

DOI: 10.15593/24111678/2019.03.06

УДК 656.13

Н.В. Лобов, Е.М. Генсон, Д.В. Мальцев, А.С. Хрулев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

ВЫБОР КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ОТХОДОВ

Статья посвящена обзору основных проблем, с которыми столкнулись участники рынка по обращению с твердыми коммунальными отходами после вступления в силу изменений Федерального закона 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления». С 2019 г. во всех регионах России действуют региональные операторы по обращению с отходами. На примере Пермского края рассмотрена новая схема функционирования рынка по обращению с отходами. Специализированные автотранспортные предприятия, выступающие в качестве подрядчиков по транспортированию ТКО, столкнулись с резким изменением количества обслуживаемых контейнеров, объема вывоза отходов и маршрутов движения мусоровозов. В связи с этим была поставлена и решена задача оптимизации маршрутов движения парка специализированного подвижного состава и даны рекомендации по его корректировке. Для решения задачи оптимизации парка автомобилей выбран метод линейного программирования. В качестве целевой функции определена себестоимость перевозки 1 т·км ТКО. В качестве экспресс-критерия для оценки эффективности эксплуатации автомобилей может применяться удельный расход топлива на выполнение транспортной работы, который изменяется в зависимости от коэффициента использования грузоподъемности мусоровоза. Установлено, что часть маршрутов движения конкретных мусоровозов экономически нецелесообразна, поэтому были даны рекомендации закрепить конкретные маршруты за более экономичными автомобилями, с меньшей грузоподъемностью.

Ключевые слова: парк автомобилей, специализированный подвижной состав, оптимизация, эффективность эксплуатации мусоровозов.

N.V. Lobov, E.M. Genson, D.V. Maltcev, A.S. Khrulev

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

SELECTION OF A CRITERION FOR EVALUATING THE EFFICIENCY OF USING A SPECIALIZED ROLLING STOCK WHEN TRANSPORTING WASTE

The article is devoted to the review of the main problems that market participants in handling municipal solid waste faced after the entry into force of amendments to Federal Law 89-FZ "On Production and Consumption Waste". Since 2019, regional waste management operators have been operating in all the regions of Russia. On the example of the Perm Territory, a new scheme of the functioning of the market for waste management is examined. Specialized trucking companies acting as transportation contractors for MSW faced a dramatic change in the number of containers served, the volume of waste taken out and the garbage truck traffic routes. In this connection, a task of optimizing the routes of the specialized rolling stock was set and solved, and recommendations were given on how to adjust it. To solve the problem of optimizing the vehicle fleet, a linear programming method was chosen. The cost of transportation of 1 t * km of MSW was determined as the objective function. As a rapid criterion for assessing the efficiency of vehicle operation, specific fuel consumption for transport work can be used, which varies depending on the utilization rate of the capacity of the garbage truck. It was established that some of the routes for specific garbage trucks is not economically feasible; therefore, recommendations were made to assign specific routes to more efficient cars with less carrying capacity.

Keywords: car fleet, specialized rolling stock, optimization, garbage truck operation efficiency.

За последние несколько лет в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) в России произошли значительные изменения [1]. В соответствии с Федеральным законом 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» с 2019 г. во всех регионах России появились региональные операторы по обращению с ТКО – это компании, осуществляющие координацию всех процессов обращения с отходами, а именно – сбор, вывоз, сортировка, обезвреживание, захоронение и утилизация. Стремительное изменение природоохранного законо-

дательства вызвало ряд проблем, связанных с организацией его исполнения в регионах страны [2]. Регионального оператора уполномочили либо самостоятельно осуществлять сбор и транспортирование ТКО, либо передать данную функцию на аутсорсинг специализированным автотранспортным предприятиям (АТП). До появления регионального оператора производитель отходов взаимодействовал напрямую с перевозчиком. На сегодняшний день в цепи «производитель отходов – перевозчик – полигон ТКО» добавилось еще одно звено – «региональный оператор», который заключает договоры на обслуживание с производителями отходов (юридическими лицами, ИП, управляющими компаниями, ТСЖ и др.) и устанавливает необходимое количество контейнерных площадок для первичного сбора ТКО. На примере Пермского края в статье рассмотрены проблемы новой системы обращения с отходами, с которыми столкнулись участники рынка, и пути оптимизации перевозочного процесса.

