УДК 629.017, 021

© Н. В. Хольшев, канд. техн. наук

© А. А. Лавренченко, канд. техн. наук

© А. В. Прохоров, канд. техн. наук, доцент

© Д. Н. Коновалов, старший преподаватель

(Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия)

E-mail: xhb@live.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-4-203-208

© N. V. Holshev, PhD in Sci. Tech.

© A. A. Lavrenchenko, PhD in Sci. Tech.

© A. V. Prokhorov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© D. N. Konovalov, senior teacher

(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

E-mail: xhb@live.ru

МЕТОДИКА ТЕПЛООВОГО РАСЧЕТА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДИСКОВЫХ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ

THE METHOD OF THERMAL CALCULATION OF AUTOMOTIVE DISC BRAKE ASSEMBLIES

Приводится методика по расчету температуры нагрева тормозного диска автомобиля. Тормозной диск рассматривается в виде конечной совокупности «ячеек», расположенных в несколько слоев. При тепловом расчете (по предлагаемой методике) производится учет нагрева поверхности диска не только от поглощения кинетической энергии автомобиля, но и от генерируемых электрических токов, вызывающих микровспышки между неровностями поверхности диска и тормозных накладок. Также учитывается охлаждение диска при перерыве между торможениями за счет теплообмена с воздухом. Данная методика предусматривает возможность расчета температуры тормозного диска как на его поверхности, так и внутри него.

Ключевые слова: тормозной диск, тепловая модель, теплообмен, теплоотдача, теплоемкость.

The article describes a method for calculating the heating temperature of the automobile brake disc. The brake disc is considered as a finite set of "cells" located in several layers. In thermal calculation, according to the proposed method, the heating of the disk surface is taken into account not only from the absorption of the vehicle kinetic energy, but also from the generated electric currents that cause micro-explosions between the irregularities of the disk surface and the brake pads. The cooling of the disk during the time between braking due to heat exchange with air is also taken into account. This method provides the ability to calculate the temperature of the brake disc, both on its surface and inside.

Keywords: brake disk, thermal model, heat exchange, heat transfer, heat capacity.

С увеличением скоростей передвижения и грузоподъемности автотранспортных средств требования к их тормозным свойствам непрерывно возрастают. Значительное влияние на эффективность тормозных механизмов оказывает величина их нагрева при торможении. Нагрев тормозного механизма обусловлен преобразованием кинетической энергии автомобиля в тепловую, которая распределяется в определенной пропорции между окружающей средой и тормозной системой и, прежде всего, тормозным диском или барабаном. Рост температуры тормозного диска и колодок приводит к уменьшению коэффициента трения между тормозным диском и колодками, а в дальнейшем и к изменению свойств материала колодок. Уровень нагрева поверхности диска

при торможении зависит от факторов, которые можно объединить в три основные группы — конструктивные, режимные и эксплуатационные. Наиболее точную информацию о значении температуры тормозного диска можно получить только непосредственным измерением, но это трудоемко и затратно. Гораздо быстрее и дешевле проводить определение температурных режимов тормозного диска при разных значениях воздействующих параметров позволяет математическое моделирование, хотя и с меньшей точностью. Повышение уровня сходимости результатов численного моделирования нагрева тормозных дисков с экспериментальными данными актуально и в настоящее время [1–7].

После анализа результатов исследований, посвященных моделированию теплового режима дискового тормозного механизма [1–3, 5–7], нами была предложена тепловая «ячеистая» модель тормозного диска [8]. В соответствии с этой моделью весь объем диска рассматривается как совокупность кубических ячеек, причем ячейки располагаются в некотором количестве слоев с высотой слоя, равной высоте ячейки. Количество слоев кратно толщине диска, а их нумерация ведется от слоя, непосредственно контактирующего с колодками. Сделано допущение, что теплота от одной ячейки к другой передается по радиусам сферы, вписанной в каждую ячейку модели, причем аккумулярование теплоты осуществляется в центре этой сферы [8].

В соответствии с принятой моделью диска теплота от ячейки может передаваться в шести направлениях. Первый слой ячеек наиболее теплонагруженный и может передавать теплоту не только соседним ячейкам, но и напрямую к окружающему воздуху, что обеспечивает его более быстрое охлаждение. Непосредственно отдавать теплоту окружающему воздуху могут ячейки, расположенные в середине вентилируемого диска, а также на торце диска. Теплообмен ячеек внутренних слоев возможен только между собой [8].

