

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 656.2.004:625.066
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-4>

Использование данных мониторинга эксплуатации транспортных средств для оценки дорожных условий движения транспортных потоков



Игорь ЧЕРНЯЕВ



Сергей ЕВТЮКОВ

*Игорь Олегович Черняев¹,
Сергей Аркадьевич Евтюков²*

^{1,2} Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия.

✉ ¹ chernyaev@rambler.ru.

АННОТАЦИЯ

Разработка адаптивных систем технического обслуживания и ремонта автомобильной техники ставит задачи мониторинга условий их эксплуатации. Одним из основных факторов, определяющих эти условия, является тип дорожного покрытия.

В статье изложены полученные теоретическими и экспериментальными методами результаты определения типа (и состояния) дорожного покрытия на основе анализа вертикальных ускорений, регистрируемых на кузове транспортного средства.

Целью разработки является обеспечение возможности непрерывного контроля типа дорожного покрытия, по которому осуществляется движение автомобиля, с последующим использованием полученных данных для коррекции сервисного интервала. В статье приведены результаты экспериментов, показывающие зависимость вертикальных ускорений кузова от микропрофиля дорожного покрытия. Приведены экспериментально полученные профили вертикальных ускорений для различных типов дорожного покрытия в различном состоянии. Для количественной оценки предложено

рассчитывать средний уровень ускорений как интегральное среднее на определённом интервале времени.

По результатам экспериментов обоснована эмпирическая зависимость среднего уровня ускорений от скорости движения транспортного средства. На основе данной зависимости предложен метод пересчёта текущих значений средних уровней ускорений, полученных при различных скоростях, в значения, приведённые к базовой скорости для обеспечения возможности их сравнения.

Показано, что на основе полученных в результате мониторинга эксплуатации значений средних уровней ускорений для заранее известного типа покрытия возможно определение его состояния. Сформулирован краткий алгоритм для практической реализации и выполнения оценки дорожных условий движения транспортных потоков. В качестве аппаратной базы предлагается не дооснащение транспортного средства дополнительными датчиками, а использование штатных акселерометров в составе автоматизированных информационных систем экстренного реагирования при авариях, например, блоков оборудования ЭРА-ГЛОНАСС.

Ключевые слова: транспорт, автомобильный транспорт, мониторинг эксплуатации транспортных средств, условия эксплуатации, адаптивные системы технического обслуживания, ГЛОНАСС, ЭРА-ГЛОНАСС.

Для цитирования: Черняев И. О., Евтюков С. А. Использование данных мониторинга эксплуатации транспортных средств для оценки дорожных условий движения транспортных потоков // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 34–39. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-4>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях, характеризующихся разукрупнением автопредприятий и ростом доли транспортных средств (ТС), эксплуатируемых индивидуальными владельцами [1], продолжающая применяться в подавляющем большинстве случаев для организации процессов технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) ТС планово-предупредительная система теряет свою эффективность [2; 3].

Актуальной является задача разработки так называемых адаптивных систем ТО и Р, которые позволят принимать решение о выполнении технических воздействий индивидуально для каждого транспортного средства, повышая тем самым эффективность процессов обеспечения их технической готовности [4–6]. Решению данной задачи способствует современный уровень техники и информационных технологий, позволяющий реализовывать такую составляющую интеллектуальных транспортных систем, как мониторинг эксплуатации ТС [7].

Мировой опыт развития систем эксплуатации транспортных средств показывает, что крупные мировые производители автомобильной техники для её новых образцов начинают реализовывать гибкие графики технического обслуживания, корректируемые в режиме реального времени в зависимости от условий эксплуатации [8]. В первую очередь, данный подход к организации проведения обслуживания внедряется для грузовой и специальной техники, для транспортных средств, эксплуатирующихся в особых условиях, для которых повышение эффективности эксплуатации особенно важно и даёт значительный экономический эффект [9]. Так, «гибкие» планы технического обслуживания сегодня могут применяться для грузовых автомобилей марок Mercedes, Scania, Volvo [10]. Отечественные производители (КамАЗ) также разрабатывает аналогичные системы, пока однако не получившие широкого распространения [11].

