

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКА ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.Д. Шепелев, З.В. Альметова, П.И. Агеев, Е.В. Шепелева

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Существенная доля грузового транспорта приобретает производственными и торговыми компаниями для выполнения перевозок своих грузов. Ограниченный объем собственного грузопотока приводит к недоиспользованию провозной возможности грузового транспорта, что ведет к росту транспортных издержек. Учитывая этот фактор, а также высокую стоимость нового транспорта, предприятия приобретают подвижной состав, бывший в эксплуатации.

Целью работы является оценка эффективности эксплуатации подержанных тягачей на основе технико-экономического моделирования. При моделировании транспортного процесса за базовые показатели принимаются грузооборот предприятия и протяженность маршрутов.

Анализ производительности транспортных средств от срока службы позволил получить зависимость изменения стоимости среднегодового пробега тягача от срока эксплуатации. На основании анализа рынка по продаже грузового автотранспорта предложено ввести коэффициент, учитывающий снижение производительности тягачей от срока их эксплуатации. По статистическим данным была аппроксимирована функция, отражающая динамику изменения введенного коэффициента. С помощью данной функции построена математическая модель для технико-экономической оценки использования подвижного состава по показателям производительности. Моделирование перевозочного процесса позволило определить рациональный срок эксплуатации подвижного состава, позволяющего выполнить весь объем работ с минимальной стоимостью.

Ключевые слова: производительность подвижного состава, срок эксплуатации, тягач, математическое моделирование.

Введение

Нестабильность экономики и постоянно меняющиеся тенденции в производственной отрасли нашей страны крайне негативно сказываются на состоянии транспортного сектора народного хозяйства. Это отражается, в том числе, в низких показателях грузооборота, по которым наша страна занимает лишь пятое место в Европе [1].

За последние 3–5 лет грузовые автомобильные перевозки не демонстрируют положительной динамики по грузообороту и уровню рентабельности. При текущей экономической ситуации нет действующих факторов, способных изменить общий курс данной тенденции [2, 5]. При существенном росте цен на подвижной состав и энергоресурсы, автотранспортные предприятия вынуждены работать с сохранением минимального уровня маржинальной доходности. При наблюдающемся перманентном повышении транспортных тарифов прибыль транспортных компаний в абсолютном выражении остается в стагнации [6].

К тому же существенно сказывается на участниках транспортного сектора состояние рынка автомобильных грузовых перевозок – в данный момент наблюдается превышение предложения над платежеспособным спросом (рынок покупателя), что является толчком для роста конкуренции. Все это вынуждает потребителей транспортных услуг и транспортные компании искать альтернативные пути снижения себестоимости перевозки с

обеспечением требуемого уровня производительности подвижного состава.

В условиях рыночной экономики необходимо в приоритетном порядке решать проблему эффективности междугородних автомобильных грузовых перевозок, так как доля транспортной составляющей в стоимости товара зачастую достигает 30–50 %. Важно учитывать, что одним из важных факторов эффективности является максимальное использование провозной возможности подвижного состава [4, 7]. При этом возрастная структура парка оказывает существенное влияние на его производительность и себестоимость перевозки груза.

В результате анализа рынка подержанных магистральных тягачей была выявлена закономерность снижения стоимости и производительности транспортных средств в зависимости от срока их эксплуатации [3, 9]. Приобретение бывших в эксплуатации тягачей, с одной стороны, позволяет снизить первоначальную стоимость, но с другой стороны, они не обеспечивают высокого уровня надежности и интенсивности перевозок. Выбор подвижного состава с различным сроком эксплуатации, обеспечивающим выполнение транспортных задач с минимальными затратами, является важной задачей, требующей решения [11, 12].

1. Расчет производительности магистральных тягачей в зависимости от срока эксплуатации

С целью оценки влияния срока эксплуатации грузового транспорта на его производительность,

предлагается ввести коэффициент использования магистральных тягачей (τ). Данный показатель будет отражать отрицательную динамику производительности автомобилей с увеличением их срока службы. Описанная тенденция обусловлена в первую очередь ростом количества отказов узлов и агрегатов, снижаются тяговые свойства тягачей, вследствие чего автотранспорт уже не может обеспечивать прежнюю интенсивность перевозок, что приводит к снижению производительности.