Предполагаем, что блокировки колес при торможении не происходит и контактирующие с тормозными колодками ячейки постоянно перемещаются относительно колодок. Следовательно, ячейки будут нагреваться периодически, а количество этих периодов равно числу оборотов колеса при торможении. В таком случае можно записать в общем виде уравнение для расчета температуры ячейки за один оборот тормозного диска:

$$t_C = t_{\text{окр}} + \sum_{i=1}^{n_{\text{об}}} \Delta t_i^z, \quad (1)$$

где $t_{\text{окр}}$ — температура воздуха, °C; Δt_i^z — суммарное изменение температуры рассматриваемой ячейки за все время торможения, м/с; $n_{\text{об}}$ — число оборотов колеса при торможении, шт.;

$$\Delta t_i^z = \Delta t_i^O - \Delta t_i^{\text{BO}} \pm \Delta t_i^{\text{ВЯ}}, \quad (2)$$

где Δt_i^O — прирост температуры ячейки от нагрева за i -й оборот диска при торможении, °C; Δt_i^{BO} — падение температуры ячейки за i -й оборот диска из-за теплообмена с окружающей сре-

дой, °C; $\Delta t_i^{\text{ВЯ}}$ — падение температуры ячейки за i -й оборот диска из-за теплообмена с соседними ячейками, °C.

Составляющую Δt_O уравнения следует рассчитывать при торможении только для ячеек, непосредственно контактирующих с накладкой, а для остальных ячеек она равна нулю. Величина $\Delta t_{\text{ВЯ}}^B$ будет отрицательна при превышении температуры рассматриваемой ячейки над температурой соседней ячейки, а в обратном случае — положительна.

Количество оборотов, которое сделает колесо за все время торможения, найдем по выражению

$$n_{\text{об}} = \frac{s_3}{l_{\text{об}}}, \quad (3)$$

где $l_{\text{об}}$ — путь, проходимый автомобилем за один оборот колеса, м; s_3 — общий тормозной путь, м.

Путь, пройденный автомобилем за один оборот колеса, найдем по выражению [9, 10]

$$l_{\text{об}} = 2\pi r_0 \lambda_{\text{ш}}, \quad (4)$$

где r_0 — наружный радиус колеса в свободном состоянии, м; $\lambda_{\text{ш}}$ — коэффициент деформации шины.

Наружный радиус колеса в свободном состоянии определяется по формуле [9, 10]

$$r_0 = 0,0254(0,5d + b), \quad (5)$$

где d — диаметр обода колеса, дюймы; b — высота профиля покрышки, дюймы.

Общий тормозной путь находится по выражению¹

$$s_3 = \frac{k_s(V_a^{\text{H}2} - V_a^{\text{K}2})}{25,92\varphi g}, \quad (6)$$

где k_s — коэффициент эффективности торможения; V_a^{H} и V_a^{K} — скорость автомобиля соответственно в начале и в конце торможения, м/с; φ — коэффициент сцепления шин с опорной поверхностью; g — ускорение свободного падения, м/с².

Нагрев тормозного диска осуществляется не только за счет преобразования кинетической энергии автомобиля, но и из-за того, что на поверхности (микровыступах) диска и накладки генерируются электрические токи и микроиспышки, которые также ведут к повышению температуры рабочего слоя диска [11].

В таком случае изменение температура ячеек диска за i -й оборот тормозного диска составит

$$\Delta t_i^O = \Delta t_i^T + \Delta t_i^B, \quad (7)$$

¹ Методические указания по выполнению практических занятий по расчету дисковых и барабанно-колодочных тормозов / сост. А. В. Русинов. Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2016. 30 с.

где Δt_i^T — прирост поверхностной температуры от трения и контактного сопротивления за i -й оборот тормозного диска; Δt_i^B — прирост поверхностной температуры за i -й оборот тормозного диска от температуры вспышки, вызванной разрядными токами между микровыступами.