Однако как зарубежные [12–16], так и отечественные [7; 17; 18] подходы в качестве источников информации для принятия решений о выполнении обслуживания рассматривают в основном данные телеметрии рабочих процессов агрегатов, управляющих воздействий со стороны водителя и скорости движения транспортного средства. Один из ос-

новных факторов внешней среды – тип дорожного покрытия, не рассматривается.

В связи с этим, *целью* статьи является изложение результатов исследований, направленных на разработку метода оценки дорожных условий движения транспортных потоков на основе данных мониторинга эксплуатации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Как показано выше, одним из основных нормативов ТО и Р является периодичность технического обслуживания. В планово-предупредительной системе она определяется с учётом базовой периодичности ТО и значений корректирующих коэффициентов, которые учитывают, в том числе, дорожные условия [19].

В одном из вариантов адаптивных систем ТО и Р значения корректирующих коэффициентов определяются индивидуально для каждого ТС на основе данных мониторинга эксплуатации. При реализации данного подхода для определения в режиме реального времени типа дорожного покрытия, на котором осуществляется эксплуатация ТС, предлагается использование непрерывного контроля вертикальных ускорений поддресоренных масс, регистрируемых на кузове ТС.

Данный способ основан на том, что взаимодействие колёс ТС с неровностями дороги является основным источником вынужденных колебаний элементов конструкции ТС. Степень силовых воздействий колебательных процессов на элементы конструкции оценивается параметрами, связанными с ускорениями, а параметры колебательных процессов элементов конструкции ТС в процессе движения имеют непосредственную связь с микропрофилем дороги, по которой это движение осуществляется [20]. Микропрофиль, в свою очередь, определяет не только тип, но и состояние дорожного покрытия. Таким образом, для определения в режиме реального времени типа и состояния дорожного покрытия возможно использование непрерывного контроля вертикальных ускорений, регистрируемых на кузове ТС.

Для подтверждения данной гипотезы были использованы экспериментальные *методы* исследования – по сигналам с трёхпозиционного акселерометра, жёстко закреплённого на кузове транспортного средства, выполнены построения профилей вертикальных ускоре-