Показатели коэффициента определяем через отношение среднегодового пробега автомобиля i -го срока эксплуатации к максимально возможному среднегодовому пробегу (1-го года эксплуатации):

$$\tau = \frac{L_{ay}^i}{L_{ay}^{max}}, \quad (1)$$

где τ – коэффициент использования подвижного состава; L_{ay}^i – среднегодовой пробег автомобиля i -го срока эксплуатации; L_{ay}^{max} – максимальный среднегодовой пробег автомобиля.

Получение определения значений коэффициента τ для определенной марки и модели тягача необходимо использовать конкретные показатели среднегодового пробега, что является сложным и трудоемким процессом. Поэтому необходимо выявить среднюю закономерность изменения указанного коэффициента в зависимости от срока эксплуатации тягачей различных марок и моделей. С этой целью определены показатели τ на основе данных, полученных с основных интернет-площадок по продажам грузовой техники в России и Европе для тягачей с различным сроком эксплуатации (см. таблицу) [2, 5].

На основе данных получим функцию, отражающую регрессию значения τ . В общем виде такая формула примет вид:

$$\tau(t_i) = k_1 \cdot t^n + k_2 \cdot t^{n-1} + \dots + k_n \cdot t^0. \quad (2)$$

Для аппроксимации функции (2) и нахождения коэффициентов регрессии воспользуемся методом наименьших квадратов. Суть его заключается в поиске такой функции, при использовании которой расчетные значения имеют минимальные отклонения от фактических:

$$\varepsilon_i = \tau_i(t_i, k_1, k_2 \dots k_n) - \tau(t_i), \quad (3)$$

$$Q = \sum_{i=1}^{20} (\varepsilon_i)^2 = \sum_{i=1}^{20} [\tau_i(t_i, k_1, k_2 \dots k_n) - \tau(t_i)]^2 \rightarrow \min. \quad (4)$$

Таким образом, для нахождения значений коэффициентов $k_1, k_2 \dots k_n$ необходимо найти точки экстремума (минимумы) для выражения Q . Для их нахождения необходимо решить систему уравнений частных производных по переменным, которые и представляют собой коэффициенты искомой

регрессии. При этом мы ограничили полином пятой степенью:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sum_{i=1}^{20} [\tau_i(t_i, k_1, k_2 \dots k_6) - \tau(t_i)]^2}{\partial k_1} \\ \frac{\partial \sum_{i=1}^{20} [\tau_i(t_i, k_1, k_2 \dots k_6) - \tau(t_i)]^2}{\partial k_2} \\ \dots \\ \frac{\partial \sum_{i=1}^{20} [\tau_i(t_i, k_1, k_2 \dots k_6) - \tau(t_i)]^2}{\partial k_6} \end{cases} \quad (5)$$

После проведения расчетов были получены коэффициенты регрессии. Подставив их в выражение (2), получим функцию, описывающую динамику снижения вводимого коэффициента в зависимости от срока эксплуатации тягача:

$$\tau(t_i) = -4,711 \cdot 10^{-6} \cdot t^5 + 2,419 \cdot 10^{-4} \cdot t^4 - 4,283 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 0,031 \cdot t^2 - 0,14 \cdot t + 1,105 \cdot t^0. \quad (6)$$

Полученный коэффициент τ применим в формуле часовой производительности для нахождения производительности магистрального тягача:

$$W_u = \frac{q_n \cdot \gamma \cdot L_{z.e.} \cdot \tau(t_i) \cdot \beta \cdot V_m}{L_{z.e.} \cdot \tau(t_i) + t_{np} \cdot \beta \cdot V_m}. \quad (7)$$

Таким образом, приведенная формула позволяет учитывать основные технико-эксплуатационные показатели магистральных тягачей с учетом их срока эксплуатации [3, 4].

У производственных и торговых предприятий, использующих свой транспорт, как правило, имеется годовой план транспортных работ. С учетом планируемого объема перевозок предприятия, использующие собственный автотранспорт, с одной стороны – не способны в полной мере реализовать его провозные возможности, с другой – подержанный автотранспорт не обеспечивает выполнения всего объема транспортных работ. Эффективное использование бывших в эксплуатации магистральных тягачей с учетом производственных планов, географии перевозки требует дополнительных исследований [10].