В Пермском крае региональный оператор передал транспортирование ТКО на аутсорсинг специализированным автотранспортным предприятиям. Весь регион был разбит на 11 условных районов, на обслуживание каждого из которых был объявлен конкурс среди перевозчиков ТКО. Новая схема обращения с твердыми коммунальными отходами вступила в действие в регионе с 1 января 2019 г.

В связи с резким изменением схемы работы перевозчики ТКО должны учитывать новые исходные данные:

- 1) изменение типов и количества обслуживаемых контейнеров;
- 2) изменение объемов вывоза ТКО;
- 3) изменение маршрутов движения мусоровозов.

Существующий парк специальной техники АТП был подобран под требования и специфику работы предприятия до внедрения новой системы обращения с ТКО. Резкая смена территории обслуживания и изменение объемов перевозимых отходов привели к несоответствию структуры парка автомобилей оптимальному выполнению транспортной работы, т.е. своевременному осуществлению сбора и транспортирования ТКО с минимальными затратами для предприятия. Обслуживаемые маршруты назначаются хаотично, на усмотрение диспетчера или водителя-оператора мусоровоза, и чаще всего учитывают только районную принадлежность контейнерных площадок. У автотранспортных предприятий отсутствует возможность всесторонней оценки правильности закрепления маршрута за конкретным мусоровозом при наличии в парке автомобилей различной грузоподъемности и вместимости кузова. Таким образом, исследования, направленные на оценку эффективности использования подвижного состава специализированных АТП при работе в новых условиях и, при необходимости, на разработку рекомендаций по оптимизации построения маршрутов и парка автомобилей, являются актуальными.

Методы оптимизации парка автомобилей достаточно хорошо отработаны [3–10]. Задача оптимизации парка специальных автомобилей для сбора и транспортирования ТКО может быть решена с помощью методов линейного программирования, которые позволяют установить оптимальное закрепление потребителей груза за поставщиками, выбрать маршруты перевозок грузов, решить вопросы распределения парка подвижного состава в автотранспортном предприятии и иные прикладные задачи оптимизации грузопотоков. В качестве целевой функции (критерия оптимальности) могут приниматься пробег подвижного состава, время доставки груза, финансовые, материальные или трудовые затраты [11].

На основе ранее проведенных исследований [12–15] была выбрана целевая функция (параметр оптимизации) парка специальных автомобилей для сбора и транспортирования ТКО – себестоимость перевозки 1 т·км ТКО F :

$$F = f(N_i; K_j) \rightarrow \min,$$

где F – себестоимость перевозки ТКО, руб./м³; N_i – количество специализированных автомобилей i -й модели, ед.; K_j – количество контейнеров j -го типа, ед.

В рамках проводимого исследования была поставлена задача оценить эффективность использования существующего подвижного состава специализированного АТП и правильность закрепления маршрутов за конкретными мусоровозами. В качестве критерия оценки эффективности предлагается использовать удельный расход топлива на выполнение транспортной работы $Q_{уд}$, л/т·км:

$$Q_{уд} = \frac{N}{S \cdot M},$$

где N – количество израсходованного топлива, л; S – пробег автомобиля, км; M – масса перевезенных отходов, т.

Следует отметить, что величина $Q_{уд}$ не учитывает все эксплуатационные затраты, но определяет экономическую эффективность выбранной схемы транспортировки отходов и может быть применена в качестве экспресс-оценки для принятия управленческих решений на АТП.

В качестве объекта исследования было выбрано специализированное автотранспортное предприятие ООО «ВМ-Сервис», которое занимает более 30 % рынка перевозок ТКО в Пермском крае. До 2019 г. предприятие обслуживало более 400 контейнерных площадок ТКО в городе Перми и Пермском крае.