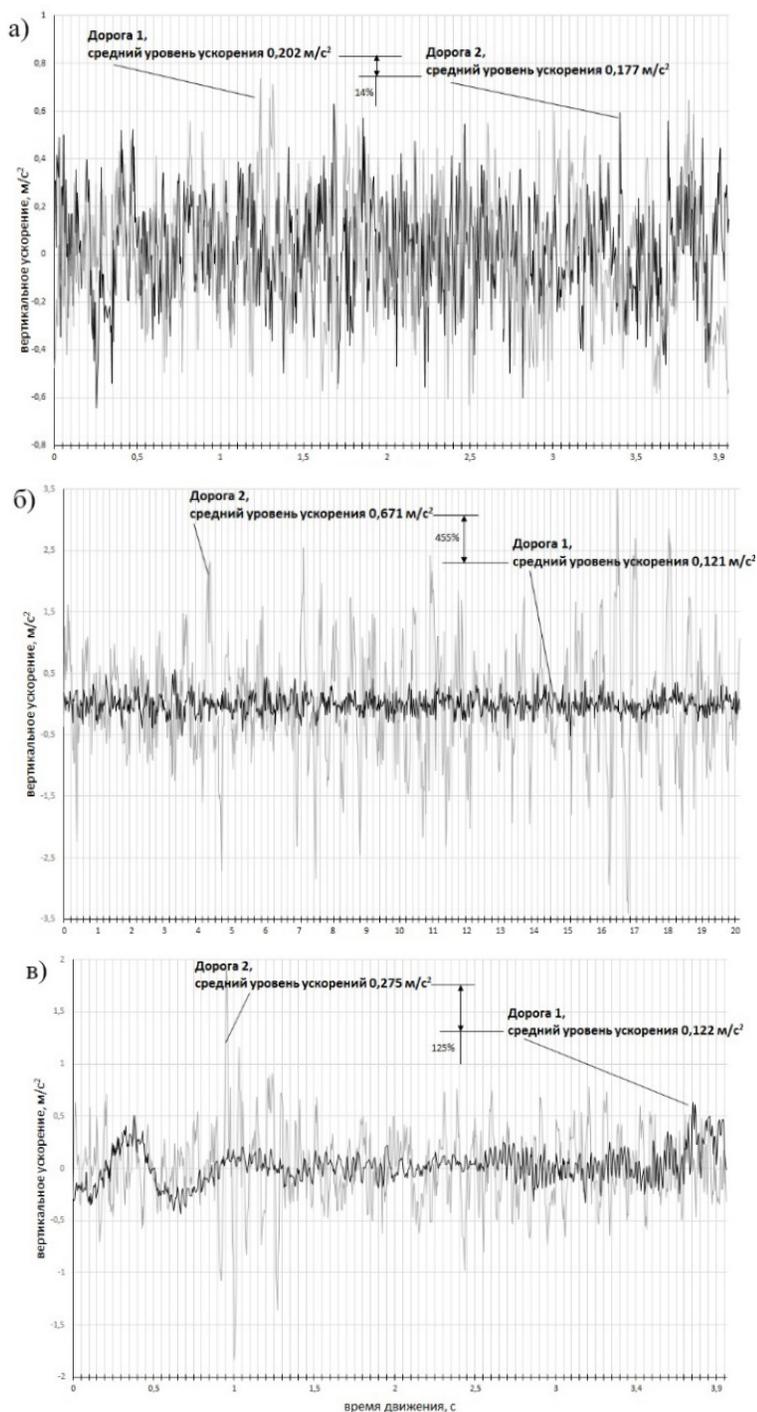


Рис. 1. Профили вертикальных ускорений кузова ТС категории М1 при движении по дорогам с различными типами покрытий в различном состоянии (скорость 30 км/ч): а) дорога 1 и дорога 2 – асфальтобетон в хорошем состоянии; б) дорога 1 – асфальтобетон, дорога 2 – грунт, улучшенный местными материалами; в) дорога 1 – асфальтобетон в хорошем состоянии, дорога 2 – асфальтобетон в удовлетворительном состоянии (выполнено авторами).

ний с шагом записи параметров 5...10 мс. Результаты представлены на рис. 1.

Для обеспечения возможности идентификации типа и состояния дорожного покрытия

не только визуальным методом (по форме графиков), но и в автоматическом режиме на основе математической обработки массива данных о вертикальных ускорениях, введена

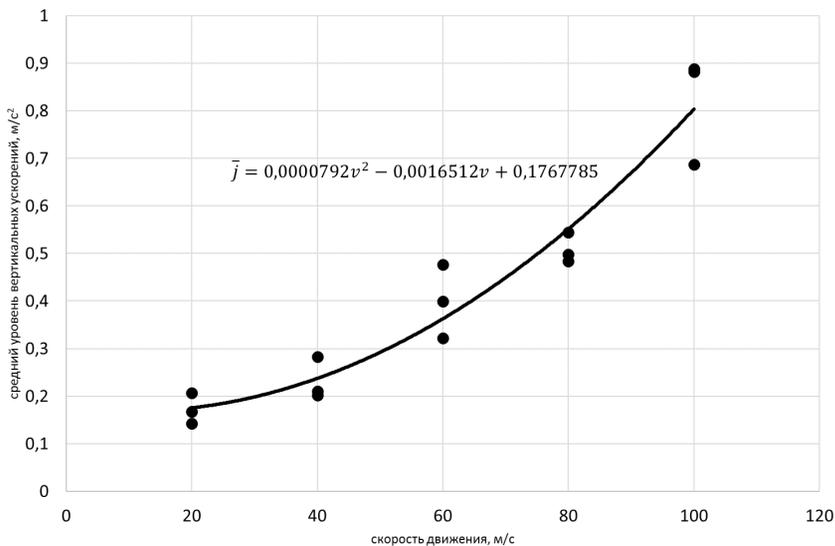


Рис. 2. Зависимость среднего уровня вертикальных ускорений кузова от скорости движения транспортного средства (выполнено авторами).

величина среднего уровня ускорений, рассчитываемая по формуле:

$$\bar{j}(t) = \frac{1}{\delta} \int_{t-\delta}^t j(t) dt, \quad (1)$$

где $j(t)$ – текущее значение ускорения в момент времени t , м/с²;

δ – период времени для определения среднего уровня ускорений, с;

$\bar{j}(t)$ – значение среднего уровня ускорений в момент времени t , м/с².

