

DOI: 10.15593/24111678/2017.01.06

УДК 656.13

**Н.И. Кузнецов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

## **КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ ВОДЫ, ПОСТУПАЮЩЕЙ В ДВИГАТЕЛЬ С АТМОСФЕРНЫМ ВОЗДУХОМ**

Эксплуатация автомобиля в мегаполисе отличается от его эксплуатации в загородных условиях прежде всего более низкой средней скоростью движения, при которой двигатель и его системы не прогреваются до рабочей температуры 90 °С. Если автомобиль передвигается в основном по городу и преимущественный стиль вождения с преобладанием холостого хода и малой нагрузки, то подобные условия приводят к накоплению конденсата в системе выпуска отработавших газов автомобиля. В данной работе рассмотрены причины и пути попадания воды в систему выпуска: влага из атмосферного воздуха, вода, образующаяся в результате сгорания автомобильного топлива и вследствие химических реакций, протекающих в каталитическом нейтрализаторе. Описаны факторы, влияющие на количество образования конденсата. Приведена количественная оценка попадания воды как продукта конденсации влаги воздуха. Указаны значения влажности воздуха для различных температур окружающего воздуха и разной относительной влажности. Представлены данные о содержании воды, попадающей в двигатель, в процессе сгорания 1 кг топлива при различной относительной влажности воздуха: при изменении температуры окружающей среды масса воды, попадающей в двигатель из окружающего воздуха, постоянно изменяется.

**Ключевые слова:** автомобиль, система выпуска, влажность, конденсат, эксплуатация в мегаполисе, городской режим, отработавшие газы, отрицательные температуры.

**N.I. Kuznetsov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

## **QUANTITATIVE ESTIMATION OF WATER CONTENT IN EXHAUST GASES ENTERING THE ENGINE WITH ATMOSPHERIC AIR**

The operation of a car in a megapolis differs from the operation of a car in suburban conditions, first of all by a lower average speed, in these conditions the engine and its systems do not get warm to an operating temperature of 90 °C. If the car basically moves through the city and is in good working order These operating conditions lead to a decrease in the volume of condensate in the exhaust system of the car. The reasons for the leakage of water in the exhaust system are considered. The ways of getting water into the exhaust system are considered: it is moisture from atmospheric air. Water produced as a result of combustion of motor fuel; Water formed during chemical reactions in the catalytic converter. Factors affecting the amount of condensate formation in the exhaust system are considered. The quantitative estimation of water hits as condensation of air moisture is given. When the ambient temperature changes, the mass of water entering the engine from the surrounding air changes constantly, so the humidity of the air is measured, for different ambient temperatures and different

relative humidity. Data are presented on what water entering the engine is in the process of combustion of 1 kg of fuel at different relative humidity of air.

**Keywords:** car, exhaust system, humidity, condensation, operate in the city, city mode, the exhaust gases, negative temperatures.

Эксплуатация автомобилей в современном мегаполисе характеризуется частыми короткими поездками, многочасовым движением в пробках, длительной работой двигателя на холостом ходу и т.д. Если автомобиль передвигается в основном по городу и преимущественный стиль вождения с преобладанием холостого хода и малой нагрузки, то в этих условиях двигатель и его системы не прогреваются до рабочей температуры 90 °С [1]. Наиболее часто это происходит при эксплуатации автомобилей при низких температурах.

Концерн «Фольксваген» в руководстве [1] по эксплуатации автомобиля пишет, что двигатель не может прогреться на холостом ходу, поэтому движение нужно начинать сразу же после его запуска. Окончательно прогрев двигателя происходит только после пробега 7 км, а состояния эксплуатационной нормы автомобиль достигает после пробега около 20 км.

Низкая температура внутренних стенок двигателя приводит к конденсации на стенках и попаданию в поддон картера двигателя воды, выделяющейся при сгорании топлива [2].

Подобные условия эксплуатации имеют негативные последствия для двигателя автомобиля: в моторном масле накапливаются вода и несгоревшие топливные фракции, в отдельных случаях возникает режим масляного голодания [3].

Наряду с этим появляются проблемы и в системе выпуска: глушитель не в состоянии быстро нагреться, его стенки остаются холодными, и на них конденсируется влага [1, 4–6]. Таким образом, при поездках на короткие расстояния существует эффект накапливания конденсата в моторном масле и системе выпуска автомобиля [1].