Проведенный анализ обслуживаемых контейнерных площадок показал, что на всех площадках установлены «евроконтейнеры» объемом от 0,24 до 1,1 м³, причем более 75 % однотипных контейнеров объемом 1,1 м³. Данный тип контейнеров изготавливается из пластмассы и имеет ряд преимуществ перед металлическими: меньшая масса контейнера, низкая стоимость, более легкая очистка с низкой стоимостью и более легкая очистка после использования.

Парк специализированных автомобилей предприятия включает 19 единиц и в основном состоит из мусоровозов малой и средней грузоподъемностью до 12 т с задней загрузкой (таблица). Наблюдается тенденция к переходу предприятия на мусоровозы импортного производства, которые имеют лучшие технические характеристики (грузоподъемность, объем кузова, коэффициент уплотнения и др.) в сравнении с российскими и обладают лучшей маневренностью.

Парк специализированных автомобилей ООО «ВМ-Сервис»

Марка, модель мусоровоза	Шасси	Грузоподъемность, т/объем кузова, м ³ /коэф. уплотнения	Тип загрузки	Кол-во ед.
FUSO	FUSO Canter	5,7/7/до 6	задняя	5
НИДРО-МАК	HIHO 500	12/15/до 6	задняя	2
Mercedes-Benz ПГ-2783402	Mercedes-Benz Axor	11,5/16/до 6	задняя	2
БМ-53229-1 / КО-440-1	КамАЗ-65115	11/18/до 5	задняя	4
Mercedes-Benz ПГ-10783410	Mercedes-Benz Actros	20/24/до 6	задняя	1
КО-440-5 / МК-20	КамАЗ-65115 / КамАЗ-53215	8,5/22/до 3 8,8/24/до 2,2	боковая	5

Для оценки эффективности использования автомобилей были проанализированы маршруты движения мусоровозов и достигаемые эксплуатационные показатели. Для проведения исследований были выбраны наиболее актуальные мусоровозы с задней загрузкой на базе шасси FUSO Canter и Hino 500 (рис. 1).

За одну смену (рабочий день) каждый мусоровоз выполняет от 2 до 4 рейсов. Каждый рейс представляет собой кольцевой маршрут от полигона размещения ТКО через контейнерные площадки и обратно на полигон ТКО. Обследуемый маршрут автомобиля Hino 500 с указанием мест сбора ТКО приведен на рис. 2.



Рис. 1. Мусоровозы Hino 500 (слева) и FUSO Canter (справа)