Формула (1) является аналогом формул, используемых при анализе профилей ускорений для определения уровня силовых воздействий и значений индекса возможного ущерба ASI в системе ЭРА-ГЛОНАСС¹. В рассматриваемом случае оценивается результат протекания тех же процессов, за исключением того, что объектом воздействия является не человек (пассажир), а ТС. В связи с этим использование формулы (1) может быть признано адекватным.

Экспериментальные данные и результаты расчёта позволяют говорить о том, что величины средних уровней ускорений могут быть использованы для идентификации типа дорожного покрытия. Так, одинаковые дорожные покрытия имеют сходные профили

ускорений и мало отличающиеся величины среднего уровня ускорений (рис. 1а), в то время как разница средних уровней ускорений для асфальтобетонного и грунтового покрытий может достигать 4,5 раз (рис. 1б).

В то же время для асфальтобетонного покрытия в удовлетворительном состоянии значение среднего уровня ускорений может превышать значение для покрытия в хорошем состоянии более чем в два раза (рис. 1в). С точки зрения реализации адаптивных систем ТО и Р, для принятия решений о выполнении очередного технического обслуживания важна исключительно оценка силового воздействия со стороны дороги на элементы конструкции транспортного средства, которое приводит к ухудшению технического состояния. При этом сходные по уровню силовые воздействия может оказать как грунтовое покрытие в хорошем состоянии, так и асфальтобетонное покрытие в удовлетворительном состоянии. Однако, если тип дорожного покрытия, по которому осуществляется движение, заранее известен, то данные мониторинга вертикальных ускорений и рассчитанный их средний уровень могут быть использованы для оценки состояния дорожного покрытия.

Следует сказать, что представленные на рис. 1 экспериментальные данные справедливы для одной постоянной скорости движения ТС. Так как величина силового воздействия со стороны дороги не может не зависеть от скорости, а в процессе движения скорость



¹ ГОСТ Р 54620-2011. Глобальная навигационная спутниковая система. Система экстренного реагирования при авариях. Автомобильная система вызова экстренных оперативных служб. Общие технические требования. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200095073>. Доступ 14.07.2021.

ТС непостоянна, для практического применения предлагаемого способа оценки состояния дорожного покрытия требуется оценка характера зависимости среднего уровня вертикальных ускорений кузова ТС от скорости движения.

Для этого были произведены экспериментальные определения среднего уровня вертикальных ускорений при движении одного и того же транспортного средства по одному и тому же участку дороги с асфальтобетонным покрытием с разными скоростями движения. Результаты эксперимента вместе с аппроксимирующей зависимостью приведены на рис. 2.

Зависимость среднего уровня вертикальных ускорений кузова транспортного средства от скорости движения аппроксимирована степенной зависимостью второй степени исходя из того, что вынужденные колебания кузова связаны с кинетической энергией, которой обладает ТС, взаимодействуя с неровностями микропрофиля дороги, а кинетическая энергия пропорциональна квадрату скорости.

Нелинейность реальной зависимости уровня силовых параметров воздействия на транспортное средство от микропрофиля дороги подтверждается также положениями действующих методических рекомендаций по исследованию ровности дорожных покрытий². Однако на практике для упрощения применения предлагается использовать линейные зависимости вида $\bar{j} = kv$. Их применение не приведёт к значительной потере точности (точность аппроксимации меньше на 3 % по сравнению с полиномиальной зависимостью второго порядка). Это позволит учесть условие равенства нулю среднего уровня ускорений при нулевой скорости и осуществлять приведение значений среднего уровня ускорений к одной и той же «базовой» скорости для обеспечения возможности сравнительной оценки состояния дорожного покрытия на различных участках без проведения предварительных испытаний для определения точного характера зависимостей. Если в качестве базовой скорости принять