Теплоту, которую должны поглотить тормозные механизмы транспортного средства, можно определить как разность кинетических энергий автомобиля до и после торможения:

$$E_K = \frac{m_a (V_a^{H2} - V_a^{K2}) k_p}{2n_d}, \quad (8)$$

где E_K — кинетическая энергия, поглощаемая одним диском колеса при торможении, Дж; n_d — количество тормозных дисков на одном колесе, шт.; m_a — масса автомобиля, кг; k_p — коэффициент распределения тормозных усилий между осями ТС.

В то же время передача некоторого количества теплоты твердому телу (тормозному диску) ведет к пропорциональному увеличению его температуры [12]:

$$Q_T = C_{уд} m_d \Delta t, \quad (9)$$

где Q_T — количество теплоты, ккал; $C_{уд}$ — удельная теплоемкость материала тормозного барабана (ккал/кг·град); m_d — масса диска одного колеса, кг; Δt — повышение температуры, °C.

Учитывая, что одна килокалория (ккал) соответствует работе, равной $4,1868 \cdot 10^3$ Дж, получаем прирост температуры одного диска при торможении автомобиля с начальной до конечной скорости¹:

$$\Delta t = \frac{m_a (V_a^{H2} - V_a^{K2}) k_p}{n_d C_{уд} m_d} 1,194 \cdot 10^{-4}. \quad (10)$$

Тогда изменение температуры одной ячейки рабочего слоя диска (ячейки, непосредственно контактирующих с накладкой) за i -й оборот тормозного диска составит

$$\Delta t_i^T = \frac{m_a (V_i^{H2} - V_i^{K2}) k_p}{n_d n_n C_{уд} m_{я}} 1,194 \cdot 10^{-4}, \quad (11)$$

где V_i^H и V_i^K — скорость автомобиля соответственно в начале и в конце i -го оборота тормозного диска при торможении, м/с; n_n — количество накладок на одном диске, шт.; $m_{я}$ — масса одной ячейки, кг.

Скорость автомобиля в конце i -го оборота тормозного диска при торможении составит, м/с

$$V_i^K = \sqrt{V_i^{H2} - \frac{25,92 \phi g l_{06}}{k_3}}. \quad (12)$$

Температуру вспышки между микронеровностями фрикционной пары рекомендуется определять по выражению [13]

$$t_{всп} = \frac{9}{32} \frac{f F_n V}{(\lambda_1 + \lambda_2) r_{\phi}}, \quad (13)$$

где f — коэффициент трения между накладкой и диском; F_n — нормальная сила, действующая на накладку, Н; V — скорость скольжения, м/с; $r_{\phi} = \sqrt{\phi_k s_n} / \pi$ — приведенный радиус пятна контакта, м; s_n — площадь одной накладки; ϕ_k — коэффициент корректировки площади контакта от шероховатости (рекомендуется для дисковых тормозов принимать равным 0,9 [14]); λ_1 и λ_2 — соответственно теплопроводность материала диска и накладки, Вт/м·°C.

Скорость скольжения следует определять для центра рассматриваемой ячейки.

Тогда прирост температуры ячейки от вспышек за i -й оборот тормозного диска может быть найден из выражения

$$\Delta t_i^B = \frac{t_{всп} \cdot \alpha_d \cdot \tau_i^B}{s_{я}}, \quad (14)$$

где α_d — коэффициент температуропроводности материала диска, м²/с; τ_i^B — время воздействия вспышки на одну ячейку за i -й оборот тормозного диска, с; $s_{я}$ — площадь одной грани ячейки, м².

Время τ_i^B с учетом ширины тормозной накладки и размера одной ячейки найдем по выражению

$$\tau_i^B = \frac{d_d \cdot b_n \cdot \tau_i^O}{s_{я}}, \quad (15)$$

где d_d — наружный диаметр тормозного диска, м; τ_i^O — время, затрачиваемое на i -й оборот тормозного диска, с; b_n — ширина тормозной накладки, м.