2. Исследовательская часть

Приведенная выше ситуация обуславливает необходимость методического подхода к выбору транспортного средства под конкретные задачи. Основными факторами, влияющими на производительность магистральных тягачей, являются их техническое состояние, время погрузки и длина ездки. Математическое моделирование позволило получить изменение годовой производительности в зависимости как от срока эксплуатации автомобилей, так и от длины ездки с грузом (рис. 1). Полученная зависимость позволяет оценить, какой подвижной состав в разрезе возрастных характеристик при прочих равных условиях наиболее эффективен на каждое конкретное расстояние перевозки.

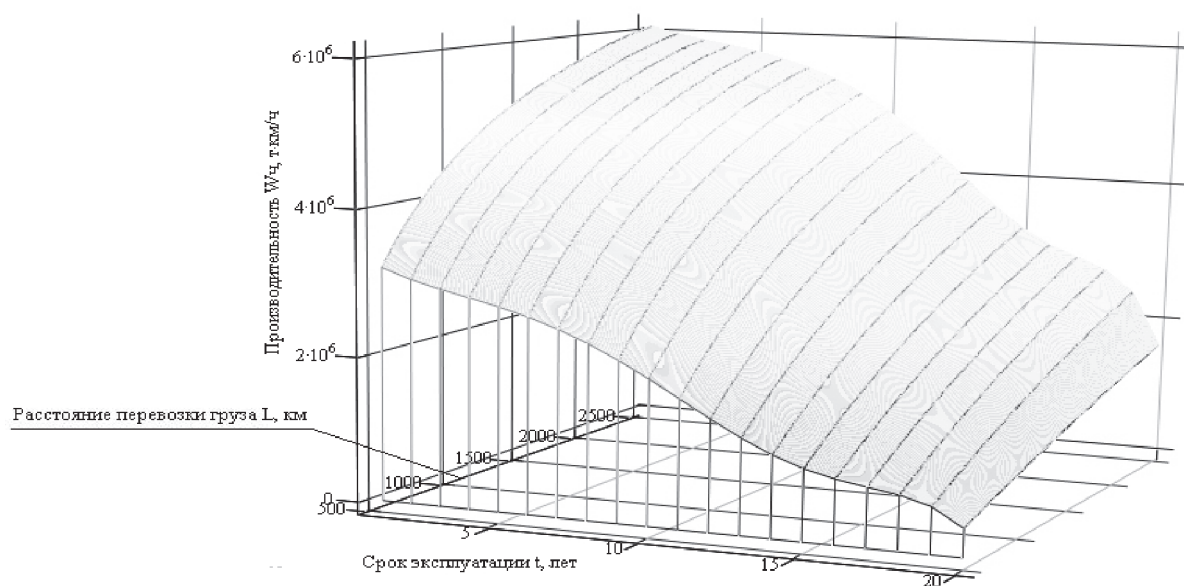


Рис. 1. Влияние длины ездки с грузом и срока эксплуатации на производительность ПС, т/км

Как видно из графика, при увеличении расстояния производительность магистральных тягачей растет с постоянным уровнем. В то же время в зависимости от срока производительность эксплуатации магистральных тягачей имеет достаточно специфичные тенденции к резким скачкам на определенных отметках. Так, например, на графике достаточно хорошо прослеживается сохранение плавной динамики снижения производительности до преодоления тягачом отметки в 5–8 лет. Тягачи со сроком эксплуатации, достигшим 10 лет, имеют показатели производительности на 35–40 % меньше аналогичных значений для тягачей со сроком эксплуатации 5–6 лет. В основном это обусловлено тем, что тягачи имеют небольшие пробеги, при этом большинство транспортных компаний в целях сохранения заводской гарантии обслуживаются у официальных дилеров, и используют оригинальные запасные части и расходные материалы [8, 11]. После 8 лет эксплуатации снижение производительности магистральных тягачей происходит без резких скачков, так, годовая производительность тягача, с ростом срока эксплуатации с 13 до 18 лет, снижается на 10–12 %.