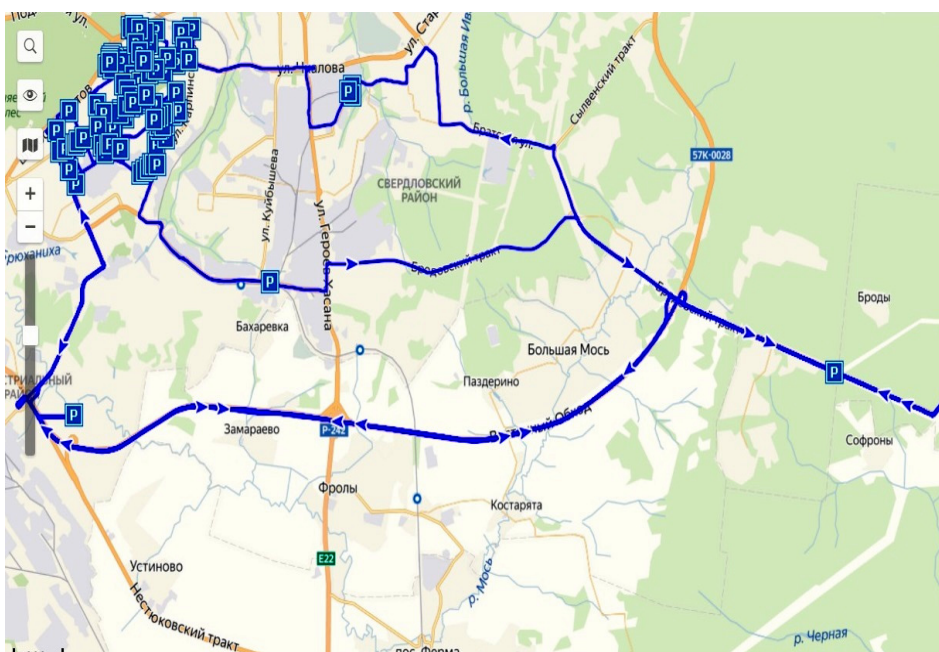


Рис. 2. Маршрут движения мусоровоза Hino 500

На маршруте мусоровоз обслуживает более 100 контейнерных площадок и 235 м^3 контейнеров. При этом стоит отметить, что большая часть контейнеров заполнена не полностью. Ежедневный пробег автомобиля практически неизменен, а масса перевозимых за рейс отходов значительно изменяется.

Установлено, что в ходе выполнения транспортной работы оцениваемый показатель $Q_{уд}$ может значительно превышать средние значения. Это связано с тем, что на некоторых маршрутах количество вывозимых за рейс отходов не соответствует характеристикам мусоровоза и может быть в 2–3 раза ниже паспортной грузоподъемности. Аналогичным образом была проанализирована работа мусоровоза FUSO Canter.

В ходе анализа полученных данных выявлено, что мусоровоз Hino 500 за третий рейс в смену обслуживает 22 контейнерные площадки в Индустриальном районе г. Перми и вывозит в среднем 4,69 т отходов при паспортной грузоподъемности 12 т. Закрепление данного маршрута за автомобилем Hino 500 приводит к повышенным удельным затратам для АТП. Для снижения оцениваемого показателя $Q_{уд}$ было рекомендовано закрепить данный маршрут за бо-

лее мобильным и экономичным мусоровозом FUSO Canter, который может перевозить до 5,7 т отходов.

В ходе исследования получены следующие результаты:

1. Выявлено наличие ряда проблем автотранспортных предприятий, связанных с переходом на новую схему обращения с отходами, которые привели к несоответствию структуры парка автомобилей оптимальному выполнению транспортной работы.

2. Для решения задачи оптимизации парка автомобилей выбран метод линейного программирования. В качестве целевой функции определена себестоимость перевозки 1 т·км ТКО.

3. Выявлено нерациональное распределение автомобилей по маршрутам, что приводит к повышенным эксплуатационным затратам. Предлагаемый критерий $Q_{уд}$ может применяться в качестве экспресс-оценки для принятия управленческих решений на АТП. Однако необходимы дополнительные исследования, связанные с расширенным изучением влияния различных факторов на целевую функцию – себестоимость перевозки ТКО.

4. Даны рекомендации по изменению обслуживаемых маршрутов для мусоровозов Hino 500 и FUSO Canter.

Список литературы

1. Лапова Е.В., Нор П.Е. Проблемы реализации нового законодательства об отходах // Безопасность городской среды: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. (Омск, 16–18 ноября 2016 г.). – Омск, 2016. – С. 257–262.

2. Долгушин А.Б., Хмельченко Е.Г. Анализ развития законодательной базы по реформированию системы обращения с твердыми коммунальными отходами в России // Муниципальная академия. – 2019. – № 1. – С. 9–19.

3. Ракитин В.А. Анализ методик формирования рациональной структуры парка грузовых автомобилей // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1–1. – С. 149–157.

4. Бородина Ю.В. Определение рациональной структуры парка автомобилей-такси // Успехи современной науки. – 2016. – Т. 2, № 10. – С. 109–113.

5. Якунин Н.Н., Дрючин Д.А., Якунин С.Н. Обоснование структуры таксомоторного парка с учетом характеристик периода эксплуатации автомобилей // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – № 4 (98). – С. 171–178.