Время τ_i^O найдем по выражению

$$\tau_i^O = \frac{k_3 (V_i^H - V_i^K)}{2 \phi g}. \quad (16)$$

С учетом (13), (15) и (16) запишем уравнение (14) в виде

$$\Delta t_i^B = \frac{9}{64} \frac{f F_n V \alpha_d d_d b_n k_3 (V_i^H - V_i^K)}{(\lambda_1 + \lambda_2) r_{\phi} s_{я}^2 \phi g}. \quad (17)$$

Окончательное выражение для расчета повышения температуры ячейки за i -й оборот тор-

мозного диска при торможении с учетом (11) и (17) примет следующий вид:

$$\Delta t_i^O = \frac{m_a (V_i^{H2} - V_i^{K2}) k_p}{n_d n_n C_{уд} m_{я}} 1,194 \cdot 10^{-4} + \frac{9}{64} \frac{f F_n V \alpha_d d_n b_n}{(\lambda_1 + \lambda_2) r_{\phi} s_{я}^2} \frac{k_3 (V_i^H - V_i^K)}{\Phi g}. \quad (18)$$

Как видно из полученного выражения, температура ячейки будет зависеть от скорости движения автомобиля, его массы, свойств материала диска и накладки, величины давления на накладку и ее площади.

Ячейки, непосредственно не соприкасающиеся с накладкой тормоза, при торможении также изменяют свою температуру за счет передачи тепла от более нагретых ячеек и теплообмена с окружающей средой.

Изменение температуры ячеек из-за теплообмена с окружающей средой за i -й оборот тормозного диска можно найти по выражению

$$\Delta t_i^{BO} = \frac{\Delta t_i^{OC} \alpha \tau_i^O d_n (d_n - b_n)}{C_{уд} s_{ox} \rho s_{я}}, \quad (19)$$

где Δt_i^{OC} — разница между температурой ячейки и окружающей среды, °C; α — коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·°C; τ_i^O — время охлаждения ячейки за i -й оборот тормозного диска, с; s_{ox} — площадь охлаждения, м²; ρ — плотность материала диска, кг/м³.

Изменение температуры ячейки из-за теплообмена между соседними ячейками за i -й оборот тормозного диска определим по формуле

$$\Delta t_i^{BЯ} = \frac{\Delta t^Я \cdot \lambda_1 \cdot \tau_i^O}{C_{уд} \cdot s_{п} \cdot \rho}, \quad (20)$$

где $\Delta t^Я$ — разница температур между рассматриваемыми ячейками, °C; λ_1 — коэффициент теплопередачи материала диска, Вт/м²·°C; $s_{п}$ — площадь теплопередачи, м².

Предложенная методика теплового расчета тормозного диска описывает распределение температур в пределах объема тормозного диска в произвольный момент времени испытаний тормозной системы и связывает основные факторы, влияющие на процесс нагрева диска. Недостатком данной методики является необходимость выполнения большого количества вычислений. Для устранения этого недостатка желательно разработать программу для ЭВМ, которая обе-

спечит высокую скорость обработки данных и оперативную оценку влияния факторов, влияющих на нагрев дисков при торможении [7, 15]. Для оценки адекватности предложенной тепловой модели необходимо сравнить расчетные данные с экспериментальными.

Библиографический список

1. Гудз Г. С., Глобчак М. В., Коляса О. Л., Яворский Я. П. Тепловой расчет автомобильных дисковых тормозов на типовых режимах испытаний. Львов: Лига-Пресс, 2007. 128 с.
2. Гудз Г. С., Захара И. Я., Тарапон О. Г. Новый подход к моделированию температурных режимов автомобильных вентилируемых дисковых тормозов при циклических торможениях // Моделирование и информационные технологии: сб. науч. тр. Ин-та проблем моделирования в энергетике НАНУ им. Г. Е. Пухова. Киев: Изд-во Института проблем моделирования в энергетике НАНУ им. Г. Е. Пухова, 2009. Вып. 51. С. 37–42.
3. Яворский Я. П. Совершенствование метода теплового расчета автомобильных дисковых тормозов при длительных торможениях на основе компьютерного моделирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.02. Львов, 2004. 137 с.
4. Сарычев В. А., Хольшев Н. В., Краюшкин Е. А. Обзор существующих методов оценки тепловой энергонагруженности тормозных механизмов // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: материалы 6-й Междунар. науч.-практ. конф. Института архитектуры, строительства и транспорта. Тамбов: Изд-во Першина Р. В., 2019. С. 310–316.
5. Балан С. А., Гончарова А. Е., Становский Т. П. Моделирование теплового режима тормозных систем // Проектирование, производство и эксплуатация автотранспортных средств и поездов: сб. науч. работ ассоциации «Автобус». Львов, 2000. Вып. № 4. С. 18–21.
6. Коляса А. Л. Обоснование тепловой модели дисковых тормозных механизмов автомобильных колес: дис. ... канд. техн. наук. Львов: НУ «Львовская политехника», 2002. 121 с.
7. Гудз Г. С., Захара И. Я., Клычко О. Р. Влияние типа испытаний на температурный режим невентилируемых и вентилируемых дисковых тормозов автобусов // Вестник МАДИ. 2013. Вып. 1 (32). С. 3–7.
8. Сарычев В. А., Хольшев Н. В. Модель тормозного диска для определения его теплонагруженности // Проблемы экономичности и эксплуатации автотранспортной техники: материалы XXX II Национального

