

DOI: [10.34220/2311-8873-2023-48-55](https://doi.org/10.34220/2311-8873-2023-48-55)



УДК 656.13

UDC 656.13

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ПОСТАВОК ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВАМ С УЧЕТОМ ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ ВОСПОЛНЕНИЯ ИХ РЕСУРСА

ALGORITHM FOR OPTIMIZING THE SUPPLY OF SPARE PARTS TO VEHICLES WITH INFORMATION AND LOGISTICS SUPPORT OF THE PROCESSES OF REPLENISHING THEIR RESOURCE

Сафиуллин Равиль Нуруллович, профессор кафедры ТТПиМ, д.т.н., Санкт-Петербургский Горный университет, г. Санкт-Петербург.

Safiullin Ravil Nurullovich, Professor of the Department of TTPiM, Doctor of Technical Sciences, St. Petersburg Mining University, Saint Petersburg.

Шаммазов Ильдар Айратович, профессор кафедры ТХНГ, д.т.н., Санкт-Петербургский Горный университет, г. Санкт-Петербург.

Shammazov Ildar Airatovich, Associate Professor of the Department of THNG, Doctor of Technical Sciences, St. Petersburg Mining University, Saint Petersburg.

Сафиуллин Руслан Равиллович, доцент кафедры ТТПиМ, к.т.н., Санкт-Петербургский Горный университет, г. Санкт-Петербург.

Safiullin Ruslan Ravilovich, Associate Professor of the Department of TTPiM, Ph.D., St. Petersburg Mining University, Saint Petersburg.

✉¹ **Сорокин Кирилл Владиславович**, студент, Санкт-Петербургский Горный университет, г. Санкт-Петербург, e-mail: kiros_00@bk.ru

✉¹ **Sorokin Kirill Vladislavovich**, student, St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, e-mail: kiros_00@bk.ru

Полуэктов Виктор Алексеевич, студент, Санкт-Петербургский Горный университет, г. Санкт-Петербург.

Poluektov Viktor Alekseevich, student, St. Petersburg Mining University, St. Petersburg.

Аннотация. Определена необходимость сформировать статистические данные диагностических параметров транспортных средств в процессе их эксплуатации. Разработан алгоритм оптимизации поставок запасных частей с учетом информационно-логистической поддержки процесса восполнения их ресурса и сформирован адаптивно-управляемый подход в виде модели

Annotation. The necessity to generate statistical data of diagnostic parameters of vehicles during their operation is determined. An algorithm for optimizing the supply of spare parts has been developed, taking into account the information and logistics support for the process of replenishing their resource, and an adaptive-controlled approach has been formed in the form of a model of the process of "replacing" the range of spare parts in vehicles. A system-analytical approach to the

процесса «замещения» номенклатуры запасных частей транспортных средства. Определен системно-аналитический подход доставки запасных частей, с учетом ступенчатого изменения их стоимости. Разработанные теоретические положения позволяют существенно снизить трудоемкость и время нахождения в простое транспортного средства.

Ключевые слова: АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ, МЕТОД УДАЛЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИСТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА, ПОСТАВКИ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА.

delivery of spare parts is determined, taking into account the stepwise change in their cost. The developed theoretical provisions will significantly reduce the complexity and time spent in a vehicle idle time.

Keywords: OPTIMIZATION ALGORITHM, REMOTE DIAGNOSTIC METHOD, INFORMATION AND LOGISTICS SUPPORT, SPARE PARTS SUPPLY, MAINTENANCE, VEHICLES.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Важнейшей задачей, решаемой на государственном уровне, является развитие интеллектуальных транспортных систем, которые обеспечивают: рост эффективности использования дорожной сети; создание механизма управления транспортной системой в режиме реального времени и могут быть использованы для удаленного контроля технического состояния транспортного средства [1, 2]. Изменение коэффициента технической готовности, оказывает значительное влияние на развитие транспортной системы, одним из способов увеличения данного показателя, является заблаговременная поставка запасных частей для технического обслуживания и ремонта [3].