Компания Peugeot опубликовала информацию [6] о том, что при коротких поездках конденсат, образующийся в системе выпуска отработавших газов автомобиля при пуске двигателя, не испаряется. Объясняется это тем, что система выпуска отработавших газов прогревается до рабочей температуры только после безостановочного пробега, приблизительно равного 5 км. Короткие поездки в условиях города способствуют конденсации отработавших газов. При этом в каталитический нейтрализатор попадает конденсат, представляющий собой

водный раствор кислот, которые разъедают корпус нейтрализатора изнутри. Процесс постепенного разрушения нейтрализатора усугубляется колебаниями температуры, вызванными частыми пусками и остановками двигателя.

В руководстве по эксплуатации [7] указано, что если автомобиль в основном передвигается по городу и преимущественно на короткие расстояния, то в глушителях можно обнаружить большое количество конденсата, копоти и агрессивных кислот. При движении на длинные дистанции постоянно хорошо прогреваемая выхлопная система имеет существенно увеличенный срок службы. Передняя часть выхлопной системы с катализатором сопротивляется ржавчине более успешно по сравнению с остальными компонентами, поскольку отработавшие газы имеют в этой части температуры от 800 до 1000 °С, благодаря чему водяные брызги и конденсат испаряются значительно быстрее. На своем пути через промежуточные глушитель отражения и концевой глушитель до концевой трубки отработанные газы постоянно охлаждаются. Они попадают в атмосферу, в зависимости от характера работы (бензиновый, дизельный) с температурами примерно 150–300 °С. При этом в концевом глушителе собирается больше всего конденсата [8].

В руководстве по ремонту и эксплуатации [8] указано, что при сгорании топлива в двигателе образуется двуокись углерода, а водород, соединяясь с кислородом, образует воду. При нагретом двигателе вода выходит через систему выпуска в виде незаметного пара.

Глушители линейки Volkswagen Economy и SEAT ECONOMY изготовлены из стали, алюминизированной горячим способом, и благодаря функции удаления конденсата в глушителе [9–11] конденсированная влага отводится в задний глушитель, а затем через выхлопную трубу наружу.

В инструкции по эксплуатации автомобиля Opel Astra [12] отмечено: при очень низкой окружающей температуре не рекомендуется двигателю работать на холостом ходу более 5 минут, иначе возможно повреждение двигателя.

Существуют следующие пути попадания воды в систему выпуска [13]:

- конденсат влаги из атмосферного воздуха ( $m_1$ );
- вода, образующаяся в результате сгорания автомобильного топлива ( $m_2$ );
- вода, образующаяся вследствие химических реакций, протекающих в каталитическом нейтрализаторе ( $m_3$ ).

Вода, находящаяся в системе выпуска, состоит из

$$m_{\text{вх}} = m_1 + m_2 + m_3.$$

При эксплуатации автомобиля при низких температурах на холодных стенках выпускной системы конденсируется влага, и поэтому количество воды, содержащейся в отработавших газах, движущихся по системе выпуска уменьшается.

Для того чтобы определить количество воды, конденсирующейся внутри выпускной системы автомобиля, в настоящее время разрабатывается методика, учитывающая содержание воды в отработавших газах на этапах:

- выхода из камеры сгорания в систему выпуска автомобиля ( $m_{\text{вход}}$ );
- выхода в атмосферу из выпускной системы ( $m_{\text{вых}}$ ).

Рассчитаем массовое содержание воды в отработавших газах, попадающей в двигатель с атмосферным воздухом.

1. Максимально возможное содержание влаги в воздухе.

Плотность водяного пара в воздухе равна

$$\rho_{\text{в}} = m_{\text{в}}/V,$$

где  $m_{\text{в}}$  – масса водяного пара, кг;  $V$  – объем воздуха, м<sup>3</sup>.

Абсолютная влажность  $\rho_{\text{п}}$  – масса водяных паров (г), содержащихся в 1 м<sup>3</sup> влажного воздуха, т.е. абсолютная влажность представляет собой плотность водяных паров в воздухе. Абсолютная влажность не может превосходить по величине максимально возможного значения, которое имеет влажность воздуха в состоянии насыщения  $\rho_{\text{п. max}}$  [14].

Абсолютную влажность  $\rho_{\text{п}}$  принято измерять в г/м<sup>3</sup>, поэтому очевидно, что она связана с плотностью водяного пара  $\rho_{\text{в}}$  (кг/м<sup>3</sup>), содержащегося в воздухе, следующим соотношением:

$$\rho_{\text{п}} = 10^3 \cdot \rho_{\text{в}}.$$

Для каждой температуры существует некоторое максимальное значение абсолютной влажности, равное упругости насыщенного пара при заданной температуре.