науч.-техн. семинара им. Михайлова В. В. Саратов: ООО «Амирит», 2019. С. 143–146.

9. Хольшев Н. В., Коновалов Д. Н. Расчет тягово-динамических и топливно-экономических показателей автомобиля [Электронный ресурс]. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Загл. с экрана.

10. Чудаков Е. А. Расчет автомобиля. М.: Машгиз, 1947. 589 с.

11. Красин П. С., Вольченко Н. А., Кашуба Н. В., Стадник О. Б. Энергонагруженность дисков в парах трения «диск-колодка» тормозных устройств автотранспортных средств // Научный журнал КубГАУ, 2015. № 110 (06). С. 1–17.

12. Пехович А. И., Жидких В. М. Расчеты теплового режима твердых тел. М.: Энергия, 1968. 34 с.

13. Пенкин Н. С., Пенкин А. Н., Сербии В. М. Основы трибологии и триботехники. М.: Машиностроение, 2008. 206 с.

14. Иванов А. М., Кристальный С. Р., Попов Н. В., Спинов А. Р. Испытания колесных транспортных средств. М.: МАДИ, 2018. 124 с.

15. Глазков Ю. Е., Андреева Т. И. Интенсификация работы автотранспортных предприятий на основе использования информационных технологий // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. трудов по матер. междунар. заоч. науч.-практ. конф. Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2014. № 3. Ч. 1 (8–1). С. 260–267.

References

1. Gudz G. S., Globchak M. V., Kolyasa O. L., Yavorskiy Ya. P. *Teplovoy raschet avtomobil'nykh diskovykh tormozov na tipovykh rezhimakh ispytaniy* [Thermal calculation of automobile disc brakes on typical test modes]. Lvov, Liga-Press Publ., 2007, 128 p.

2. Gudz G. S., Zakhara I. Ya., Tarapon O. G. *Noviy podkhod k modelirovaniyu temperaturnykh rezhimov avtomobil'nykh ventiliruemyykh diskov tormozov pri tsiklicheskikh tormozheniyakh* [New approach to modeling the temperature conditions of automobile ventilated brake discs under cyclic braking]. *Sb. nauch. tr. In-ta problem modelirovaniya v energetike NANU im. G. E. Pukhova «Modelirovanie i informatsionnye tekhnologii»* [Coll. works of the Pukhov Institute of problems of modeling in power engineering of the National Academy of Sciences "Modeling and information technologies"]. Kiev, Institut problem modelirovaniya v energetike NANU im. G. E. Pukhova Publ., 2009, iss. 51, pp. 37–42.

3. Yavorskiy Ya. P. *Sovershenstvovanie metoda teplovogo rascheta avtomobil'nykh diskovykh tormozov pri dliatel'nykh tormozheniyakh na osnove komp'yuternogo modelirovaniya*. Diss. kand. tekhn. nauk [Improving the

method of thermal calculation of automobile disc brakes for long-term braking based on computer modeling. PhD in Sci. Tech. diss.]. Lvov, 2004, 137 p.

4. Sarychev V. A., Khol'shev N. V., Krayushkin E. A. *Obzor sushchestvuyushchikh metodov otsenki teplovoy energonagruzhennosti tormoznykh mekhanizmov* [Review of existing methods for evaluating thermal energy loading rate of brakes]. *Trudy 6-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Instituta arkhitektury, stroitel'stva i transporta «Ustoychivoe razvitie regiona: arkhitektura, stroitel'stvo, transport»* [Proc. of the VI International scientific-practical conf. at the Institute of architecture, construction and transport "Sustainable development of the region: architecture, construction, transport"]. Tambov, Izd-vo Pershina R. V. Publ., 2019, pp. 310–316.

