Grigorieva L. Application of Artificial Neural Networks in Vehicles' Design Self-Diagnostic Systems for Safety Reasons // *Transportation Research Procedia*. 2017. Vol. 20. Pp. 283–287.

References

1. Zamkov G. E., Maslov S. A., Rubaylo V. L. *Kislotnye dozhd i okruzhayushchaya sreda* [Acid rain and the environment]. Moscow, Khimiya Publ., 1991, 144 p.

2. Nevmerzhiyskiy N. V. *Metodika otsenki i prognozirovaniya ehkstremaal'nogo zagryazneniya vozdukha na avtomagistralyakh melkodispersnymi vzveshennymi chastitsami PM10 i PM2.5*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Methods of estimation and forecasting of extreme air pollution on the highways with fine suspended particles. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, 2017, 22 p.

3. Sharoglazov B. A., Farafontov M. F., Klement'ev V. V. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya: teoriya, modelirovanie i raschet protsessov* [Internal combustion engines: theory, modeling and calculation processes]. Chelyabinsk, YuUrGU Publ., 2005, 403 p.

4. Ezhov A. *Vyleteli v trubu: k chemu privedet «dizel'geyt»* [Flown out the pipe: what will "diesel gate" lead to?]. *Za rulem – Behind the wheel*, 2005, September 29. Available at: <https://www.zr.ru/content/articles/817339-vyleteli-v-trubu-k-chemu-privedet-dizelgejt/> (accessed: 11.07.2018).

5. Shalashov I. V. *Bayesovskie metody priyatiya resheniy pri upravlenii tekhnicheskimi obsluzhivaniem po fakticheskomu sostoyaniyu*. Diss. kand. tekhn. nauk [Bayesian methods of decision-making at management of maintenance according to the actual condition. PhD in Sci. Tech. diss.]. N. Novgorod, 2011, 147 p.

6. Korchagin V. A. *Organizatsiya podsistemy predremontnogo diagnostirovaniya agregatov avtomobiley pri ikh tsentralizovannom remonte po tekhnicheskomu sostoyaniyu*. Diss. kand. tekhn. nauk [Organization of the subsystem of pre-repair diagnosis of car units at their centralized repair according to the technical condition. PhD in Sci. Tech. diss.]. Tyumen, 2014, 149 p.

7. Vorob'ev S. A. *Metodika otsenki vliyaniya usloviy ehkspluatatsii na tekhnicheskuyu gotovnost' avtotransportnykh sredstv*. Diss. kand. tekhn. nauk. [Methodology for assessing the impact of operating conditions on the technical readiness of vehicles. PhD in Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, 2013, 172 p.

8. Dong D. W., Hopfield J. J., Unnikrishnan K. P. *Neural Networks for Engine Fault Diagnostics*. Pasadena: Computation and Neural Systems California Institute of Technology, 1997, pp. 635–644.

9. Katsuba Yu., Grigorieva L. Application of artificial neural networks in vehicles' design self-diagnostic systems for safety reasons. *Transportation Research Procedia*, 2017, vol. 20, pp. 283–287.