В связи с постоянным усложнением конструкции, появлением новых высокотехнологичных систем управления транспортными средствами, а также с увеличением объема транспортной работы, необходимо разработать новые подходы к контролю технического состояния транспортных средств посредством удаленного диагностирования с целью заблаговременного обеспечения поставки запасных частей и планирования ремонтных работ [4, 5].

2 Материалы и методы

В настоящий период времени, при наличии проблем поставок стандартных запасных частей на транспортные средства существует необходимость замены на аналогичные с учетом требований, предъявляемых к ним. Разработанная структурная модель процесса «замещения» номенклатуры запасных частей на транспортных средствах позволяет рассмотреть данную последовательность с учетом факторов, обеспечивающую информационно-логистическую поддержку процессов восполнения их ресурса (рисунок 1).

На первом и последующих этапах замены номенклатуры замены запасных частей на транспортных средствах осуществляется анализ состояния вопроса, определение номенклатуры запасных частей, замена детали на новую и при необходимости разработка, изготовления изделия с последующим его внедрением.

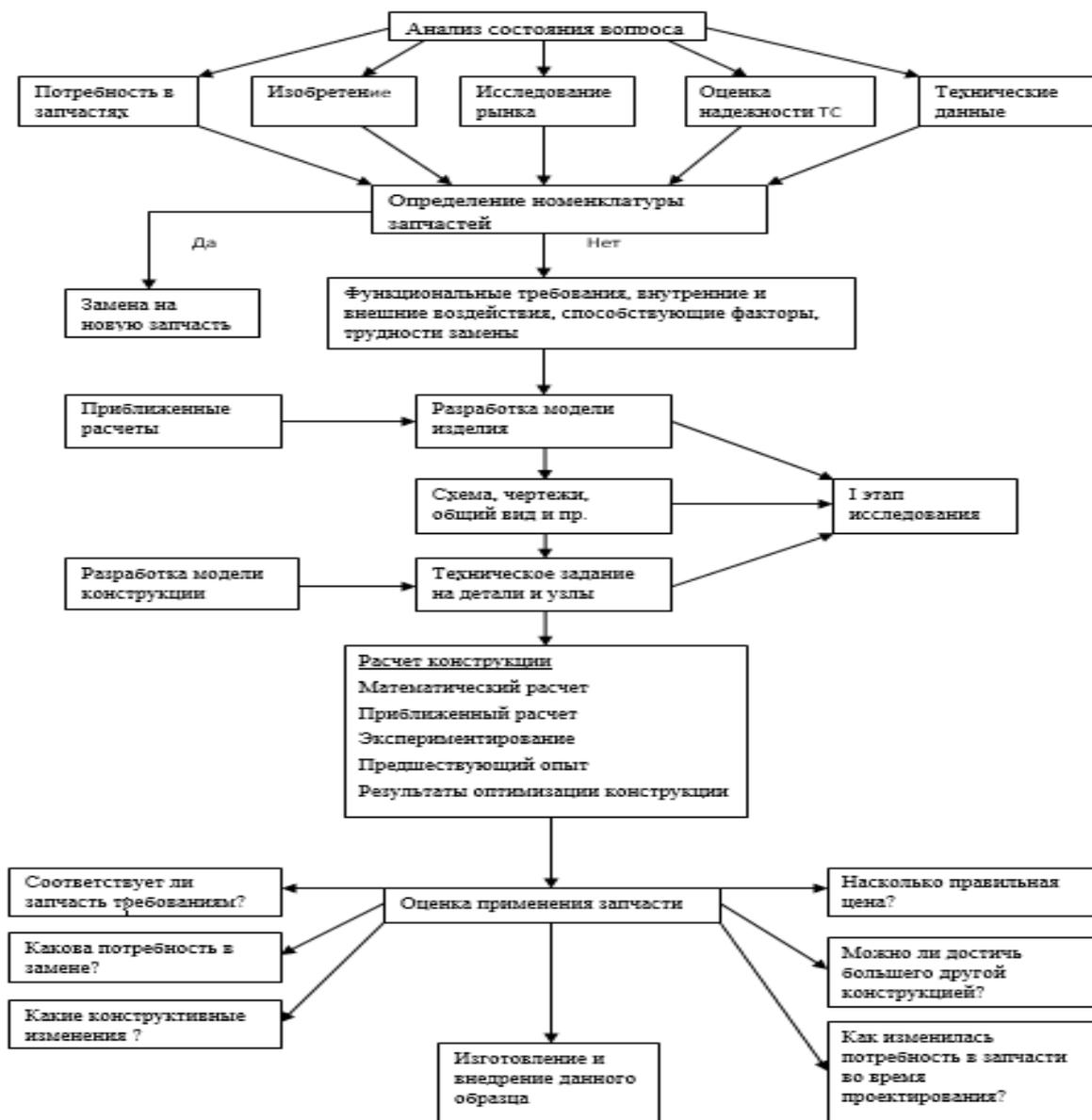


Рисунок 1 – Модель процесса «замещения» номенклатуры запасных частей на транспортных средствах

3 Результаты исследований

На основании результатов исследования процесса совершенствования поставок запасных частей автотранспортных предприятий, с учетом их «замещения» был разработан алгоритм оптимизации поставок запасных частей с учетом информационно-логистической поддержки процесса восполнения их ресурса, представленный на рисунке 2.

Алгоритм предполагает оптимизацию процесса поставок запасных частей на каждом этапе на основе системного подхода с учетом разработанных экономических критерий и результатов исследований тенденций развития науки и техники, данных удаленной диагностики, сбора информации по рынкам поставок запасных частей (ЗЧ), на основании которого производится предварительный выбор и оценка ЗЧ, сравнение и выбор конкурентов, поставляющих запасные части [6]. Расчет удельных затрат, конкурентноспособных аналогов и других коэффициентов, позволяет осуществить их сравнение и выбор оптимального варианта поставки запасных частей.