В табл. 1 приведены значения максимальной абсолютной влажности при различных температурах окружающего воздуха.

2. Количество влаги, попадающее в рабочую смесь из воздуха (при 100 % относительной влажности воздуха).

Для перевода из объемных единиц в массовые воспользуемся плотностью воздуха [15, 16] (табл. 2) и рассчитаем количество воды в 1 кг воздуха:

$$k_{\max} = \rho_{\text{п. max}} / \rho,$$

где  $\rho$  – плотность окружающего воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 1

Максимальная абсолютная влажность при различных температурах [15, 17]

Температура окружающего воздуха $T$ , °С	-20	-10	0	10	20	30
Максимально возможное содержание влаги в воздухе $\rho_{\text{п. max}}$ , г/м <sup>3</sup>	0,8	2,1	4,8	9,4	17,3	30,4

Таблица 2

Массовое содержание влаги в воздухе и масса воды, попадающая в двигатель из окружающего воздуха при сгорании 1 кг бензина (при 100 % относительной влажности воздуха)

Температура окружающего воздуха $T$ , °С	-20	-10	0	10	20	30
Плотность окружающего воздуха $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1,3943	1,3413	1,2920	1,2466	1,2041	1,1644
Максимальное массовое содержание влаги в воздухе $k_{\max}$ , г воды/кг воздуха	0,58	1,57	3,72	7,54	14,37	26,11
Максимальная масса воды, попадающая в двигатель из окружающего воздуха при сгорании 1 кг бензина $m_{1\max}$ , кг воды/кг топлива	0,009	0,023	0,055	0,111	0,211	0,384

3. Количество воздуха для сгорания всего подаваемого топлива.

Теоретическая масса воздуха для сгорания 1 кг топлива будет равна [18]

$$m_{\text{возд}} = ((8/3)g_{\text{C}} + 8g_{\text{H}})/0,232,$$

где  $g_{\text{C}}$  и  $g_{\text{H}}$  – массовые доли углерода и водорода в элементарном составе топлива. В качестве примера приведем состав и массовые доли элементов в бензине марки 92 [19]:  $g_{\text{H}} = 0,135$ ,  $g_{\text{C}} = 0,865$ .

При стехиометрическом сгорании, характерном для большинства современных автомобилей, на окисление 1 кг жидкого топлива среднего элементарного состава требуется 14,7 кг воздуха [15].

Умножив массовое содержание влаги в воздухе на стехиометрический коэффициент, узнаем, сколько воды попадает в двигатель в процессе сгорания 1 кг топлива (результаты представлены в табл. 2):

$$m_{1\max} = k_{\max} \cdot m_{\text{возд}} \cdot 0,001,$$

4. Количество влаги, попадающей в рабочую смесь из воздуха (при различной относительной влажности воздуха).

При изменении температуры окружающей среды масса воды, попадающая в двигатель из окружающего воздуха, постоянно изменяется: при повышении температуры воздуха относительная влажность уменьшается, так как теплый воздух может содержать большее количество влаги в виде пара.

Относительной влажностью воздуха (RH) называют отношение плотности пара при его парциальном давлении к плотности сухого насыщенного пара при одной и той же температуре, что соответствует отношению абсолютной влажности к максимально возможной абсолютной влажности при той же температуре:

$$RH = (\rho_{\text{п}}/\rho_{\text{п. max}}) \cdot 100 \%,$$

где  $\rho_{\text{п. max}}$  – максимально возможное содержание влаги в воздухе, г/м<sup>3</sup> (см. табл. 1).

Например, при известной температуре атмосферного воздуха 25 °С и относительной влажности воздуха 60 % получается, что в 1 м<sup>3</sup> воздуха содержится примерно 14 г воды.

В табл. 3 приведены значения влажности воздуха для различных температур окружающего воздуха и разной относительной влажности. В табл. 4 представлены данные о содержании воды, попадающей в двигатель в процессе сгорания 1 кг топлива при различной относительной влажности воздуха.