скорость, равную 60 км/ч, то приведённое значение среднего уровня ускорений будет рассчитываться по следующей формуле:

$$\bar{j}_{60}(t) = 60 \frac{\bar{j}(t)}{v(t)}. \quad (2)$$

Также для практического применения описанного метода необходимо обосновать величину интервала времени δ , являющегося базой для расчёта среднего уровня ускорений. Для этого следует учесть, что состояние дорожного покрытия определяется на участке дороги некоторой протяжённости. Так как с помощью описанного метода состояние дорожного покрытия оценивается локально, то в соответствии с рекомендациями², длина участка дороги в данном случае должна составлять от 25 до 100 м. В первом приближении для обеспечения точности выбрано усреднённое значение, равное 50 м. В таком случае временная база для расчёта среднего уровня ускорений будет зависеть от скорости транспортного средства в текущий момент времени:

$$\delta = 50v^{-1}. \quad (3)$$

ВЫВОДЫ

Таким образом, для оценки дорожных условий на основе данных о вертикальных ускорениях кузова ТС можно предложить следующую последовательность действий:

- определение координат транспортного средства (φ , λ) и текущего момента времени t ;
- определение скорости транспортного средства в текущий момент времени $v(t)$;
- определение временной базы для расчёта среднего уровня ускорений по формуле 3;
- определение среднего уровня ускорений по формуле 1;
- приведение среднего уровня ускорений к базовой скорости по формуле 2;
- определение состояния дорожного покрытия путём сравнения приведённого уровня среднего уровня ускорений с заранее установленными пороговыми значениями.

Реализация предложенного механизма возможна в России в качестве дополнительного функционала системы ЭРА-ГЛОНАСС (или аналогичных зарубежных систем). Его применение позволит не только обеспечить индивидуальную корректировку периодичности технического обслуживания ТС, но и осуществлять экспресс-контроль состояния дорожного покрытия в режиме реального времени.