В результате анализа структуры затрат на осуществление перевозочной деятельности [4] были определены основные позиции, которые увеличиваются с ростом срока службы магистральных тягачей. В значительной степени увеличиваются расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт, затраты на топливо, а также значение амортизационных отчислений в пересчете на 1 км. Если первые два показателя имеют тенденцию к существенному росту с увеличением срока эксплуатации, тогда как амортизационные отчисления снижаются. С учетом средневзвешенных

рыночных тарифов на грузовые перевозки была получена зависимость показателей прибыли за ездку в зависимости от таких переменных, как расстояние ездки с грузом и срока эксплуатации подвижного состава (рис. 2).

Как видно из рисунка, максимальную прибыль транспортные компании получают при приобретении магистральных тягачей со сроком эксплуатации 8–11 лет. Экономический эффект превышает аналогичные значения по сравнению с новыми тягачами более чем на 10 %. Целесообразность использования тягачей со сроком эксплуатации около 10 лет объясняется невысокими амортизационными отчислениями (при условии покупки подержанного автомобиля и использования его не более 5 лет). Дальнейшая эксплуатация транспортного средства приводит к росту переменных затрат на топливо, смазочные материалы и техническое обслуживание и текущий ремонт. При этом из рисунка видно, что при существующей конъюнктуре рынка транспортных услуг, прибыль, приносимая предприятию магистральными тягачами со сроком эксплуатации 10–20 лет, превышает прибыль, по сравнению с новыми автомобилями. Однако здесь нужно учитывать, что при условии значительного объема заказов годовая прибыль для новых транспортных средств существенно превышает аналогичный показатель подержанной техники ввиду больших провозных мощностей.

Выводы

В результате анализа рынка подержанного грузового транспорта получена зависимость производительности магистральных тягачей от срока их эксплуатации. Определено изменение стоимости магистральных тягачей с учетом их технико-эксплуатационных показателей. Получен коэффи-

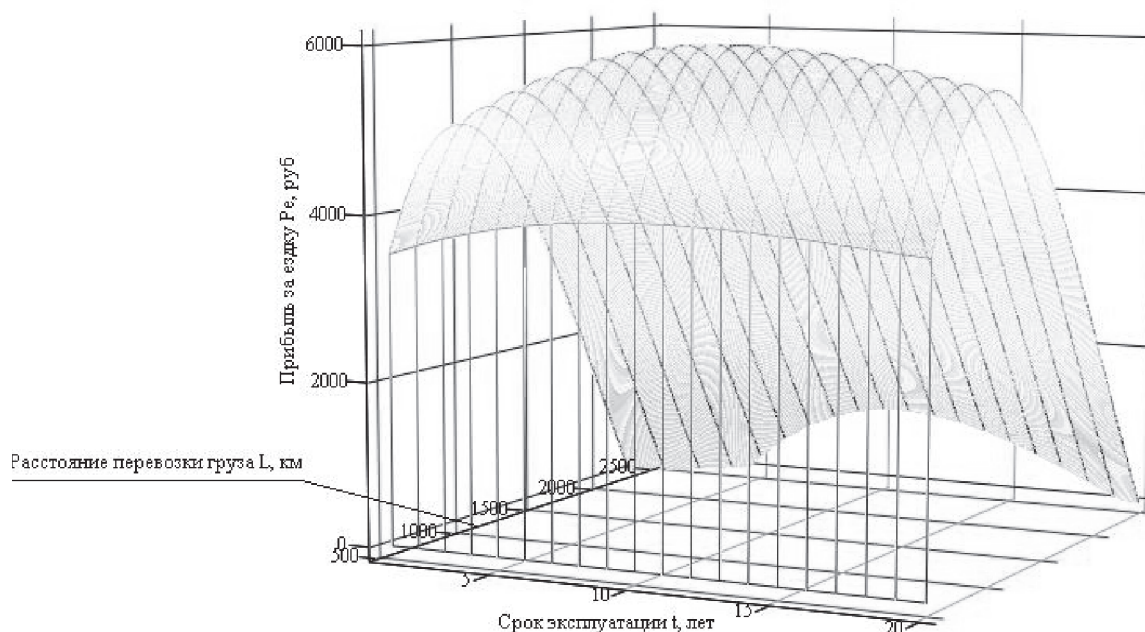


Рис. 2. Влияние длины ездки с грузом и срока эксплуатации на прибыль за ездку

циент для оценки производительности грузового транспорта, позволяющий более корректно определить провозные возможности автотранспортного парка с учетом срока эксплуатации подвижного состава. Полученная на основе коэффициента использования магистральных тягачей зависимость позволят выбрать транспортное средство, обеспечивающее выполнение всего объема работ с минимальными затратами.