Таблица 3

Значения влажности (г/м<sup>3</sup>) воздуха при различной температуре и относительной влажности окружающего воздуха (°С)

Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,48	0,96	1,44	1,92	2,4	2,88	3,36	3,84	4,32	4,8
-10	0,21	0,42	0,63	0,84	1,05	1,26	1,47	1,68	1,89	2,1
-20	0,08	0,16	0,24	0,32	0,4	0,48	0,56	0,64	0,72	0,8

Таблица 4

Массовое содержание влаги в воздухе и масса воды, попадающей в двигатель из окружающего воздуха при сгорании 1 кг бензина при различной относительной влажности воздуха

Характеристики	Температура окружающего воздуха $T$ , °С					
	-20	-20	-10	-10	0	0
Относительная влажность воздуха, %	60	90	60	90	60	90
$k$ , г воды/кг воздуха	0,3443	0,5164	0,9394	1,4091	2,2291	3,3437
$m_1$ , кг воды/кг топлива	0,0051	0,0076	0,0138	0,0207	0,0328	0,0492

Рассмотренный подход к учету влагосодержания в атмосферном воздухе позволит уточнить компьютерную модель загрязнения кварталов и жилых районов городов отработавшими газами автотранспорта при наличии парковых и лесозащитных территорий [20].

Таким образом, в данной работе проведен анализ причин попадания воды в систему выпуска отработавших газов в процессе эксплуатации автомобиля. Рассмотрена количественная оценка содержания в отработавших газах воды, попадающей в двигатель с атмосферным воздухом. В зависимости от температуры окружающего воздуха при сгорании 1 кг бензина в двигатель попадает от 0,009 до 0,384 кг воды (см. табл. 2). Масса воды, попадающая в двигатель из окружающего воздуха, изменяется в зависимости от температуры и относительной влажности воздуха (см. табл. 4).

### Список литературы

1. Кузнецов Н.И., Петухов М.Ю., Щелудяков А.М. Об особенностях запуска двигателя легкового автомобиля в современном мегаполисе при низких температурах окружающей среды // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 1. – С. 137–143.
2. Хазиев А.А. Метод оценки концентрации автомобильного бензина в работавшем моторном масле // Грузовик. – 2014. – № 7. – С. 24–28.
3. Способ определения содержания автомобильного бензина в моторном масле / А.А. Хазиев [и др.] // Автотранспортное предприятие. – 2013. – № 11. – С. 35–38.
4. Impact of condensates containing chloride and sulphate on the corrosion in automotive exhaust systems / R. Hashimoto, G. Mori,

M. Yasir, U. Tröger, H. Wieser // BHM. – 2013. – Vol. 158 (9). – P. 377–383. DOI 10.1007/s00501-013-0180-6

5. Abdoli M., Rahimi H., Godarizadeh A. Investigation of failure in automotive exhausts // Journal of Failure Analysis and Prevention. – 2011. – № 11. – P. 679–683. DOI 10.1007/s11668-011-9502-8

6. Problem of accumulation and freezing of condensate in the exhaust gases of cars at low temperatures / N. Kuznetsov, M. Petukhov, A. Khaziev, A. Laushkin // Applied Mechanics and Materials. – 2016. – Vol. 838. – P. 47–55. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.838.47

7. Все, что необходимо знать о системе выпуска отработавших газов [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.envy-peugeot.ru/i/u/file/expert/2011/2348-4ff42a.pdf> (дата обращения: 15.02.2017).

8. Ford Mondeo 3. Руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту. Бензиновые двигатели: CGBA/CGBB/CHBA/CHBB Duratec-HE 1.8 л (1798 см<sup>3</sup>) 110–125 л.с./81–92 кВт, CJBA Duratec-HE 2.0 л (1999 см<sup>3</sup>) 145 л.с./107 кВт, LCBD Duratec-VE 2.5 л (2499 см<sup>3</sup>) 170 л.с./125 кВт и турбодизельными D5BA/D6BA/FMBA Duratorq DI (Puma) TCI/HPCR 2.0 л (1998 см<sup>3</sup>) 90–115 л.с./66–85 кВт, выпуск 2000 года. – М.: Ассоциация независимых издателей, 2004. – 305 с.

9. Ford Focus 2. Руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту Бензиновые двигатели: HWDA Duratec 1.6 л Sigma (1596 см<sup>3</sup>) 100 л.с./74 кВт, HXDA Duratec Ti-VCT 1.6 л (1596 см<sup>3</sup>) 115 л.с./85 кВт, QQDA/QQDB Duratec-HE 1.8 л M14 (1798 см<sup>3</sup>) 125 л.с./92 кВт и AODA/AODB Duratec-HE 2.0 л M14 (1998 см<sup>3</sup>) 145 л.с./107 кВт, выпуск с 2004 года. – М., 2009. – 314 с.