5. Balan S. A., Goncharova A. E., Stanovskiy T. P. *Modelirovanie teplovogo rezhima tormoznykh sistem* [Modeling of the thermal regime of braking systems]. *Sb. nauch. rabot Assotsiatsii Avtobus «Proektirovanie, proizvodstvo i ekspluatatsiya avtotransportnykh sredstv i poezdov»* [Collection of scientific works of the Bus Association "Design, production and operation of motor vehicles and trains"]. Lvov, 2000, no. 4, pp. 18–21.

6. Kolyasa A. L. *Obosnovanie teplovoy modeli diskovykh tormoznykh mekhanizmov avtomobil'nykh koles*. Diss. kand. tekhn. nauk [Substantiation of the thermal model of disc brake mechanisms of automobile wheels. PhD in Sci. Tech. diss.]. Lvov, Lvovskaya politehnika Publ., 2002, 121 p.

7. Gudz G. S., Zakhara I. Ya., Klypko O. R. *Vliyanie tipa ispytaniy na temperaturniy rezhim neventiliruemyykh i ventiliruemyykh diskovykh tormozov avtobusov* [Influence of the type of tests on the temperature regime of unventilated and ventilated disc brakes of buses]. *Vestnik MADI – Bulletin of MADI*, 2013, iss. 1 (32), pp. 3–7.

8. Sarychev V. A., Khol'shev N. V. *Model' tormoznogo diska dlya opredeleniya ego teplonagruzhennosti* [Model of the brake disc to determine its thermal loading rate]. *Trudy XXX II Natsional'nogo nauch.-tekhn. seminar im. Mikhaylova V. V. «Problemy ekonomichnosti i ekspluatatsii avtotraktoroy tekhniki»* [Proc. of the XXX II of the National scientific-technical university workshop named after V. V. Mikhailov "Problems of efficiency and operation of automotive equipment"]. Saratov, Amirit Publ., 2019, pp. 143–146.

9. Holshev N. V., Konovalov D. N. *Raschyot tyagovodynamicheskikh i toplivno-ekonomicheskikh pokazateley avtomobilya* [Elektronniy resurs] [Calculation of traction-dynamic and fuel-economic indicators of the car [Electronic resource]]. Tambov, TGTU Publ., 2017, 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Загл. с экрана [Caption from the screen].

10. Chudakov E. A. *Raschet avtomobilya* [Calculation of the car]. Moscow, Mashgiz Publ., 1947, 589 p.

11. Krasin P. S., Vol'chenko N. A., Kashuba N. V., Stadnik O. B. *Energonagruzhenost' diskov v parakh treniya «disk-kolodka» tormoznykh ustroystv avtotransportnykh sredstv* [Energy loading of disks in pairs "disk-pad" pairs of motor vehicle brake]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU – KUBGAU scientific journal*, 2015, no. 110 (06), pp. 1–17.
12. Pekhovich A. I., Zhidkikh V. M. *Raschety teplovogo rezhima tverdykh tel* [Calculations of the thermal regime of solid bodies]. Moscow, Energiya Publ., 1968, 34 p.
13. Penkin N. S., Penkin A. N., Serbii V. M. *Osnovy tribologii i tribotekhniki* [Fundamentals of tribology and tribo-engineering]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2008, 206 p.
14. Ivanov A. M., Kristal'niy S. R., Popov N. V., Spinov A. R. *Ispytaniya kolesnykh transportnykh sredstv* [Tests of wheeled vehicles]. Moscow, MADI Publ., 2018, 124 p.
15. Glazkov Yu. E., Andreeva T. I. *Intensifikatsiya raboty avtotransportnykh predpriyatiy na osnove ispol'zovaniya informatsionnykh tekhnologiy* [Intensification of the work of motor transport enterprises based on the use of information technologies]. *Sb. nauch. trudov po mater. mezhdunar. zaoch. nauch.-prakt. konf. «Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika»* [Proceedings of the International correspondence scientific-practical conf. "Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice"]. Voronezh, VGLTA Publ., 2014, no. 3, pt. 1 (8–1), pp. 260–267.