Литература

1. Main transport indicators in the ECE region, UN, February 2016. Available at: <http://www.unecce.org/index.php?id=43374> (accessed 4 September 2017)
2. Шепелёв В.Д., Агеев П.И. // Проблемы и перспективы развития Евроазиатских транспортных систем: материалы 5 Междоунар. науч.-практ. конф., 17–18 мая 2013 г. / под ред. О.Н. Ларина, Ю.В. Рождественского. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – С. 271–276.
3. Горяев, Н.К. Влияние возраста подвижного состава на среднесуточные пробеги при междугородных автотранспортировках / Н.К. Горяев, И.А. Горяева // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2014. – Т. 8, № 1. – С. 153–155.
4. Шепелёв, В.Д. Анализ структуры себестоимости перевозки грузов на автомобильном транспорте / В.Д. Шепелёв, С.В. Усова // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2015. – № 2. – С. 858–862.
5. Woodburn A., Allen J., Browne M., Leonardi J., & Van Essen, H. (2010). *International road and rail freight transport: The impact of globalisation on activity*

levels // Globalisation, transport and the environment, pp. 121–159. DOI: 10.1787/9789264072916-7-en.

6. Leleń P., Wasiak M. *Optimization of multi-modal transport technologies selection for packed non-climacteric vegetables and fruits // Advances in Intelligent Systems and Computing.* – 2018. – V. 631. – P. 203–215. DOI: 10.1007/978-3-319-62316-0_17.
7. Mochalin S.M., Tyukina L.V., Novikova T.V., Pogulyaeva I.V., Romanenko E.V. *Problems of inter-organizational interaction of participants in motor transport cargo shipments // Indian Journal of Science and Technology.* – 2016. – V. 9(21). DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i21/95220.
8. Efimov V.P., Pranov A.A., Belousov K.A., Elenevskij I.N. *Development of perspective trucks for freight cars of new generation // Tyazheloe Mashinostroenie.* – 2005. – V. 8. – P. 23–28.
9. Bai H., Zhu T. *Objective programming model for freight traffic-split rate in comprehensive transportation corridor // Journal of Chang'an University (Natural Science Edition).* – 2014. – V. 34(4). – P. 147–151.
10. Joo S., Min H., Smith C. *Benchmarking freight rates and procuring cost-attractive transportation services // International Journal of Logistics Management.* – 2017. – V. 28(1). – P. 194–205. DOI: 10.1108/IJLM-01-2015-0030.
11. *Economic Cooperation and Development (OECD) // Moving freight with better trucks: Improving safety, productivity and sustainability.* – 2011. – P. 1–356. DOI: 10.1787/9789282102961-en
12. Bulhões T., Hà M.H., Martinelli R., Vidal T. *The vehicle routing problem with service level constraints // European Journal of Operational Research.* – 2018. – V. 265(2). – P. 544–558. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.08.027.

Шепелев Владимир Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), shepelevvd@susu.ru

Альметова Злата Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), almetovazv@susu.ru

Агеев Павел Игоревич, студент кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), Pavel.Ageev@chelpipe.ru

Шепелева Елена Витальевна, аспирант кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), sev_08@mail.ru

Поступила в редакцию 15 апреля 2018 г.

DOI: 10.14529/em180221

MODELLING THE USE EFFICIENCY OF CARGO MOTOR TRANSPORT DEPENDING ON THE PERIOD OF ITS OPERATION

V.D. Shepelev, Z.V. Almetova, P.I. Ageev, E.V. Shepeleva

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The main purpose of our research is developing a mathematic model which will select cargo fleet. The select criteria are specific production quantity. Basic variable is lifecycle of a truck.

We have analyzed the market of new and used trucks and determined dependency between truck price, production and service life. Price change dynamics has been determined. After that, we've revealed dependency between the truck's annual haulage and its lifecycle. Based on this data, a new coefficient was introduced. It shows the extent to which the truck loses productivity. In order to show the dynamics of coefficient change, a function was approximated. A mathematic model was built upon this function. This model should select the optimal truck in terms of its lifecycle. Another model was built for the corresponding self-cost. It uses tariff change data that depends on the length of a trip. At the same time, it uses self-cost data that depends on lifecycle of a truck.