10. Глушители Volkswagen Economy [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.vw-original-parts.ru/#/economy/muffler> (дата обращения: 15.02.2017).

11. Глушители SEAT ECONOMY [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.seat.kiev.ua/ru/zapchasti-seat-economy> (дата обращения: 15.02.2017).

12. Opel Astra. Инструкция по эксплуатации. – ADAM OPEL AG, Rüsselsheim, 2014. – 429 с.

13. Кузнецов Н.И., Петухов М.Ю., Хазиев А.А. Разработка рекомендаций по эксплуатации автомобилей в условиях мегаполиса // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: сб. науч. тр. по материалам 72-й науч.-метод. и науч.-исслед. конф. – М.: Изд-во Моск. автомоб.-дорож. гос. техн. ун-та, 2014. – С. 227–233.



14. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача: учеб. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1975. – 497 с.
15. Лаушкин А.В., Хазиев А.А. Причины обводнения моторного масла в эксплуатации // Вестник МАДИ. – 2012. – № 1 (28). – С. 63–67.
16. Буров Л.И., Стельченя В.М. Физика от А до Я: учащимся, абитуриентам, репетиторам. – Минск: Парадокс, 2000. – 561 с.
17. Усольцев В. А. Измерение влажности воздуха. – Л.: Гидрометеоиздат, 1959. – 182 с.
18. Колчин А.И., Демидов В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2003. – 496 с.
19. Луканин В.Н., Морозов К.А. Двигатели внутреннего сгорания: учеб.: в 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов / под ред. В.Н. Луканина. – М.: Высшая школа, 1995. – 369 с.
20. Boyarshinov M.G. Transfer of a gaseous pollutant by air flow over a region containing vegetation // Computational Mathematics and Mathematical Physics. – 2002. – Vol. 42, № 7. – P. 1053–1163.

### References

1. Kuznetsov N.I., Petukhov M.Iu., Shcheludiakov A.M. Ob osobennostiakh zapuska dvigatel'ia legkovogo avtomobilia v sovremennom megapolise pri nizkikh temperaturakh okruzhaiushchei sredy [On peculiarities of the launch of the car engine in the modern metropolis at low ambient temperatures]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Okhrana okruzhaiushchei sredy, transport, bezopasnost' zhiznedeiatel'nosti*, 2012, no. 1, pp. 137-143.
2. Khaziev A.A. Metod otsenki kontsentratsii avtomobil'nogo benzina v rabotavshem motornom masle [Evaluation method of concentration of gasoline to a running engine oil]. *Gruzovik*, 2014, no. 7, pp. 24-28.
3. Khaziev A.A. et al. Sposob opredeleniia sodержaniia avtomobil'nogo benzina v motornom masle [A method for determining the content of gasoline in the engine oil]. *Avtotransportnoe predpriiatie*, 2013, no. 11, pp. 35-38.
4. Hashimoto R., Mori G., Yasir M., Tröger U., Wieser H. Impact of condensates containing chloride and sulphate on the corrosion in automotive exhaust systems. *BHM*, 2013, Vol. 158 (9), pp. 377-383. DOI: 10.1007/s00501-013-0180-6

5. Abdoli M., Rahimi H., Godarzizadeh A. Investigation of failure in automotive exhausts. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 2011, no. 11, pp. 679-683. DOI 10.1007/s11668-011-9502-8

6. Kuznetsov N., Petukhov M., Khaziev A., Laushkin A. Problem of accumulation and freezing of condensate in the exhaust gases of cars at low temperatures. *Applied Mechanics and Materials*, 2016, Vol. 838, pp. 47-55. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.838.47

7. Vse, chto neobkhodimo znat' o sisteme vypuska otrabotavshikh gazov [All you need to know about the exhaust system], available at: <http://www.envy-peugeot.ru/i/u/file/expert/2011/2348-4ff42a.pdf> (assessed 15 February 2017).