² ОДМ 218.11.001-2015. Методические рекомендации по учёту увеличения динамического воздействия нагрузки по мере накопления неровностей и определению коэффициента динамичности в зависимости от показателя ровности. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/456020155>. Доступ 14.07.2021.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Verevkin, N., Lavrentyev, E., Chernyaev, I., Gurin, D. Method of Providing Safe Technical Condition of Vehicles by Technological Design of Enterprises. *Transportation Research Procedia*, 2017, Vol. 20, pp. 665–670. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.108.
2. Dobromirov, V., Verhorubov, V., Chernyaev, I. Systematizing the factors that determine ways of developing the vehicle maintenance system and providing vehicle safety. *Transportation Research Procedia*, 2018, Vol. 36, pp. 114–121. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.052.
3. Детлер М. Ф., Криворотов А. В., Недолужко А. И., Парубец А. Ю. К вопросу применения нормативов планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта к современным автомобилям // ИВД. – 2017. – № 2 (45). – С. 14–22. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29911672>. Доступ 14.07.2021.
4. Бердников И. Е. Разработка диагностико-информационной подсистемы технического сервиса для обеспечения эксплуатационной надежности транспортно-технологических машин // Дис... канд. техн. наук ЗабГУ. – Чита, 2017. – 217 с. [Электронный ресурс]: <https://brstu.ru/docs/podrazdeleniya-brgu/dissert-sovet/berdnikov-ie/dissertaciya-berdnikov.pdf>. Доступ 14.07.2021.
5. Дидманидзе О. Н., Варнаков Д. В., Варнаков В. В. Концепция технического сервиса по фактическому состоянию машин на основе оценки их параметрической надёжности // Вестник Московского государственного агроинженерного университета им. В. Н. Горячкина. – 2016. – № 2 (72). – С. 51–57. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25791809>. Доступ 14.07.2021.
6. Попов Д. А., Никонов В. О., Панин М. А. Перспективный подход к установлению периодичности технического обслуживания автомобилей // Бюллетень транспортной информации. – 2019. – № 2 (284). – С. 24–29. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37218559>. Доступ 14.07.2021.
7. Мороз С. М. Сервисы ИТС для технической эксплуатации автомобилей // Автомобильная промышленность. – 2015. – № 9. – С. 21–23. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24349424>. Доступ 14.07.2021.
8. Taghipour, S., Banjevic, D. Optimum inspection interval for a system under periodic and opportunistic inspections. *IIE Transactions*, 2012, Vol. 44, Iss. 11, pp. 932–948. DOI: 10.1080/0740817X.2011.618176.
9. Савин Л. О., Королёв М. В., Носов М. В. Анализ определяющих параметров и возможностей использования гибких стратегий технического обслуживания для повышения надёжности автомобильной техники при её эксплуатации в особых условиях // Научный результат. Информационные технологии. – 2017. – № 2. – С. 9–20. DOI: 10.18413/2518-1092-2017-2-2-9-20.
10. Biteus, J., Lindgren, T. Planning Flexible Maintenance for Heavy Trucks Using Machine Learning Models, Constraint Programming, and Route Optimization. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 2017, Vol. 10, Iss. 3, pp. 306–315. DOI: 10.4271/2017-01-0237.
11. Иванов А. В., Селезнев М. В. К вопросу о периодичности смены трансмиссионных масел в процессе эксплуатации автомобилей // Вестник НГИЭИ. – 2016. – № 10 (65). – С. 94–102. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27193429>. Доступ 14.07.2021.
12. Vakiti, K., Deussen, J., Pilger, C., Nanjundaswamy, H. K. [et al]. In-Use Compliance Opportunity for Diesel Powertrains. *SAE Technical Papers*, 2018, 14 p. DOI: 10.4271/2018-01-0877.
13. Nanjundaswamy, H., Deussen, J., Sickle, R., Tomazic, D., Szailer, T., Franke, M., Kotter, M., Körfer, T. OBD Diagnostic Strategies for LEVIII Exhaust Gas Aftertreatment Concepts. *SAE International Journal of Passenger Cars – Mechanical Systems*, 2015, Vol. 8 (1). DOI: 10.4271/2015-01-1040.
14. Rengasamy, D., Jafari, M., Rothwell B., Xin Chen, Figueredo, G. P. Deep Learning with Dynamically Weighted Loss Function for Sensor-Based Prognostics and Health Management. *Sensors (Switzerland)*, 2020, Vol. 20, Iss. 3 (723), 21 p. DOI: 10.3390/s20030723.
15. Rahat, M., Pashami, S., Nowaczyk, S., Kharazian, Z. Modeling Turbocharger Failures using Markov Process for Predictive Maintenance. Paper presented at the 30th European Safety and Reliability Conference, ESREL, 2020 and 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference, PSAM 2020, pp. 3431–3437. [Электронный ресурс]: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1505794/FULLTEXT01.pdf>. Доступ 14.07.2021.
16. Dobry, P., Lehmann, T., Bertsche, B. Two-Step Data Mining Method to Identify Failure Related Driving Patterns. Paper presented at the Proceedings – Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2018, pp. 1–7. DOI: 10.1109/RAM.2018.8463004.
17. Болдин А. П. Научные основы разработки и использования систем внешнего и встроенного диагностирования на автомобильном транспорте // Дис... док. техн. наук. – М., 1994. – 430 с.
18. Озорнин С. П., Бердников И. Е. Совершенствование организации мониторинга изменений технического состояния машин в эксплуатации // Вестник ЗабГУ. – 2014. – № 8. – С. 64–69. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22024780>. Доступ 14.07.2021.
19. Кузнецов Е. С., Болдин А. П., Власов В. М. и др. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник / 4-е изд., перераб. и дополн. – М.: Наука, 2001. – 535 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/kuznecoves-tehnicheskaya-ekspluataciya-avtomobiley_a8f713edcf5.html. Доступ 14.07.2021.
20. Любимов И. И., Сычёв А. М. Об аналитическом определении показателей динамики колесной нагрузки транспортных машин при случайных колебаниях // Вестник СГТУ. – 2005. – № 1 (9). – С. 71–79. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18286899>. Доступ 14.07.2021. ●

Информация об авторах:

Черняев Игорь Олегович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технической эксплуатации транспортных средств Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ), Санкт-Петербург, Россия, chernyaev@rambler.ru.

Евтюков Сергей Аркадьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой наземных транспортно-технологических машин Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ), Санкт-Петербург, Россия, s.a.evt@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 16.06.2020, актуализирована 14.07.2021, одобрена после рецензирования 26.07.2021, принята к публикации 29.07.2021.