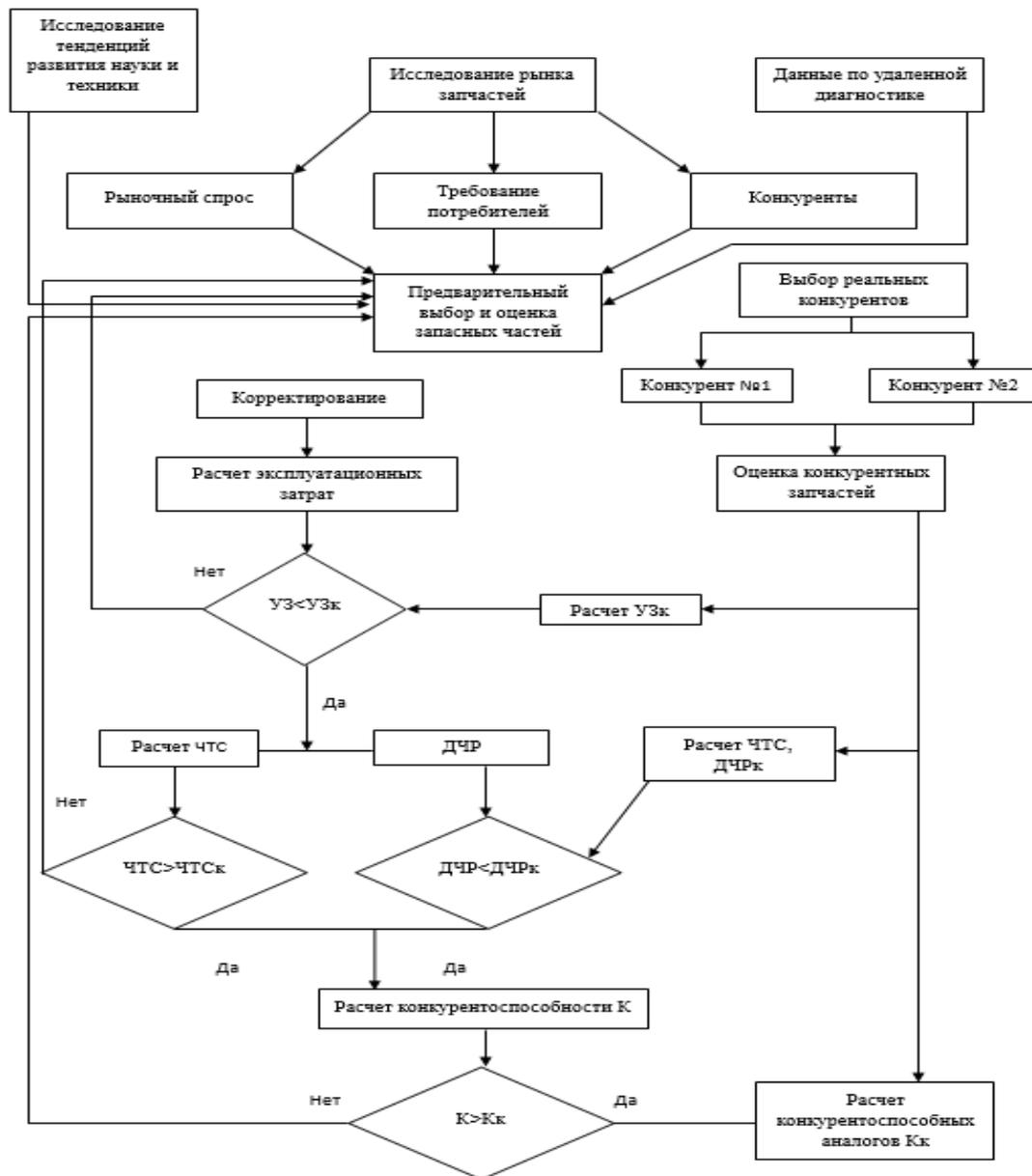


Рисунок 2 – Алгоритм оптимизации поставок запасных частей с учетом информационно-логистической поддержки процесса выполнения их ресурса

Для оптимизации поставок запасных частей транспортных средств с учетом оценки их потребности был разработан системно-аналитический подход доставки запасных частей, с учетом ступенчатого изменения их стоимости. Порядок расчета:

Исходные данные:

I^* – множество заказчиков (потребителей, эксплуатантов) системы поставок запасных частей (ПЗЧ) [7];

K^* – количество заказчиков в системе (ПЗЧ);

I – множество заказчиков, отправивших заявки на поставку ресурсов;

K – количество заказчиков, отправивших заявки на поставку ресурсов;

Γ^* – множество поставщиков (складов, производителей, посредников) системы (ПЗЧ);

S^* – количество поставщиков в системе (ПЗЧ);

Γ – множество поставщиков, которые осуществляют поставку множеству заказчиков И;

S – количество поставщиков, осуществляющих поставку по заявкам множества;

\mathcal{J} – множество типов материальных ресурсов, которые используются заказчиками в процессе эксплуатации;

Γ – количество типов материальных ресурсов, которые используются заказчиками в процессе эксплуатации;

\mathcal{J} – множество типов материальных ресурсов, поставляемых по заявкам;

I – количество типов материальных ресурсов, поставляемых по заявкам;

\mathcal{L} – множество типов материальных ресурсов, поставкой которых занимается множество поставщиков `;