Generally, these models should optimize car fleet in terms of lifecycle and productivity of trucks. Truck fleet must comply with production goals and be less expensive.

Keywords: truck productivity, lifecycle, tractor, mathematic modeling.

References

1. Main transport indicators in the ECE region, UN, February, 2016. Available at: <http://www.unece.org/index.php?id=43374> (accessed 4 September 2017)
2. Shepelev V.D., Ageev P.I. [The truck lifecycle influence on it usage efficiency]. *Problemy i perspektivy razvitiya Yevroaziatskikh transportnykh sistem* [Eurasian transportation systems challenges and development prospects: The fifth International Research and Practice Conference materials], 2013, pp. 271–276. (in Russ.)
3. Goryaev N.K., Goryaeva I.A. Influence of Vehicle Age on Average Daily Run at Intercity Road Freight-age. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2014, vol. 8, no. 1, pp. 153–155. (in Russ.)
4. Shepelev V.D., Usova S.V. [Cost analysis of freight road transport]. *Al'ternativnyye istochniki energii v transportno-tehnologicheskoy kompleks: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya* [Alternative sources of energy in Transport Technological Complex: problems and efficient use perspective], 2015, no. 2, pp. 858–862. (in Russ.)
5. Woodburn A., Allen J., Browne M., Leonardi J., Van Essen, H. International road and rail freight transport: The impact of globalisation on activity levels. *Globalisation, transport and the environment*, 2010, pp. 121–159. DOI: 10.1787/9789264072916-7-en
6. Leleń P., Wasiak M. Optimization of multimodal transport technologies selection for packed non-climacteric vegetables and fruits. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, 631, pp. 203–215. DOI: 10.1007/978-3-319-62316-0_17

7. Mochalin S.M., Tyukina L.V., Novikova T.V., Pogulyaeva I.V., Romanenko E.V. Problems of inter-organizational interaction of participants in motor transport cargo shipments. *Indian Journal of Science and Technology*, 2016, no. 9(21). DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i21/95220
8. Efimov V.P., Pranov A.A., Belousov K.A., Elenevskij I.N. Development of perspective trucks for freight cars of new generation. *Tyazheloe Mashinostroenie*, 2005, no. 8, pp. 23–28.
9. Bai H., & Zhu T. Objective programming model for freight traffic-split rate in comprehensive transportation corridor. *Journal of Chang'an University (Natural Science Edition)*, 2014, no. 34(4), pp. 147–151.
10. Joo S., Min H., Smith C. Benchmarking freight rates and procuring cost-attractive transportation services. *International Journal of Logistics Management*, 2017, no. 28(1), pp. 194–205. DOI: 10.1108/IJLM-01-2015-0030
11. *Economic Cooperation and Development (OECD)*. Moving freight with better trucks: Improving safety, productivity and sustainability, 2011, pp. 1–356. DOI: 10.1787/9789282102961-en
12. Bulhões T., Hà M.H., Martinelli R., Vidal T. The vehicle routing problem with service level constraints. *European Journal of Operational Research*, 2018, no. 265(2), pp. 544–558. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.08.027.

Vladimir D. Shepelev, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Automobile Transport Exploitation, South Ural State University, shepelevvd@susu.ru

Zlata V. Almetova, Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of the Automobile Transport Department, South Ural State University, almetovazv@susu.ru

Pavel I. Ageev, student of the Automobile Transport Department, South Ural State University, Pavel.Ageev@chelpipe.ru

Elena V. Shepeleva, postgraduate student of the Automobile Transport Department, South Ural State University. sev_08@mail.ru

Received April 15, 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Моделирование эффективности использования грузового автомобильного транспорта в зависимости от срока его эксплуатации / В.Д. Шепелёв, З.В. Альметова, П.И. Агеев, Е.В. Шепелева // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2018. – Т. 12, № 2. – С. 179–184. DOI: 10.14529/em180221

FOR CITATION

Shepelev V.D., Almetova Z.V., Ageev P.I., Shepeleva E.V. Modelling the Use Efficiency of Cargo Motor Transport Depending on the Period of its Operation. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2018, vol. 12, no. 2, pp. 179–184. (in Russ.). DOI: 10.14529/em180221