6. Захаров Н.С., Ракитин В.А. Методика формирования парка грузовых автомобилей автотранспортного предприятия в зависимости от назначения и технико-эксплуатационных показателей транспортных средств // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 3 (37). – С. 174–188.

7. Соколов А.П., Герасимов Ю.Ю. Методика оптимизации парка автомобилей на вывозке сортированных отходов на основе имитационного моделирования в среде ГИС // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2009. – № 11 (105). – С. 72–77.

8. Мигачев В.А. Повышение эффективности использования грузовых автомобилей на основе выбора наиболее рационального парка подвижного состава: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Пенза, 2012. – 137 с.

9. Паули Н.В. Совершенствование методики выбора рациональной структуры парка грузовых автомобилей с учетом наработки: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Оренбург, 2013. – 146 с.

10. Мартынов Н., Аврамов Д., Белоусов Б. Оптимизация состава парка специализированных транспортных средств для транспортирования твердых бытовых отходов // Логистика. – 2019. – № 1 (146). – С. 40–45.

11. Рахмангулов А.Н. Математические методы в организации и управлении перевозками: учеб. пособие / Магнитогор. гос. горн.-металлург. акад. им. Г.И. Носова. – Магнитогорск, 1998. – 114 с.

12. Манаев К.И., Мельников А.Н. Оптимизация автомобильного и контейнерного парка при сборе и вывозе твердых бытовых отходов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. – № 10 (171). – С. 130–134.

13. Кононова М.С., Крючкова Е.А., Епишева А.К. Оценка технико-экономической эффективности транспортирования твердых коммунальных отходов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 2 (9). – С. 95–102.

14. Мартынов Н., Аврамов Д., Белоусов Б. Основные результаты оптимизации состава парка мусоровозов для транспортирования твердых бытовых отходов // Логистика. – 2019. – № 2 (147). – С. 36–40.

15. Манаев К.И. Обоснование рациональной структуры автотранспортно-контейнерного парка для сбора и вывоза твердых бытовых отходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Оренбург, 2017. – 22 с.

References

1. Lapova E.V., Nor P.E. Problemy realizatsii novogo zakonodate'l'stva ob otkhodakh [Problems of implementation of new legislation on waste]. *Bezopasnost' gorodskoi sredi: materialy IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Omsk, 16-18 November 2016, pp. 257-262.

2. Dolgushin A. B., Khmel'chenko E.G. Analiz razvitiia zakonodate'l'noi bazy po reformirovaniu sistemy obrashcheniia s tverdymi kommunal'nymi otkhodami v Rossii [Analysis of the development of the legislative framework for reforming the system of solid municipal waste management in Russia]. *Munitsipal'naia akademiia*, 2019, no. 1, pp. 9-19.

3. Rakitin V.A. Analiz metodik formirovaniia ratsional'noi struktury parka gruzovykh avtomobilei [Analysis of methods for the formation of a rational structure of the fleet of trucks]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia*, 2015, no. 1-1, pp. 149-157.

4. Borodina Iu.V. Opredelenie ratsional'noi struktury parka avtomobilei-taksi [Determining the rational structure of the fleet of taxi cars]. *Uspekhi sovremennoi nauki*, 2016, vol.2, no. 10, pp. 109-113.

5. Iakunin N.N., Driuchin D.A., Iakunin S.N. Obosnovanie struktury taksomotornogo parka s uchetom kharakteristik perioda ekspluatatsii avtomobilei [Justification of the structure of the taxi fleet, taking into account the characteristics of the period of operation of vehicles]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2009, no. 4(98), pp. 171-178.

6. Zakharov N.S., Rakitin V.A. Metodika formirovaniia parka gruzovykh avtomobilei avtotransportnogo predpriiatiia v zavisimosti ot naznachenii i tekhniko-ekspluatatsionnykh pokazatelei transportnykh sredstv [Methods of formation of the fleet of trucks of the motor company, depending on the purpose and technical and operational indicators of vehicles]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2015, no. 3(37), pp. 174-188.