\mathcal{L} – множество типов материальных ресурсов, имеющихся у поставщиков в данный момент;

A – множество количеств материальных ресурсов всех типов, имеющихся у множества поставщиков Γ .

$$A = \sum_{i=1}^I \sum_{s=1}^S a_{is}, \quad (1)$$

где a_{is} – материальный ресурс; i – номер материального ресурса; s – номер поставщика из множества Γ ;

B – множество количеств ресурсов разных типов:

$$B = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K b_{ik}, \quad (2)$$

где b_{ik} – количество ресурса; k – порядковый номер заказчика из множества И;

\mathcal{M} – множество маршрутов доставки материальных ресурсов всех типов, поставляемых поставщиком заказчику;

M – количество маршрутов доставки материальных ресурсов;

m – номер маршрута, $m = [1; M]$. Каждый маршрут имеет пункт отправления (поставщик s) и пункт назначения (заказчик k). Маршрут состоит из участков (как минимум одного).

Маршруты определяются с использованием алгоритма Флойда в зависимости от срочности заявки (СРОЧНО или НЕСРОЧНО) на основе данных об удельной стоимости, продолжительности доставок и количестве доставляемого груза;

\mathcal{P} – множество участков доставки материальных ресурсов;

P – количество участков доставки;

p – номер участка доставки, $p = [1; P]$. Участок непосредственно соединяет два пункта перевозки (двух поставщиков или поставщика с заказчиком).