8. Ford Mondeo 3. Rukovodstvo po ekspluatatsii, tekhnicheskomu obsluzhivaniuu i remontu. Benzinovye dvigateli [Ford Mondeo 3. Instructions for use, maintenance and repair of petrol engines]: CGBA/CGBB/CHBA/CHBB Duratec-HE 1.8 l (1798 sm<sup>3</sup>) 110–125 l.s./81–92 kVt, CJBA Duratec-HE 2.0 l (1999 sm<sup>3</sup>) 145 l.s./107 kVt, LCBD Duratec-VE 2.5 l (2499 sm<sup>3</sup>) 170 l.s./125 kVt i turbodizel'nymi D5BA/D6BA/FMBA Duratorq DI (Puma) TCI/HPCR 2.0 l (1998 sm<sup>3</sup>) 90–115 l.s./66–85 kVt vypusk 2000 goda. Serii: Avtoremont, Assotsiatsiia nezavisimyykh izdatelei, 2004, 305 p.

9. Ford Focus 2. Rukovodstvo po ekspluatatsii, tekhnicheskomu obsluzhivaniuu i remontu Benzinovye dvigateli [Ford Focus 2. Instructions for use, maintenance and repair of petrol engines]: HWDA Duratec 1.6 l Sigma (1596 sm<sup>3</sup>) 100 l.s./74 kVt, HXDA Duratec Ti-VCT 1.6 l (1596 sm<sup>3</sup>) 115 l.s./85 kVt, QQDA/QQDB Duratec-HE 1.8 l MI4 (1798 sm<sup>3</sup>) 125 l.s./92 kVt i AODA/AODB Duratec-HE 2.0 l MI4 (1998 sm<sup>3</sup>) 145 l.s./107 kVt Vypusk s 2004 goda. Serii: Remont bez problem, 2009, 314 p.

10. Glushiteli Volkswagen Economy [Mufflers Volkswagen Economy], available at: <http://www.vw-original-parts.ru/#/economy/muffler> (assessed 15 February 2017).

11. Glushiteli SEAT ECONOMY [Mufflers SEAT ECONOMY], available at: <http://www.seat.kiev.ua/ru/zapchasti-seat-economy/> (assessed 15 February 2017).

12. Opel Astra. Instruktsiia po ekspluatatsii [Opel Astra. User's manual]. ADAM OPEL AG, Rüsselsheim, 2014, 429 p.

13. Kuznetsov N.I., Petukhov M.Iu., Khaziev A.A. Razrabotka rekomendatsii po ekspluatatsii avtomobilei v usloviakh megapolisa [Development of recommendations on the operation of vehicles in a metropolis]. Problemy tekhnicheskoi ekspluatatsii i avtoservisa podvizhnogo sostava av-

tomobil'nogo transporta. Moscow: Moskovskii avtomobil'no-dorozhnyi gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2014, pp. 227-233.

14. Nashchokin V.V. Tekhnicheskaiia termodinamika i teploperedacha [Engineering Thermodynamics and Heat Transfer]. 2nd ed. Moscow, Vysshaiia Shkola, 1975, 497 p.

15. Laushkin A.V., Khaziev A.A. Prichiny obvodneniia motornogo masla v ekspluatatsii [Causes of Engine Oil in flooding operation]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo instituta*, 2012, iss. 1 (28), pp. 63-67.

16. Burov L.I. Fizika ot A do Ia [Physics from A to Z: students, prospective students, tutors]. Eds. L.I. Burov, V.M. Srel'chenia. Minsk: Paradoks, 2000, 561 p.

17. Usol'tsev V. A. Izmerenie vlazhnosti vozdukha [Measurement of humidity]. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat, 1959, 182 p.

18. Kolchin A.I. Raschet avtomobil'nykh i traktornykh dvigatelei [Calculation of automobile and tractor engines]. 3rd ed. Eds. A.I. Kolchin, V.P. Demidov. Moscow, Vysshaiia Shkola, 2003, 496 p.

19. Lukanin V.N. Dvigateli vnutrennego sgoraniia. Ch. 1. Teoriia rabochikh protsessov [Internal combustion engines]. Eds. V.N. Lukanin, K.A. Morozov; pod red. V.N. Lukanina. Moscow, Vysshaiia Shkola, 1995, 369 p.

20. Boyarshinov M.G. Transfer of a Gaseous Pollutant by Air Flow Over a Region Containing Vegetation. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 2002, Vol. 42, no. 7, pp. 1053-1163.

Получено 15.03.2017

### Об авторе

**Кузнецов Никита Игоревич** (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Автомобили и технологические машины», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: totalgame123@gmail.com).

### About the author

**Nikita I. Kuznetsov** (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Automobiles and Production Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: totalgame123@gmail.com).