7. Sokolov A.P., Gerasimov Iu.Iu. Metodika optimizatsii parka avtomobilei na vyvozke sortimentov na osnove imitatsionnogo modelirovaniia v srede GIS [Methods of optimizing the fleet of vehicles for the removal of assortments based on simulation modeling in the GIS environment]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2009, no. 11(105), pp. 72-77.

8. Migachev V.A. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniia gruzovykh avtomobilei na osnove vybora naibolee ratsional'nogo parka podvizhnogo sostava [Improving the efficiency of the use of trucks based on the choice of the most efficient rolling stock fleet]. Ph. D. thesis. Penza, 2012, 137 p.

9. Pauli N.V. Sovershenstvovanie metodiki vybora ratsional'noi struktury parka gruzovykh avtomobilei s uchetom narabotki [Improving the method of selecting a rational structure of the fleet of trucks, taking into account the developments]. Ph. D. thesis. Orenburg, 2013, 146 p.

10. Martynov N., Avramov D., Belousov B. Optimizatsiia sostava parka spetsializirovannykh transportnykh sredstv dlia transportirovaniia tverdyykh bytovyykh otkhodov [Optimization of the composition of the fleet of specialized vehicles for transportation of solid household waste]. *Logistika*, 2019, no. 1(146), pp. 40-45.

11. Rakhmangulov A.N. Matematicheskie metody v organizatsii i upravlenii perevozkami: Ucheb. posobie [Mathematical methods in the organization and management of traffic: Proc. allowance]. *Magnitogorskaia gosudarstvennaia gornometallurgicheskaia akademiia im. G.I. Nosova*, 1998, 114 p.

12. Manaev K.I., Mel'nikov A.N. Optimizatsiia avtomobil'nogo i konteiner'nogo parka pri sbore i vyvoze tverdyykh bytovyykh otkhodov [Optimization of the automotive and container fleet in the collection and removal of municipal solid waste]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, no. 10 (171), pp. 130-134.

13. Kononova M.S., Kriuchkova E.A., Epiшева A.K. Otsenka tekhniko-ekonomicheskoi effektivnosti transportirovaniia tverdyykh kommunal'nykh otkhodov [Evaluation of technical and economic efficiency of solid municipal waste transportation]. *Zhilishchnoe khoziaistvo i kommunal'naia infrastruktura*, 2019, no. 2 (9), pp. 95-102.

14. Martynov N., Avramov D., Belousov B. Osnovnye rezul'taty optimizatsii sostava parka musorovozov dlia transportirovaniia tverdyykh bytovyykh otkhodov [The main results of optimizing the composition of the park of garbage trucks for transportation of municipal solid waste]. *Logistika*, 2019, no. 2(147), pp. 36-40.

15. Manaev K.I. Obosnovanie ratsional'noi struktury avtotransportno-konteynerogo parka dlia sbora i vyvoza tverdykh bytovykh otkhodov [Justification of the rational structure of the container park for the collection and removal of solid waste]. Abstract of Ph. D. thesis. Orenburg, 2017, 22 p.

Получено 20.06.2019

Об авторах

Лобов Николай Владимирович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614013, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: lobov@pstu.ru).

Генсон Евгений Михайлович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614013, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: genson@pstu.ru).

Мальцев Дмитрий Викторович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614013, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: mdv@pstu.ru).

Хрулев Александр Сергеевич (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614013, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: khrulev7alex@gmail.com).

About the authors

Nikolai V. Lobov (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614000, Russian Federation, e-mail: lobov@pstu.ru).

Evgenii M. Genson (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614000, Russian Federation, e-mail: genson@pstu.ru).

Dmitriy V. Maltcev (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614000, Russian Federation, e-mail: mdv@pstu.ru).

Aleksandr S. Khrulev (Perm, Russian Federation) – Master Student, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614000, Russian Federation, e-mail: khrulev7alex@gmail.com).