Участок маршрута характеризуется стоимостью доставки, пунктом отправления, пунктом назначения, а также временем;

\mathcal{D} – множество диапазонов количества доставляемого ресурса;

L – количество диапазонов количества доставляемого ресурса;

l – номер конкретного диапазона D_l из множества \mathcal{D} , $l = [1; L]$.

X – множество количеств поставляемых материальных ресурсов всех типов:

$$X = \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K x_{iskl}, \quad (3)$$

где x_{iskl} – количество ресурса; S – сумма поставки всех типов ресурсов, выбранному заказчику, единым маршрутом от одного поставщика:

$$C = \sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K c_{skl}, \quad (4)$$

где c_{skl} – стоимость доставки по маршруту на единицу груза руб/кг; s – номер поставщика; k – номер заказчика; l – диапазон, в котором находится количество доставляемого груза; D – множество продолжительностей доставки материальных ресурсов всех типов, поставляемых определенному заказчику каким-либо поставщиком по выбранному маршруту:

$$D = \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K d_{iskl} , \quad (5)$$

где d_{iskl} – время доставки груза.

Функция, которая учитывает уменьшение стоимости поставки (W):

$$W = \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K c_{iskl}^{пост} x_{iskl} \rightarrow \min , \quad (6)$$

где $c_{iskl}^{пост}$ – сумма поставки единицы ресурса, руб.;
 x_{iskl} – количество материального ресурса i -го типа, поставляемого s -м поставщиком k -му заказчику по расценкам, соответствующим диапазону l .

Вводимые ограничения:

1. Максимально возможный уровень исправности:

$$Y_{испр} \rightarrow \max , \quad (7)$$

где $Y_{испр}$ – уровень исправности автотранспортных средств.

Отношение общего числа предприятий с достаточным уровнем исправности, к общему количеству предприятий:

$$Y_{испр} = \frac{N_{аб}^{тп}}{N_{аб}} , \quad (8)$$

где $N_{аб}^{тп}$ – число предприятия, отправивших заявки на поставку запасных частей, с требуемым уровнем исправности техники;

$N_{аб}$ – общее число предприятия от которых поступили заявки на поставку запасных частей.

2. Общая сумма частей должна быть больше запасов, находящихся на складе:

$$\sum_{k=1}^K b_{ik} \leq \sum_{s=1}^S a_{is} , \quad (9)$$

где b_{ik} – количество запасных частей, необходимых для k -го заказчика;
 a_{is} – количество запасных частей, находящихся у s -го поставщика.

3. Общее количество запасных частей не должно быть больше количества запасов на складе у поставщика:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K x_{iskl} \leq a_{is} , \quad (10)$$

где x_{iskl} – количество материального ресурса i -го типа, поставляемого s -м поставщиком k -му заказчику по расценкам, соответствующим диапазону l .

4. Необходимо максимально полно удовлетворить заявки заказчиков по каждому поставляемому типу материальных ресурсов [8, 9]:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S x_{iskl} = b_{ik} \quad (11)$$

В результате был сформирована последовательность расчета основных параметров доставки запасных частей, с учетом ступенчатого изменения их стоимости.

4 Обсуждение и заключение

Таким образом, проанализированы основные направления по сокращению времени нахождения транспортного средства в ремонте из-за задержек в поставках запасных частей. Определена необходимость сформировать статистические данные диагностических параметров транспортных средств в процессе их эксплуатации [10]. Разработан алгоритм оптимизации поставок запасных частей с учетом информационно-логистической поддержки процесса выполнения их ресурса и сформирован адаптивно-управляемый подход в виде модели процесса «замещения» номенклатуры запасных частей транспортных средства. Определен системно-аналитический подход доставки запасных частей, с учетом ступенчатого изменения их стоимости. Разработанные теоретические положения позволяют существенно снизить трудоемкость и время нахождения в простое транспортного средства.

Список литературы

- 1 Сафиуллин, Р.Н. Моделирование и оптимизация процессов перевозки тяжеловесных грузов на основе автоматизации систем мониторинга движения автотранспорта. / Сафиуллин, Р.Н., Резниченко В.В., Горлатов Д.В. // ИОР: Науки о Земле и окружающей среде (EES). – 2019 – № 378 (2019). – 012069 – DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012069.
- 2 Комаров В.В., Гараган С.А. Архитектура и стандартизация телематических и интеллектуальных транспортных систем. Зарубежный опыт и отечественная практика / М.: НТБ «Энергия» 2012. – 352 с.
- 3 Беликова Д.Д., Морозов Е.В., Хисамутдинова Е.Л. Оптимальный контроль силовых агрегатов горных машин в различных условиях эксплуатации с помощью системы контроля качества моторных масел МІАВ. Горный информационно-аналитический вестник, – 2021, (6). – с. 95-103.
- 4 Комаров Ю.Я., Федотов В.Н., Антропов Д.С. Анализ технического состояния автомобилей. // Вестник транспорта. 2008. – № 8. – с. 35-38.
- 5 Сафиуллин Р.Н., Интеллектуальные бортовые системы на автомобильном транспорте: монография. – М. – Берлин: Директ – Медиа. 2017. – 355 с.
- 6 Бруно Далла Кьяра. ИТС на автомобильном транспорте. Технологии, методы и практика применения / Тех.ред. А.Э.Горев – М.,2014г – 532с.
- 7 Марусин А.В., Аблязов Т.Х. Перспективы цифровой трансформации логистики. // Вестник Алтайского академии экономики и права №4–2 (2019) С.240-244.
- 8 Сафиуллин Р.Н., Автоматизированные системы управления дорожным движением. Монография. Под редакцией Р.Н. Сафиуллина. – Св. СПб: Лань, – 2019. – 544 с.
- 9 Кисуленко Б. В., Автоматизация управления автомобилем: тенденции развития и условия внедрения // Сборник трудов Международной академии транспорта, №17, – М.: 2014. – с. 80-88.
- 10 Кацуба Ю.Н., Григорьева Л.В. Интеллектуальная система контроля технического состояния автотранспортных средств// Сборник трудов II международной научно-практической конференции «Транспортное планирование и моделирование» – 2017г. – С.158.

References

- 1 Safiullin R.N., Reznichenko V.V., Gorlatov D.V. Modeling and optimization of heavy cargo processes based on automation of vehicle traffic monitoring systems. // IOP: Earth and Environmental Sciences (EES). – 2019 - No. 378 (2019). – 012069 – DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012069.
- 2 Komarov V.V., Garagan S.A. Architecture and standardization of telematics and intelligent transport systems. Foreign experience and domestic practice / М.: NTB "Energia" – 2012. – 352p.
- 3 Belikova D.D., Morozov E.V., Khisamutdinova E.L. Optimum control of mining machine powertrains under various operating conditions with the MIAB engine oil quality control system. Mining Information and Analytical Bulletin, – 2021, – (6). – pp. 95-103.
- 4 Komarov Yu.Ya., Fedotov V.N., Antropov D.S. Analysis of the technical condition of cars. // Bulletin of transport. 2008. – No. 8. – p. 35–38.
- 5 Safiullin R.N., Intelligent onboard systems in road transport: monograph. – М. – Berlin: Direct - Media. 2017. – 355 p.
- 6 Bruno Dalla Chiara. ITS in road transport. Technologies, methods and application / Tech.ed. A.E. Gorev – М., 2014 – 532p.
- 7 Marusin A.V., Ablyazov T.Kh. Prospects for the digital transformation of logistics. // Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law No. 4–2 – (2019) – P. 240-244.
- 8 Safiullin R.N., Automated traffic control systems. Monograph. Edited by R.N. Safiullina. – St. Petersburg: Lan, – 2019. – 544 p.
- 9 Kisulenko B.V., Automated driving: development prospects and conditions for introduction // Collection of works of the International Academy of Transport, No. 17, – М.: 2014. – p. 80-88.
- 10 Katsuba Yu.N., Grigorieva L.V. Intelligent system for monitoring the technical condition of vehicles // Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference "Transport Design and Modeling" – 2017, – p.158.

© Сафиуллин Р.Н., Шаммазов И.А., Сафиуллин Р.Р., Сорокин К.В., Полуэктов В.А., 2023